



المجلة العراقية الوطنية لعلوم الارض



INJES

P- ISSN 1682 – 3222
E- ISSN 2664 – 2816



Iraqi National Journal of Earth Science



Iraqi National Journal of Earth Science



INJES

P- ISSN 1682 – 3222
E- ISSN 2664 – 2816



<https://earth.uomosul.edu.iq> Scopus® E-mail injes@uomosul.edu.iq

المجلد [26] نيسان 2026 العدد [2]

<https://earth.uomosul.edu.iq> Scopus® E-mail injes@uomosul.edu.iq

Vol. [26] Apr. 2026 No. 2

رئيس التحرير

الأستاذ الدكتور ريان غازي ذنون

مدير التحرير

الأستاذ المساعد الدكتور عزالدين صالح الجوادي

أعضاء هيئة التحرير

الأستاذ الدكتور معز بن فاضل (تونس)

الأستاذ الدكتور ماجد مجدي عبد المجيد

الأستاذ الدكتور شريف فاروق محمد (مصر)

الأستاذ الدكتور حاجي رحاب (الجزائر)

الأستاذ الدكتور باسم سيد نبوي (مصر)

الأستاذ الدكتور عزالدين نجم الدين بابان

الأستاذ الدكتور مصدوق محمد إبراهيم التاج (الأردن)

الأستاذ الدكتور ألين بريث (بلجيكا)

الأستاذ الدكتور ستار جبار رشيد الخفاجي

الأستاذ الدكتورة سوسن حميد فيصل الهزاع

الأستاذ المساعد الدكتور عاهد يونس عبدالله الملاح

الأستاذ الدكتور رافع إبراهيم عبدالله الحميدي

الأستاذ المساعد الدكتور تمام محمد صالح

الأستاذ المساعد الدكتور محمد فوزي عمر

الأستاذ المساعد الدكتور فلاح عبد محمد المعماري

الأستاذ المساعد الدكتور عمر عبدالله إسماعيل

الأستاذ المساعد الدكتور صدام عيسى مصطفى الخاتوني

الأستاذ المشارك الدكتور هيثم إسماعيل حامد

الأستاذ المساعد الدكتور راشد بورميرزاني (إيران)

الأستاذ المساعد الدكتور مهدي رهناما (إيران)

الأستاذ المساعد الدكتور بشار عزيز محمود

إدارة المنظومة الالكترونية للمجلة

الأستاذ المساعد الدكتور صدام عيسى مصطفى الخاتوني

الشؤون الفنية والتنسيق والنشر

المدرس المساعد ميسر سمير محمود السراج

الشؤون الإدارية: سجي سالم عبدالهادي

إصدار: كلية العلوم/ جامعة الموصل

p-ISSN: 1682-3222

e-ISSN: 2664-2816

البريد الإلكتروني: injes@uomosul.edu.iq

الموقع الإلكتروني: <http://www.iasj.net>

<https://earth.uomosul.edu.iq>

الموبايل: 009647701610916

رقم الإيداع في دار الكتب و الوثائق ببغداد (1310 لسنة 2009)

المحتويات

1	التحليل السحني والبيئة الترسيبية لتكوين أفاته (الأيوسين المتأخر) في مقطعين سطحيين من شمالي العراق أمنة وليد الراوي, رافع إبراهيم عبدالله حميدي.....
19	المحاكاة المكانية للتوسع المساحي في مدينة تلعفر باستخدام الذكاء الاصطناعي و نظم المعلومات الجغرافية محمد عبود اضعيف, عمر عبدالله اسماعيل.....
47	تقييم مخاطر الجريان السطحي في حوض وادي قوس باستخدام نموذج (NRCS-CN) في نظم المعلومات الجغرافية افراح بنت أحمد بن علي الزهراني.....
71	التطور والتغير الجيومورفولوجي للمنحدرات والالتواءات النهرية في رافد الزاب الكبير بين الحدود العراقية التركية وسد ديرالوك عامر محمود احمد العبيدي, حسين علي رشيد المزوري.....
90	تقدير حجم الجريان السطحي في حوض وادي الأمغر جنوب غربي بادية المثنى باستخدام طريقة SCS-CN حيدر مزهر عبدعون, صفاء عبدالامير الاسدي.....
	نمذجة خطر الفيضان لنهر دبالى في مدينة بعقوبة باستخدام برنامج HEC-RAS
112	زینب کامل تایه, عمار حسین محمد..... تأثير الإغلاق الحضري المرتبط بجائحة كورونا (Covid 19) على الجزر الحرارية في المدينة المنورة المملكة العربية السعودية باستخدام الصور الفضائية
127	لیلى الجهني..... تقييم الخصائص الجيوتكنيكية لترسبات قناة مشروع ري كركوك للاستخدامات الهندسية المختلفة
145	مهند عيسى خضر, صبار عبدالله صالح, عمر صباح ابراهيم..... استخلاص قيم (CN) لحوض وادي باغال، شمال غربي العراق
160	وائل حازم الجواري, عيسى صالح عبد, صهيب حسن خضر..... التحليل الجيومترى لخزانات سدود مقترحة لحصاد مياه الامطار في مواقع مختارة على حوض وادي القصب شمالي العراق
178	اکرم محمد صالح سعید, صبار عبد الله صالح.....



التحليل السحني والبيئة الترسيبية لتكوين أفانه (الأوسين المتأخر) في مقطعين سطحيين من شمالي العراق

أمينة وليد الراوي¹، رافع إبراهيم عبدالله حميدي^{2*}

^{2,1} قسم علوم الأرض والنفط، كلية العلوم، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

الملخص

تمت دراسة تتابعات تكوين أفانا (Late Eocene) في مقطعين سطحيين شمالي العراق، يقع الأول في منطقة اقوبان عند الغاطس الشمالي لطية سفين قرب مدينة شقلاوة وبسك 8 أمتار، في حين يقع المقطع الثاني في محافظة دهوك ضمن طية بيخير المحدبة ويبلغ سمكه حوالي 57 متراً، تتألف تتابعات صخور التكوين من الحجر الجيري والحجر الجيري الدولومياتي والحجر الجيري المارلي والمارل إضافة لطبقات من السجيل الأسود. وسجلت بعض التراكيب الرسوبية في صخور التكوين مثل التطبيق المتقاطع نوع عظم السمكة والتطبيق العدسي والتشققات الطينية. وفي كلا المقطعين يحد التكوين من الأسفل تكوين جركس بصورة غير متوافقة، بينما يحده من الأعلى وبشكل توافقي تكوين بلاسي. بتروغرافياً، تتكون صخور التكوين من الحبيبات الهيكلية أهمها الغورامنيفرا القاعية كالميلويد والروتاليد ومنها الكبيرة الحجم مثل الألفولينييد، إضافة إلى النواع والطحالب الخضراء فضلاً عن حطام تلك الأحياء. وهذه الحبيبات مطمورة في أرضية ميكرايتية. أظهرت تتابعات التكوين تأثيراً كبيراً بالعمليات التحويرية مثل الدلمة والسمنتة والسلكتة وإعادة التبلور والأداة والمكرتة والأنضغاط بنوعيه الفيزيائي والكيميائي فضلاً عن عمليات النشوء المتأخر للمعادن. سحنياً، أفرزت نتائج التحليل السحني المجهرية والحقلية، للتكوين ثلاث سحنات دقيقة رئيسية هي سحنات الحجر الجيري الطيني و الحجر الجيري الواكي والحجر الجيري المرصوص، والتي بدورها قسمت إلى (8) سحنات ثانوية دقيقة. إضافة إلى ستة سحنات حقلية، هي سحنة الحجر الجيري الحاوية على التطبيق المتقاطع نوع عظم السمكة والحجر الجيري الحامل للتطبيق العدسي والحجر الجيري الحامل للتشققات الطينية والحجر الجيري الحامل على الترققات والحجر الجيري الحامل لتراكيب السترومانتولايت فضلاً عن سحنة السجيل. حسب نتائج التحليل السحني فسرت بيئة التكوين على أنها بيئة المسطحات المدية، إذ أظهر التحليل السحني أن الأجزاء السفلى مترسبة ضمن بيئات التحت مدية بينما الأجزاء الوسطى في بيئات البين مدية في حين أن الأجزاء العليا مترسب ضمن بيئة المسطحات فوق المدية. أي أن التكوين مترسب ضمن مسار سحنات متضحلة نحو الأعلى.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 15- نوفمبر-2024

تاريخ المراجعة: 17- ديسمبر-2024

تاريخ القبول: 27- يناير-2025

تاريخ النشر الإلكتروني: 01- أبريل-2026

الكلمات المفتاحية:

تكوين أفانا،
الألفولينييد،
مسطحات المد،
الأوسين المتأخر،

المراسلة:

الاسم: رافع إبراهيم عبدالله حميدي

Email:
rafeege066@uomosul.edu.iq

Facies analysis and Sedimentary Environment of Avana Formation (Late Eocene), In two outcrops of Northern Iraq

Amina W. Al-Rawi¹, Rafee Ibraheem AL-Hamidi^{2*} 

^{1,2} Department of Geology and Petroleum, College of Science, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 15- Nov -2024

Revised: 17- Dec -2024

Accepted: 27- Jan -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Avana Formation,
Alvolinidae,
Tidal Flats,
Late Eocene,

Correspondence:

Name: Rafee Ibraheem AL-Hamidi

Email:

rafeege066@uomosul.edu.iq

ABSTRACT

The Avana Formation (Late Eocene) has been studied in two outcrop sections in northern Iraq. The first section is 8 m thick and located in the Aqupan area at the northern plunge of the Safin Anticline near the Shaqlawa region. In comparison, the second section is 57m thick and located in the Dohuk Region at the Bekhear Anticline. The succession of formations in both sections is composed of limestone, dolomitic limestone, marly limestone, marl, and black shale. The study recorded sedimentary structures in parts of the formation section, including lenticular and flaser bedding and herringbone cross-bedding. The lower contact of the formation is unconformable with the Gercus Formation, while the upper contact of the formation appears to be conformable with the Pila Spi Formation. According to petrographic analysis, the formation rocks contain skeletal grains of the benthic foraminifera (such as miliolids and rotaliids) and larger forams (such as alveolinids), in addition to mollusca and green algae. The bioclasts of all these organisms, as well as non-skeletal grains such as peloids and lithoclasts. The matrix consists of micrite. The formation sequences have shown effects of diagenesis processes such as dolomitization, micritization, cementation, silicification, recrystallization, dissolution, physical and chemical compaction, and authigenesis. Facies analysis studies have shown that the sequences of the Avana Formation consist of three main microfacies: lime mudstone, lime wackstone, and lime packstone. These microfacies are further subdivided into eight submicrofacies. In addition, six other lithofacies are as follows: herring bone cross-bedding limestone lithofacies, flaser and lenticular bedding limestone lithofacies, mudcrack limestone lithofacies, lamination limestone lithofacies, stromatolite limestone lithofacies, and shale lithofacies. The results of facies analysis indicated that the formation was deposited in a tidal flat environment. Facies analysis revealed that the lower parts were deposited in subtidal environments, the middle parts in intertidal environments, and the upper parts in supratidal flat environments. That is, the formation was deposited in an upward-shallowing facies.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56075](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56075), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

وصف التكوين لأول مرة من قبل (Mecinty, 1953 in Bellen *et al.*, 1959) في بئر كركوك 116، في مقطعه النموذجي الواقع في قبة أفانا ضمن طية كركوك المحدبة شمال العراق، ويبلغ سمك التكوين في مقطعه النموذجي (210) متراً وأما في المناطق الأخرى فقد يتراوح بين (30-50) متراً وينتشر في شريط ضيق على طول الحدود الشمالية لنطاق الطيات الواطنة (Foothill zone). وقد حدد (Bellen *et al.*, 1959) عمر التكوين بالأيوسين الأوسط - الأعلى في حين أشار (Buday, 1980) بأن عمر التكوين محدد بالأيوسين الأوسط. يعد تكوين أفانا احد التكوينات التي تتألف من الحجر الجيري والحجر الجيري الدولومايتي والمارل المهمة الموجودة في شمالي العراق، ويحوي هذا التكوين اهم أجناس المنخربات القاعية مثل (Bellen *et al.*, 1959) Nummulites, Alveolina, Discocyclusa التي ترسبت خلال الدورة العاشرة (Arabian Plate AP10) خلال الأيوسين الاوسط - المتأخر (Jassim and Buday,

(2006). حيث تطورت أحواض الجيوسنكلالين التي ادت الى ظهور تعقيدات في تضاريس شمالي العراق، لتنتهي بتراجع البحر وارتفاع المنطقة وبذلك ادى الى تعرية بعض اجزائها وخاصة مناطق شمال شرقي نطاق الرف الغير مستقر (Buday, 1980). ثم حدث تقدم بحري واسع بسبب اصطدام ما بين حافة الصفيحة العربية الخاملة والحافتين النشطتين للصفحتين الإيرانية والتركية وبسبب تجلس المنطقة. ويلي هذا الاصطدام تكوين بحار قارية محلية خلال الأيوسين المتأخر والايوسين والمايوسين المبكر (Sharland et al., 2004). وتبعاً ل (Buday, 1980; Ditmar et al., 1971) فان هذه الدورة وبسبب الفعاليات التكتونية والتغير في مستوى سطح البحر تميزت بتلاسن سحنات تكويناتها المتكافئة ولاسيما تكوينات بيلاسيبي وافانا وجركس.

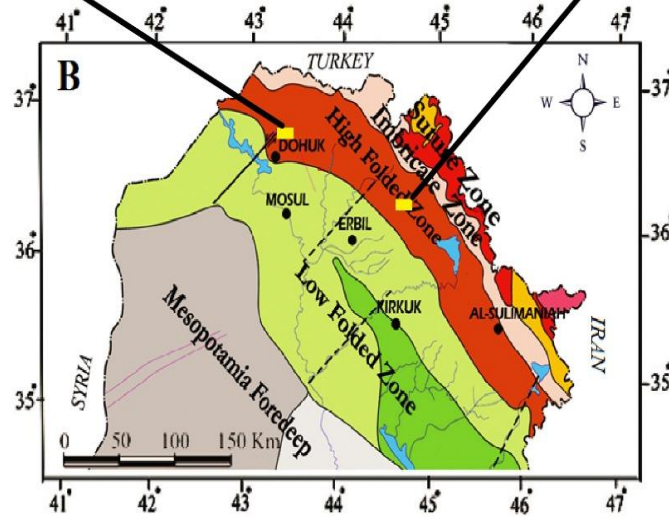
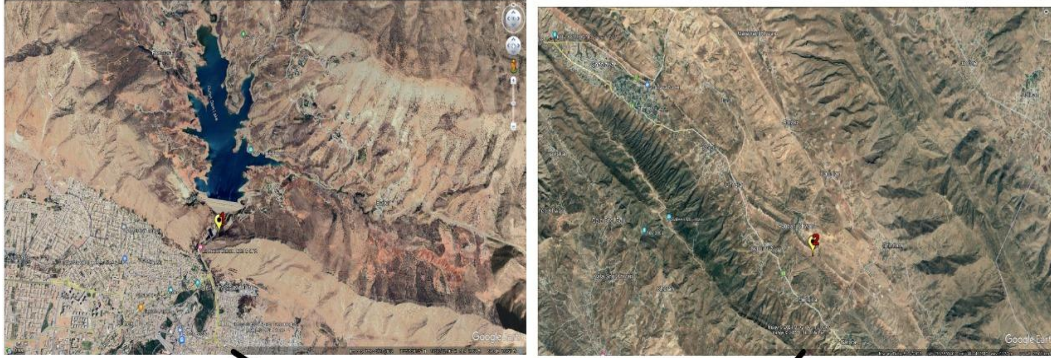
وقد درس (Khalaf and Al-Akidi, 1994) التكوين في منطقة دهوك وأشار الى ان بيئة الترسيب هي بيئة ضحلة خلف حاجزية. في حين حدد (Al-Sukkari, 1999) بيئة ترسيب تكوين افانا بأنها لاكونية، أما (Ismail, 2006) فقد درس تكوين افانا في منطقة حوض سنجار من الناحية الرسوبية والحياتية وأشار الى ان بيئة الترسيب هي بيئة الرصيف الضحل ضمن مناطق الرصيف الداخلي. ودرس (karim, 2006) تكوين افانا في منطقة سرسنة شمال شرق العراق وحددا بيئة الترسيب بأنها لاكون مفتوح.

ولتباين آراء الباحثين في تثبيت بيئة ترسيب تكوين أفانا ما بين بيئة لاكونية إلى خلف حيدية إلى الرصيف الضحل، لذا كان مما تهدف اليه الدراسة تثبيت البيئة الترسيبية لتكوين أفانا في مقاطعه قيد الدراسة على ضوء المعطيات والملاحظات الحقلية والبتروغرافية المسجلة.

موقع منطقة الدراسة Location of The study Area

تقع منطقة الدراسة في محافظتي دهوك واربيل شمال العراق. إذ تم إختيار مقطعين للدراسة وهي مكاشف صخرية واضحة المعالم والصفات. المقطع الاول اقويان والذي يقع في مدينة شقلاوة التابعة لمحافظة اربيل حيث تم دراسة هذا المقطع لأول مرة، والمقطع الثاني كلي دهوك يقع في محافظة دهوك. من الناحية التكتونية تقع منطقة الدراسة ضمن وحدة الرصيف غير المستقر (unstable shelf) والتي تقع ضمن نطاق الطيات العالية في أحواض الفورلاند (high foreland basin) (folded zone of the) اعتماداً على تقسيم (Jassim and Buday, 2006). وتتميز منطقة الطيات العالية بوجود العديد من الطيات والتصدعات مع اتجاهها الرئيس (Al-Qayim and Ghafor, 2022). أذ ينكشف تكوين أفانا في مدينة شقلاوة في الجناح الشمال الشرقي من طية سفين (قرب قرية اقويان في مدينة شقلاوة التابعة لمحافظة اربيل) عند تقاطع احداثيات خطوط عرض (36° 20'32. 73" N) وخطوط الطول (44° 25'57. 18" E) الشكل (1)، ويبلغ سمك التكوين في هذا المقطع حوالي (8) متر.

كما ينكشف تكوين أفانا في طية بيخير في محافظة دهوك وتحديداً في كلي دهوك في الجناح الجنوبي من طية بيخير. عند تقاطع احداثيات خطوط عرض (36° 52'21. 70" N) وخطوط الطول (43° 0'13. 15" E) شكل (1)، ويبلغ سمك التكوين في هذا المقطع حوالي (57) متر.



الشكل 1. خارطة تكتونية لشمالي العراق عن (Jassim and Buday, 2006)

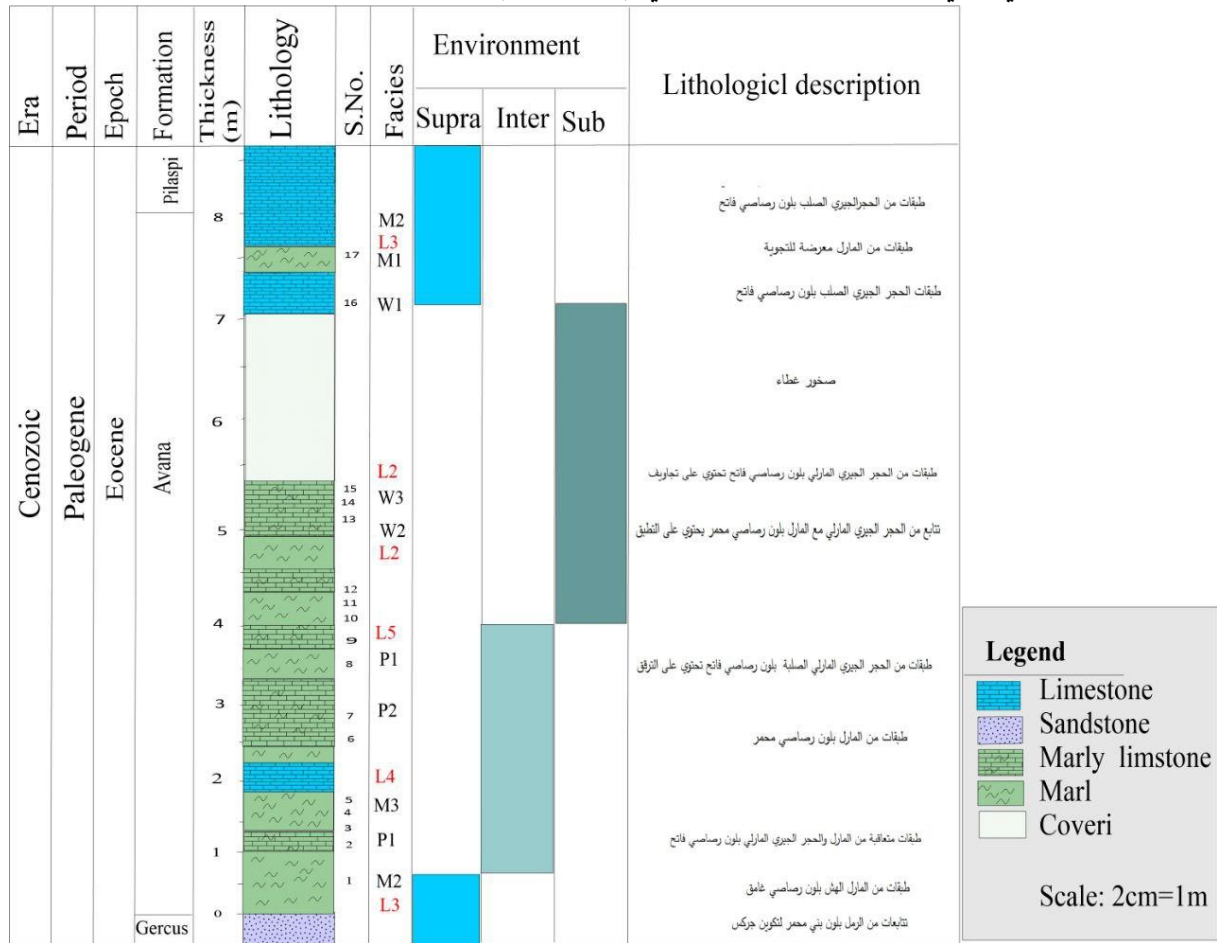
طرائق البحث Methodology

تضمنت الطرق والاساليب البحثية جانبيين اساسيين وهما، العمل الحقلي والعمل المختبري، تضمن الأول الوصف الحقلي الدقيق لتتابعات الصخرية والنمذجة، إذ تم جمع (50) نموذج والنقاط صور حقلية لبعض المظاهر والصفات الحقلية لتكوين لتكوين أفانا. أما التقنيات المختبرية فتضمنت عمل الشرائح الرقيقة حيث والوصف المجهرى البتروغرافي.

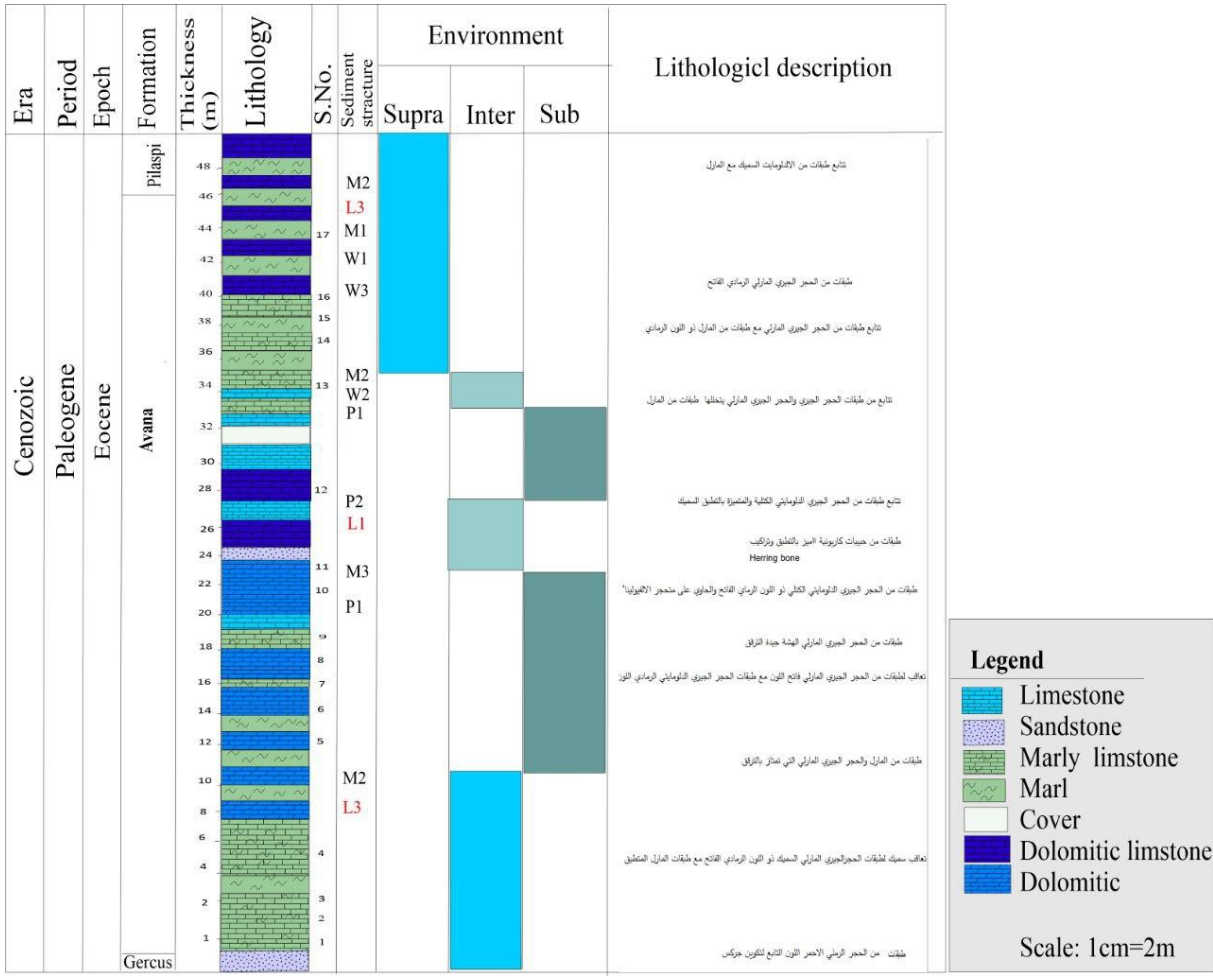
الطباقية الصخرية:

يحد التكوين في كلا المقطعين من الأسفل تكوين جركس بصورة غير متوافقة ويحده من الأعلى توافقياً تكوين بلاسيبي. يبلغ سمك تكوين افانا في مقطع أقوبان (الشكل 2) حوالي (8m)، حيث يبدأ بسمك حوالي (1m) على شكل طبقات هشة ذات لون رمادي غامق من المارل والتي تليها طبقات متعاقبة من الحجر الجيري المارلي والمارل بسمك 215 سنتيمتر ذات لون رمادي فاتح الى الرصاصي والحاوية أحياناً على الترقق (Lamination) ثم تأتي طبقات متتابعة من الحجر الجيري المارلي والمارل وأحياناً السجيل (Shale) سمك حوالي (160 cm) وتظهر هذه الطبقات المتتابعة بلون رصاصي محمر وتحتوي على تراكيب رسوبية مميزة مثل التطبق النيمي من نوع (Flaser and Lenticular Bedding) فضلاً عن نوع الكسارات الجيرية الرقيقة الشبيهة بالفقاعات الصخرية الداخلية (intraclaste) على شكل (Chippes) (الشكل 4-A). ثم تبدأ طبقات أخرى من الحجر الجيري الصلب البني بسمك 2.5 متر. واخيراً طبقات من المارل المعرضة للتجوية بسمك 0.3 متر، مع طبقات من الحجر الجيري فاتحة اللون وذات صلادة عالية بسمك 40 سنتيمتر يظهر فيها تجايف نتيجة عملية الإذابة، شكل (4-B).

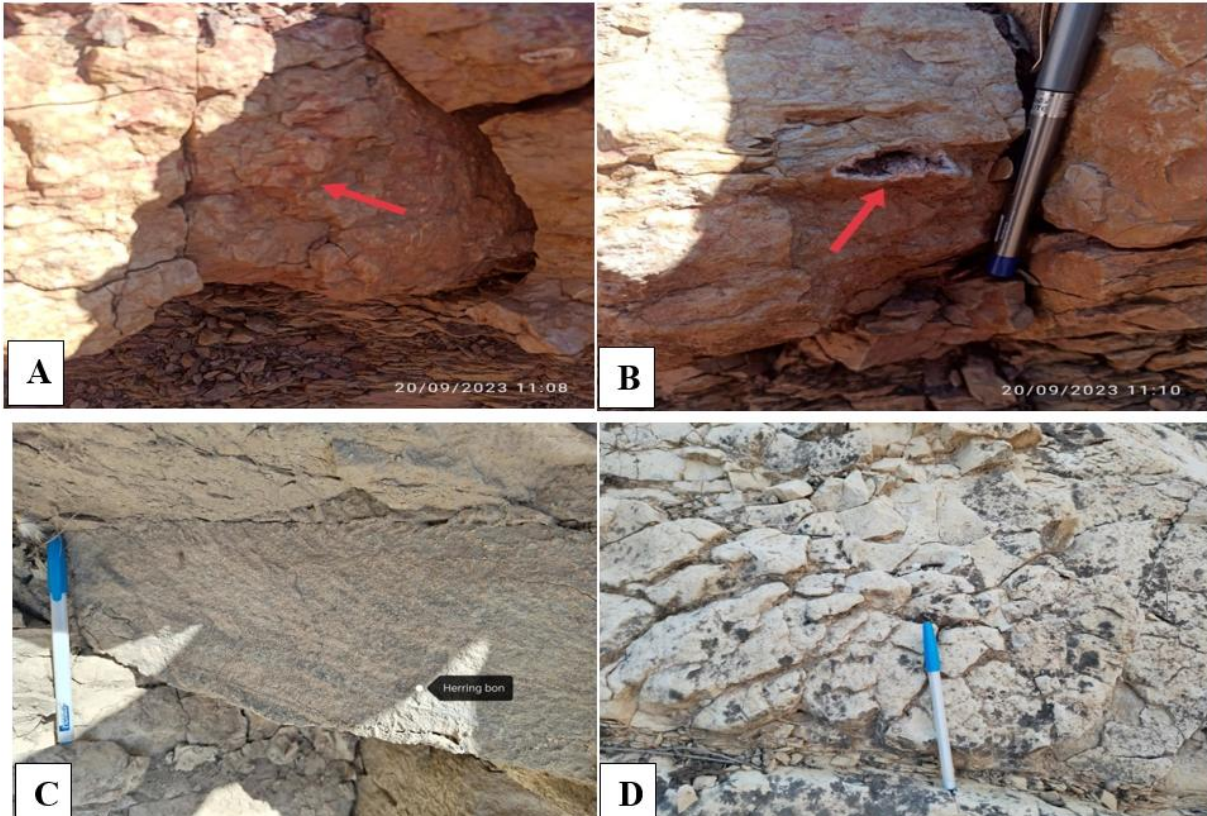
كما ويبلغ سمك تكوين افانا في مقطع كلي دهوك حوالي 57 مترا (الشكل 3)، أذ يبدأ التكوين بتتابعات من المارل والحجر الجيري المارلي بسمك 280 سنتيمتر بلون رمادي فاتح والتطبيق الواضح. ثم تتبعها طبقات سمكها حوالي اربع امتار من المارل المتداخلة مع طبقات من الحجر الجيري المارلي الهش، وأحيانا يظهر ترقق واضح (Fissility)، ثم تتابع من الحجر الجيري المتدلمت مع طبقة من المارل ويصل سمكها الى الثمانية أمتار تقريبا، كما يلاحظ خلالها تركيب النطبق المتقاطع نوع عظم السمك (Herring Bon) (الشكل 4-C). وتتبع هذا التتابع طبقات من الحجر الجيري المتدلمت الصلب مع الحجر الجيري المارلي، والذي يبلغ سمكه حوال 180 سنتيمتراً ذات لون رمادي فاتح، تليها أيضا طبقات من الحجر الجري المتدلمت بسمك حوالي المترين، ويستمر تتابع من طبقات من الحجر الجيري المارلي والحجر الجيري المتدلمت وبأسماك مختلفة، الى أن تنتهي بطبقات من الدولومايت شديد الصلادة فضلاً عن وجود التشققات الطينية خلال طبقات الحجر الجيري المارلي والتي تدل على الإنكشاف السطحي (الشكل 4-D).

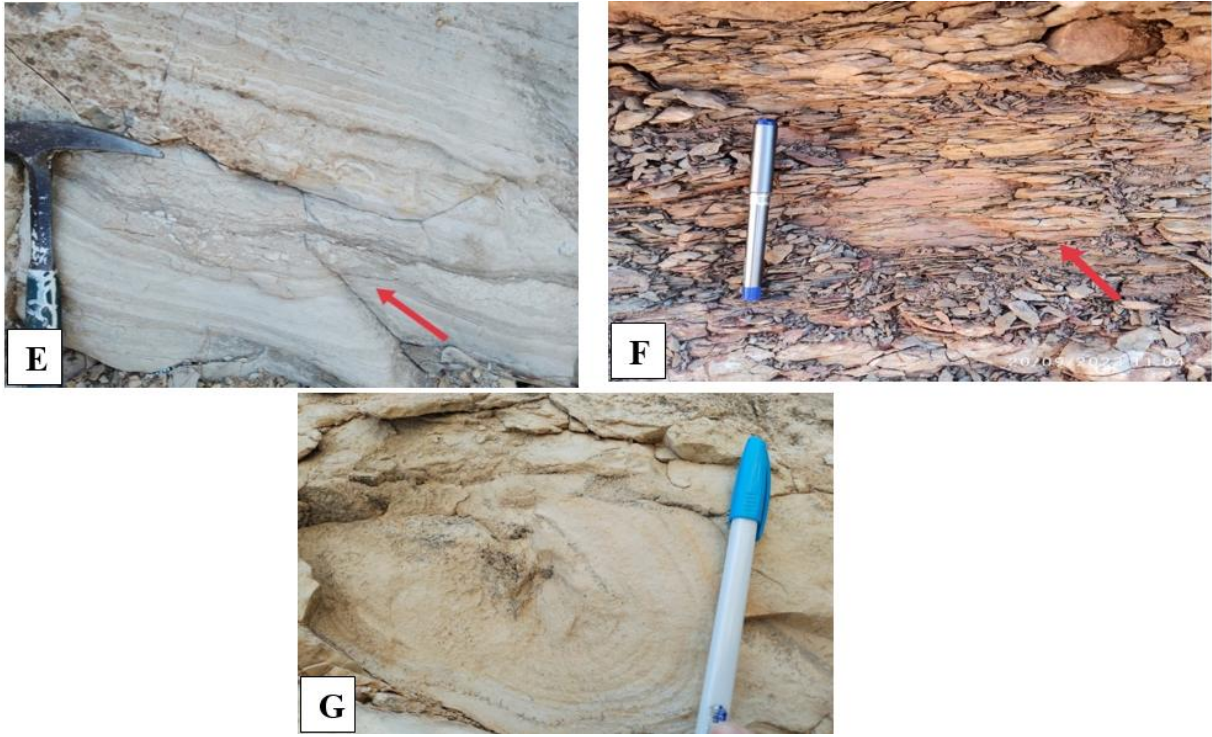


الشكل 2. يوضح العمود الطباق لتكوين أفانا في اقوبان



الشكل 3. يوضح العمود الطباق لتكوين أفانا في مقطع كلي دهوك





الشكل 4. (A) توضح تراكم الـ Chipps، رقم (B) توضح علامات الإذابة، صورة رقم (C) صورة توضح تركيب الرسوبي Herring Bon Cross-bedding، رقم (D) يوضح التشققات الطينية، رقم (E) توضح التطبق العدسي والترققات، رقم (F) توضح صخور السجيل في مقطع اقوبان، رقم (G) توضح تركيب الستروماتوليت في مقطع دهوك

النتائج

1- السحنات الصخرية (Lithofacies):

هي كل الصفات الفيزيائية والكيميائية والحياتية التي يمكن تمييزها حقلياً. وقد تم تشخيص ستة سحنات صخرية ضمن تكوين أفانا:

1-1 السحنة الصخرية الجيرية الحاوية على التطبق المتقاطع نوع عظم السمكة

Herring Bon Cross-bedding Limestone Lithofacies(L1):

وتظهر هذه السحنة الصخرية في الحجر الجيري على شكل نوع من التطبق المتقاطع ذو اتجاهين ويتكون عادةً بالقناة المدية، عند جريان التيارات باتجاهين متعاكسين إذ تعكس حركات المد والجزر، وقد ثبت أن هذا التركيب الرسوبي يتكون في البيئات البين مدية (Rieneck and Singh, 1980). ويظهر هذا التركيب في الأجزاء الوسطى والسفلى من مقطع كلي دهوك، كما مبينة في الشكل (C-4).

2-1 السحنة الصخرية للحجر الجيري ذو التطبق النيمي (L2) Ripple bedding Limestone Lithofacies

تنتشر هذه السحنة في صخور الحجر الجيري وتعتبر التراكيب الرسوبية فيها من الدلائل المهمة على بيئة المسطحات المدية خصوصاً نطاق البين مدية، ويتشكل (Flaser) عند تداخل الطين والرمل و يتكون شريط من الطين داخل الرمل تكون الغالبية للرمل، أما التطبق العدسي (Lenticular) فتكون الغالبية للأطيان ويكون الرمل بشكل عدسات داخل هذه الأطيان (Boggs, 2006; Rieneck and Singh, 1980). وتظهر هذه التراكيب في الأجزاء الوسطى وبعض الأجزاء السفلى والعليا من مقطع اقوبان وكلي دهوك أيضاً كما موضحة في الشكل (E-4).

3-1 سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على التشققات الطينية Mud crack Limestone Lithofacies (L3)

حيث تنتشر في الأجزاء السفلى والعليا من مقطعي كلي دهوك واقوبان، وتتميز تشققاتها بشكلها المضلع والتي تعطي دليل واضح على الانكشاف السطحي لطبقات الطين الجيري والتعرض للهواء وبذلك تشير الى بيئة المسطحات الفوق المدية (Demicco and Hardie, 1995). كما في الشكل (D-4).

4-1 سحنة السجيل الصخرية Shale Lithofacies (L4)

تتألف هذه السحنة من السجيل الذي يتميز باللون البني الداكن، وبشكل رقائقي سهل الأنفصال نتيجة (Fissilis). وقد تم ملاحظته في الأجزاء الوسطى من مقطع اقوبان كما في الشكل (F-4).

5-1 سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الترققات Limestone Lamination Lithofacies (L5)

وتكون بشكل ترققات متوازية تنتج بسبب التغير الحاصل بظروف الترسيب وايضا نتيجة التغيرات الحجمي في الحبيبات بسبب التيارات المتناوبة (Boggs, 2006)، وتظهر هذه التراكيب في الأجزاء الوسطى وبعض الأجزاء السفلى والعليا من مقطع اقوبان كما في الشكل (E-4).

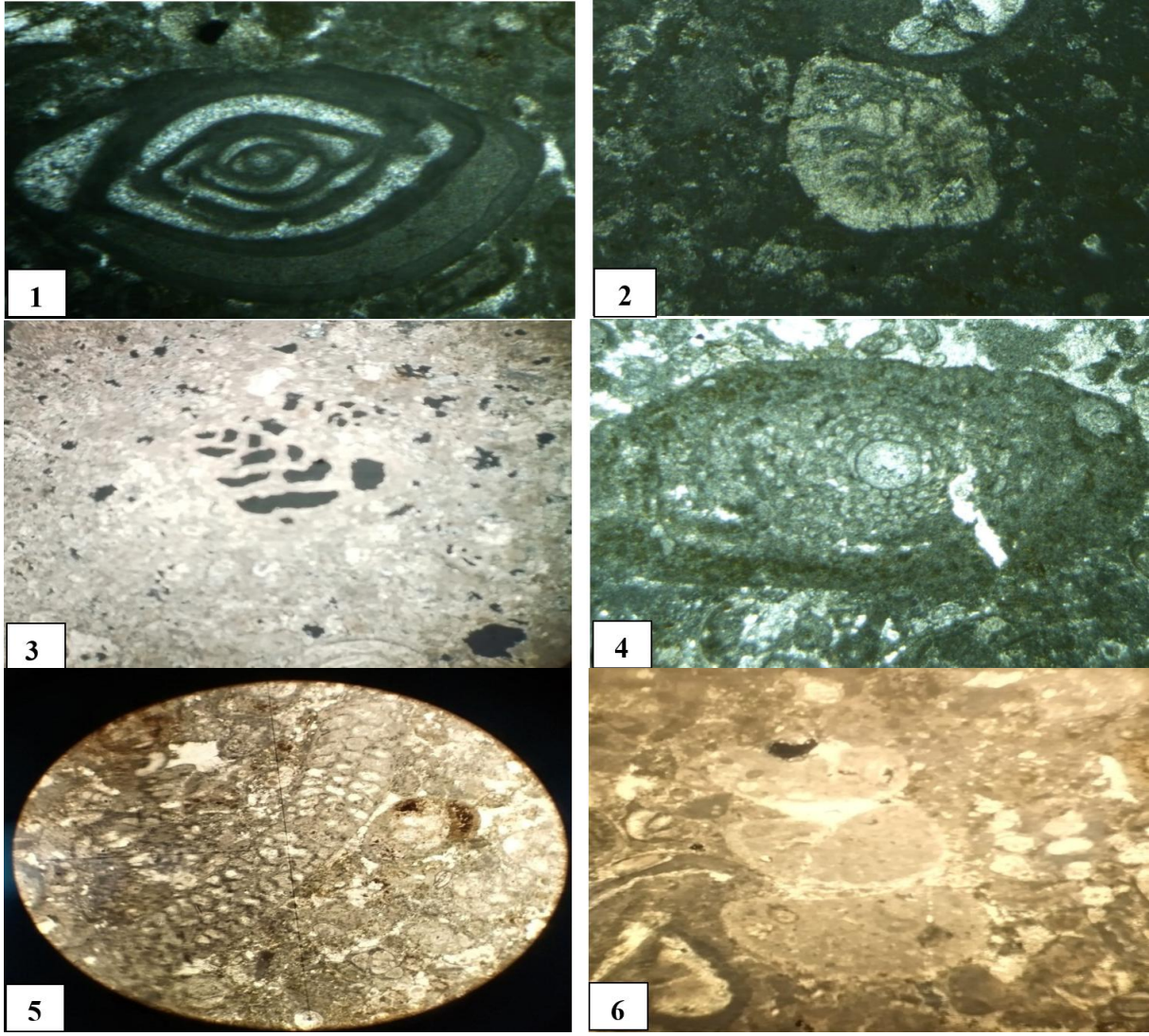
6-1 سحنة الحجر الجيري الصخرية الحاوية على الستروماتولايت Lithofacies Limestone Stromatolites (L6)

تتشكل هذه التراكيب في البيئات ذات الطاقة الواطنة المتمثلة بالجزء العلوي منها من البيئة البين مدية والجزء السفلي من البيئة الفوق مدية (Palma et al., 2015). يظهر هذا التركيب في الجزء العلوي والسفلي من مقطع دهوك، كما في الشكل (G-4).

2- التحليل السحني الدقيق:

2-1 البتروغرافية:

تمثل الدراسة البتروغرافية داعما مهما للدراسة والوصف الحقلية والتي يتم استخدامها في تشخيص ووصف الصخور، اذ انها تشمل دراسة العينات الصخرية الرقيقة عبر المجهر المستقطب الالكتروني لتعرف على الخصائص الأساسية للصخور فضلا عن العمليات التحويرية التي أثرت عليها. أظهرت الدراسة البتروغرافية أن صخور التكوين تحتوي على حبيبات هيكلية أهمها أصداف الفورامينيفرا القاعية والمتمثلة بأصداف الميوليد والتي من أهم أجناسها *Trioculina*، *Quinqueculina*، إضافة الى أصداف الروتاليد ومنها أجناس *Textularia*، *Nummulit*، *Rotalia*، كما سجلت الدراسة انتشارا للفورامينفرا القاعية الكبيرة الحجم من نوع *Alvolinidae* ووجود للطحالب الخضراء وأصداف بطنية القدم، كما في الشكل (5)، والفتات العضوي، كما تحتوي الصخور على حبيبات غير الهيكلية مثل الدماق، الفتاتيات الصخرية بنوعها الداخلية، والخارجية، اغلب المكونات تضمنت في الأرضية المؤلفة من المكرايت.



الشكل 5. تمثل الصورة رقم (1) متحجر المليونيد، ورقم (2) متحجر الروتايد، ورقم (3) متحجر Textularia، ورقم (4) متحجر Orbitolites، ورقم (5) متحجر Orbitolites، ورقم (6) نموذج عن متحجرات بطنية القدم

2-السحنات الدقيقة:

1-2 سحنة الحجر الجيري الطيني الدقيقة (M)(Lim Mudstone Microfacies):

تمتاز هذه السحنة بلونها الداكن وتترسب هذه السحنة في بيئات ترسيبية تمتاز بهدوء حركة التيارات المائية (Bathrust, 1975). واعتماداً على وفرة أو قلة ونوع وجود الحبيبات قسمت هذه السحنة الى ثلاث سحنات ثانوية:

1-1-2 سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على فتاتات صخرية الثانوية الدقيقة

Lithoclast Lim Mudstone Submicrofacies (M1):

تنتشر هذه السحنة في الجزء العلوي من مقطه كلي دهوك واقوبان، وتحتوي هذه السحنة على الأرضية الميكروية والقطع الصخرية بشكل أساس (الشكل A-6). كما تتأثر بعمليات السمنتة والمكرتة وإعادة التبلور. وتمثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-24)، المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8, FZ9) المعروفة ببيئة المسطحات المدية.

2-1-2 سحنة الحجر الجيري الطيني الدملي الثانوية الدقيقة

Pelloidal Lim Mudstone Submicrofacies (M2):

وتنتشر في الجزء العلوي والسفلي من مقطع كلي دهوك، وتحتوي هذه السحنة بشكل أساسي على الأرضية الميكروية ناعمة والحببيات الغير هيكلية المتمثلة بالدمالق (الشكل B-6). وتعد عمليات الدلمة والسمنتة وإعادة التبلور من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتمثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-23) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8, FZ9) المعروفة ببيئة المسطحات المدية.

2-1-3 سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على المتبخرات الثانوية الدقيقة

Evaporitic Lim Mudstone Submicrofacies (M3):

وتتواجد هذه السحنة في الجزء الوسط من مقطع كلي دهوك، تتكون هذه السحنة بشكل أساس من الحجر الطيني الحاوي على بلورات المتبخرات المتمثلة بالجيسوم حيث تشكل عن طريق تركيز محلول ملحي سطحي أو قريب من السطح بواسطة الطاقة الشمسية (Warren, 2016). كما تحتوي أيضاً على الفتات الصخري، (الشكل C-6). وتتأثر هذه السحنة بعمليات السلكتة والدلمة والسمنتة. وتمثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-25) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ9) المعروفة بنطاق منصة التبخر (Platform-Evaporitic)

2-2 سحنة الحجر الجيري الواكي الدقيقة (Lim Wackestone Microfacies)(W)

تتكون هذه السحنة من الأرضية الميكروية والحببيات الهيكلية وغير الهيكلية التي تزيد نسبتها عن (10%) من نسبة مكونات السحنة. وتمثل هذه الحبيبات بأصداف بطنية القدم والطالب الخضر، فضلاً عن بعض الكسارات الأحيائية والقطع الصخرية. وتأثر هذه السحنة بعمليات السمنتة وإعادة التبلور والدلمة أيضاً والإنضغاط. وقد تم تقسيم هذه السحنة الرئيسية الى ثلاث سحنات دقيقة ثانوية، تبعاً لمحتواها الحبيبي وكما يلي:

1-2-2 سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الفتات الصخري الثانوية الدقيقة

Lithoclast Lim Wackestone Submicrofacies(W1):

وتنتشر في الأجزاء العليا من مقطع كلي دهوك، تحتوي هذه السحنة على الفتات الصخرية بشكل أساسي وتكون من نوع الفتات الصخرية الداخلية إذ تتجاوز نسبة هذه الفتات عن (40%)، (شكل D-6). وتعد عمليات الدلمة والسمنتة من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتمثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-10) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8, FZ7) المعروفة ببيئة المسطحات المدية.

2-2-2 سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الطحالب الثانوية الدقيقة

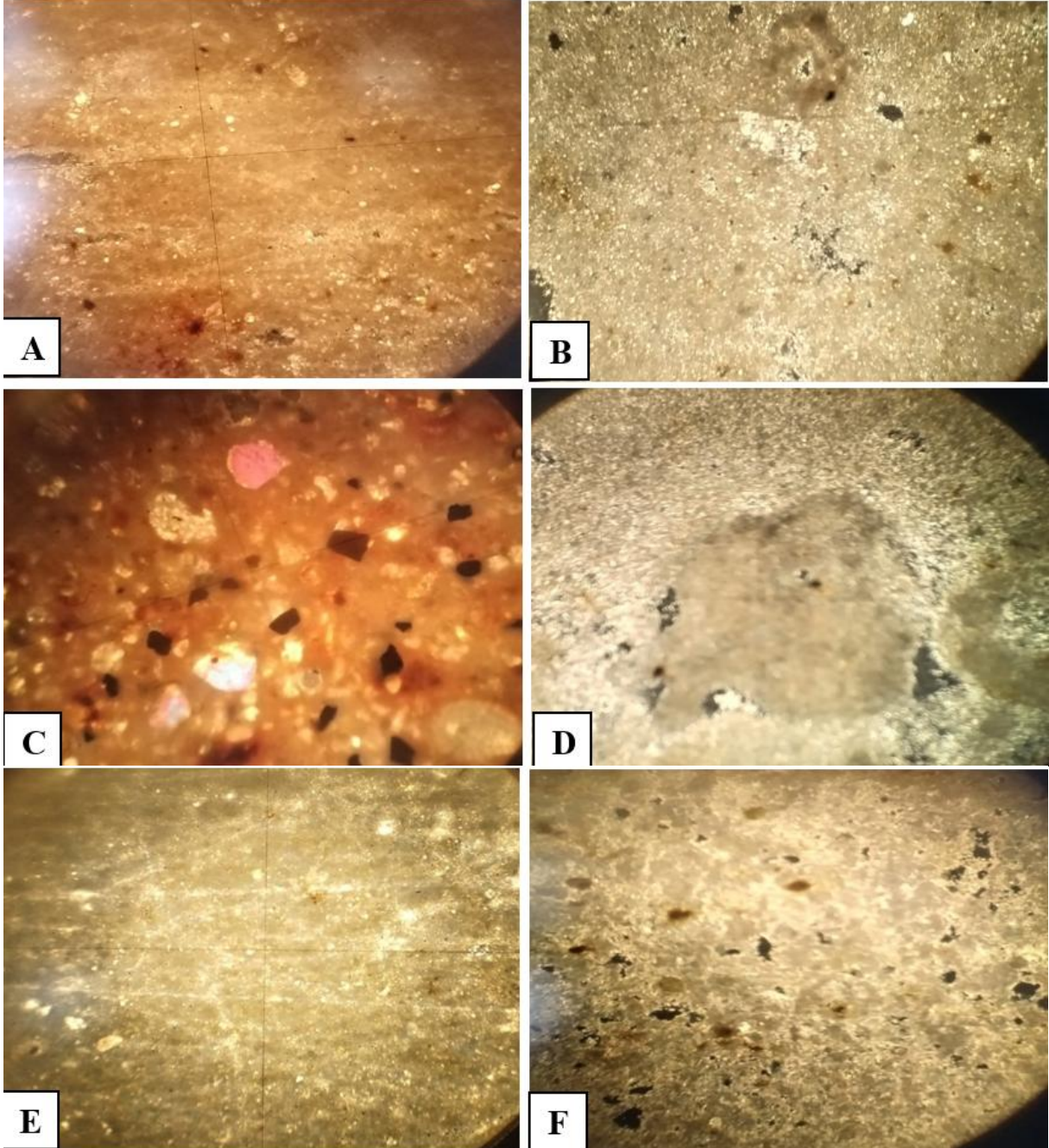
Algal Lim Wackestone Submicrofacies(W2):

وتتواجد في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دهوك واقوبان، تحتوي هذه السحنة على الطحالب الخضر المزرققة بشكل أساسي إذ تتجاوز نسبة تواجد هذه الطحالب عن (30%) (الشكل E-6). وتعد عمليات الإذابة والسمنتة من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتمثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-20) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8, FZ9) المعروفة ببيئة المسطحات المدية.

3-2-2 سحنة الحجر الجيري الواكي الدملي الثانوية الدقيقة

Peloidal Lim Wackestone Submicrofacies(W3):

ويتواجد في الجزء العلوي من مقطع كلي دهوك، وتحتوي هذه السحنة بشكل أساسي على الأرضية الميكرايتية والحبيبات الغير هيكلية المتمثلة بالدمالق، (شكل F-6). وتعد عمليات الدلمتة والسمنتة من أهم العمليات التحويرية المؤثرة في هذه السحنة. وتمثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-16) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ8, FZ9) المعروفة ببيئة المسطحات المدية.



الشكل 6. (A) تمثل سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوية على فتاتات صخرية. (B) تمثل سحنة الحجر الجيري الطيني الدملي. (C) تمثل سحنة الحجر الجيري الطيني الحاوي على متبخرات. (D) تمثل سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على فتاتات صخرية. (E) تمثل سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوية على الطحالب. (F) تمثل سحنة الحجر الجيري الواكي الدملي.

2-3 سحنة الحجر الجيري المرصوص (Lim Packstone Microfacies):

تتميز هذه السحنة بكثرة الحبيبات المترصصة في وسط أرضية ميكراتية دقيقة التبلور. وتتكون أغلب مكوناتها من حبيبات هيكلية، وخاصة الفورامنيفرا والتي تزيد نسبتها عن (50%). وتمثلت هذه السحنة الدقيقة بالإعتماد على محتواها الحياتي الى سحنتين ثانويتين:

2-3-1 سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على الفورامنيفرا القاعية الثانوية الدقيقة

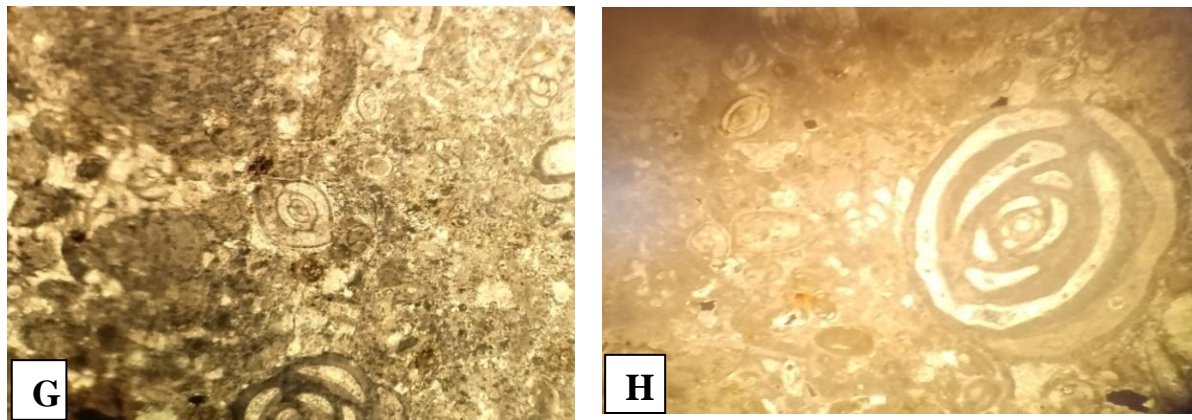
Benthonic Foraminifera Lim Packstone Submicrofacies(P1)

وتتواجد في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دهوك واقوبان، تتكون هذه السحنة من الحبيبات الهيكلية المتمثلة بالفورامنيفرا القاعية التي تتراوح نسبتها ما بين (70%-80%) من نسبة مكوناتها ككل وتتضمن المتحجرات المليونيد والروتاليد والألفيولينييد والتكستولاريا (الشكل 7-G). كما تحوي ايضاً الطحالب ويطنية القدم فضلاً عن مسامية الكهوف، وتظهر هذه السحنة تأثيراً بعملية السمنتة وإعادة التبلور بالإضافة الى الإنضغاط الكيميائي بوجود خطوط الستايولولايت. وتماثل هذه السحنة الصفات العامة للسحنة (SMF-18) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ-8) المعروف بالمنصة البحرية المحصورة.

2-3-2 سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على المليونيد الثانوية الدقيقة

Miliolidae Lim Packstone Submicrofacies (P2)

وتتواجد في الأجزاء الوسطى من مقطع كلي دهوك واقوبان، تتميز هذه السحنة الثانوية عن سابقتها باحتوائها على المليونيد ويكون أكثر شيوعاً من بقية الحبيبات الهيكلية (الشكل 7-H). بالإضافة الى تواجد (Textularia, Rotalia) ولكن بنسب ضئيلة مقارنة بمليونيد، ويعكس تواجد هذه المتحجرات الى أن البيئة الترسيبية هي بيئة البحيرات الشاطئية ذات الأعماق الضحلة. حيث تعيش مجموعات من المنخربات القاعية على ارتفاعات مختلفة فوق مستوى المد المتوسط (Edwards and Wright, 2015). كما تتأثر هذه السحنة بعملية السمنتة والإذابة والإنضغاط. وتتماثل هذه السحنة الصفات العامة لسحنة (SMF-18) المترسبة ضمن النطاق السحني (FZ-8) المعروفة بالمنصة البحرية المحصورة.



الشكل 7. (G) تمثل سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على الفورامنيفرا القاعية. (H) تمثل سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على المليونيد.

المناقشة

البيئات الترسيبية:

تعرف البيئة الترسيبية على أنها كل العوامل الكيميائية والفيزيائية والحياتية التي تتداخل مع بعضها، حيث ان الأختلافات التي تحدث بهذه العوامل هو ما يميز الرواسب ويعطيها خصائص معينة (Boggs, 2006; Baban, and

(Ahmad, 2021). ويتطلب استنتاج البيئة الرسوبية معرفة الدلائل الرسوبية والحياتية وربطها مع بعض وصولاً الى البيئة الترسيبية لتكوين قيد دراسته (الشكلين 2 و 3) ومن ضمن هذه الدلائل التراكيبي الرسوبية والمكونات الحبيبية والحياتية وطبيعة توزيعها وأيضاً توزيع السحنات الرسوبية وصولاً الى الموديل الرسوبي.

وقد بينت نتائج التحليل السحني بأن بيئة ترسيب التكوين هي بيئة المسطحات المدية (Tidal Flat). حيث تعتبر هذه البيئة بيئة انتقالية بين البيئة البحرية والقارية كما تحتاج هذه البيئة لتتكون الى منحدر واطى، وتحتوي على الكثير من الكائنات الحية والتي من أهمها الطحالب الخضراء المزرققة والنواعم والفورامنفرات القاعية وغيرها من الأحياء التي تعيش في البيئات الضحلة. وتتواجد هذه البيئة في مختلف مناطق العالم على طول خط الساحل وحافة اللاكون ومصبات القنوات المدية للبيئة مدية (Edris and Ayad, 2022; Khallil and Sakry, 2023). وتقسم هذه البيئة الى ثلاث مناطق وهي البيئة الفوق مدية، والبين مدية، والتحت مدية وقد تم تشخيص هذه البيئة في تتابعات التكوين، وفيما يلي شرح مفصل لهذه البيئة:

1-البيئة الفوق مدية (Supratidal Environment):

هي البيئة التي تكون الأقرب الى اليابسة وتمثل الجزء الخارجي من المسطح المدي، وتكون معرضة للهواء في أغلب الوقت واحياناً تغمر بالمياه لفترات قصيرة خلال فصل الربيع أو خلال المد العاصفي نتيجة تيارات المد العالية وتأثير تيارات العواصف. وتمثل هذه البيئة بالسحنات الكربوناتيية التي تتعرض للانكشاف الهوائي فضلاً عن وجود عملية الدلمتة، حيث تم تشخيص الحجر الجيري الطيني الحاوي على المتبخرات (M3)(Evaporitic Lim Mudstone)، والحجر الجيري الطيني الدملقي (M2)، والحجر الجيري الواكي الحاوي على الطحالب (W2)، والسحنة الصخرية للحجر الجيري الحاوية على التشققات الطينية (L3). وتمتاز هذه السحنة بندرة المتحجرات فيها وذلك بسبب الملوحة والحرارة التي تتكون بها هذه السحنة، لذلك نلاحظ قلة وندرة المحتوى الحياتي فيها (Boggs, 2006). كما تعد سحنة الحجر الجيري الطيني (M) السحنة المميزة لهذه البيئة (Solak et al., 2016). وشخصت الدراسة وجود الفجوات والكهوف التي تكونت بفعل عملية الإذابة الجبس في السحنات الفوق مدية (Lucia, 1972). ومن الأدلة الأخرى على هذه البيئة هو شيوع الطين الكربوناتي الذي لا يحوي على متحجرات و الحاوي على تركيب عين الطير والذي بدوره يعطي دليلاً على بيئة الفوق مدية كما اشار اليها العالم (Illing et al., 1965). وتشير جميع الأدلة المتمثلة بأذابة الجبس والأنهائدرات والدلمتة والفجوات والكهوف تشير على أن هذه البيئة ذات طاقة واطنة (Kavoosi et al., 2009)، فضلاً عن وجود سحنة الستروماتولايت (L6) خصوصاً في الأجزاء السفلى من مقطع كلي دهوك، ومن الجدير بالذكر أن المسطحات الفوق مدية يشيع فيها التشققات الطينية التي تتميز بشكلها المضلع والتي تعطي دليل واضح على الانكشاف السطحي والتعرض للهواء وبذلك تشير الى بيئة المسطحات المدية (Demicco and Hardie, 1995). وقد تم تشخيص هذه البيئة في الأجزاء العليا للتكوين وكذلك في الأجزاء السفلى من التكوين (الشكلين 2 و 3).

2-البيئة البين مدية (Intertidal Environment):

تتكون هذه البيئة بين المد العالي والمد الواطى، وتتألف هذه البيئة من السحنة الصخرية لتركيب التطبيق المتقاطع نوع عظم السمكة (Herring Bon Cross-bedding)(L1)، ويعد هذا التركيب من الأدلة المهمة على بيئة (Intertidal) (Adeigbe, 2009; Rieneck and Singh, 1980). والسحنة الصخرية لتطبيق والعدسي (L2)، والسحنة الصخرية الحاوية على الترفقات (L5)، والسحنة الدقيقة للحجر الطيني الحاوي على الفتات الصخري (M1)، والحجر الجيري الواكي الحاوي على الطحالب (W2) والحجر الجيري الواكي الحاوي على الفتات والدملقي (W1) و (W3). وهناك ميزات عديدة لرواسب البين مدية منها الإتجاه الثنائي للطبقات المتقاطعة، والتداخلات الرملية الطينية المتقاربة في وحدات ذات البنية الصغيرة (الطبقات النيمية)(De Raaf and Boersma, 2007). وقد اشار العالم (Hoffman, 1976) الى ان الستروماتولايت المستوي ينتشر في البيئات البين المدية، بالإضافة الى ان هذه التراكيبي قد تتشكل في البيئات ذات الطاقة

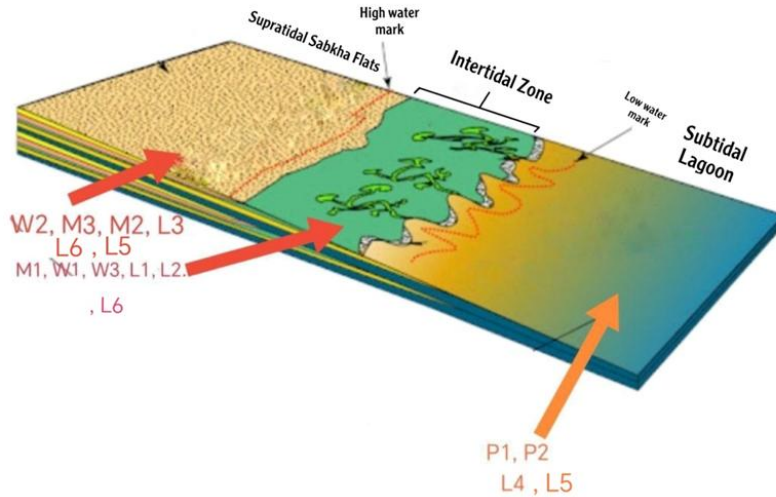
الواطنة المتمثلة بالجزء العلوي للبيئة البين مدية والجزء السفلي من البيئة الفوق مدية (Palma *et al.*, 2015; Sharazwri and Saeed, 2022). كما ان التراكيب الستروماتوليت تكون شائعة في البيئة البين المدية والبيئة التحت مدية في الوقت الحالي (Smith *et al.*, 2018). كما يشير تواجد بطنيات القدم (Gastropoda) الى البيئة البين المدية (Baharuddin and Syawal, 2018). وتعد سحنة الحجر الجيري الواكي الحاوي على الفتات الصخري والحجر الجيري الدملي من السحنات المميزة لبيئة البين مدية (Solak, 2016). كما تم تشخيص حفر تعود للأحياء القاعية، حيث تمتاز هذه الحفر بشكلها المتعرج فضلاً عن تميز الترسبات البين المدية بأثار الفعاليات الحياتية التي تنتج عن طريق النشاطات التي تقوم بها الأحياء القاعية (Flugel, 2004). ويشكل عام تمتاز هذه البيئة بشيوع الدمالق (Peloid) وقلة المتحجرات ووجود كسارات الأحياء (Bioclast)، بالإضافة الى عمليات المكترتة وتكوين الغلاف المكرايتي الذي يحيط بهذه الكسارات (Abdullah *et al.*, 2020). وتظهر سحنات هذه البيئة في الأجزاء الوسطى والسفلى من مقطع كلي دهوك واقوبان (الشكلين 2 و 3).

3-البيئة التحت مدية (Subtidal Environment):

وهي البيئة التي تقع تحت أوطى مد، وتكون مغطاة بالمياه بشكل دائم ويصل عمقه الى عدة أمتار (Flugel, 2004). وتتصف ترسبات هذه البيئة بطبقاتها السمكية وبغناها بالمتحجرات (James, 1979; Danyar and Fouad, 2023) وتعتبر سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوي على الفورامينيفرا القاعية (P1)، والحجر الجيري المرصوص الحاوية على المليونيد (P2)، وأيضاً السحنة الصخرية للسجيل (L4)، والتي تعتبر من السحنات المميزة لهذه البيئة، وقد شخّصت سحنات مطابقة لها في جنوب غربي ايران من قبل (Dehghanian, 2022). وتمتاز ترسبات البيئة التحت مدية بلونها الداكن بالمقارنة مع البيئات الأخرى ذات اللون الفاتح، ويساعد هذا التباين اللوني في تمييز هذه البيئة عن غيرها، ويعود سبب التباين اللوني الى انخفاض عملية الأكسدة في هذه البيئة (Shinn, 1969; Karim and Hamza, 2023). وتظهر سحنات هذه البيئة في الأجزاء الوسطى والسفلى من مقطع كلي دهوك (الشكل 3).

الموديل الرسوبي:

إستناداً للأدلة الحقلية ودعماً بالسحنات المجهرية تبين ان التكوين مترسب ببيئة مدية، حيث ظهر بصورة جلية ان التكوين في مقطع كلي دهوك يبدأ بسحنات الفوق مدية من خلال سحنة (L) مشتركا مع اعلى البيئة البين المدية ليحدث بعدها تقدم بحري متمثلاً بظهور سحنات التحت مدية بسحنات وهنا ظهرت تلك السحنات في مقطع أكوبان واعلى أجزاء اسفل المقطع في كلي دهوك وبعد ذلك بدء البحر بالتراجع تدريجياً حيث تم تشخيص سحنات البيئة البين مدية في كلا المقطعين ليستمر البحر بالتراجع مسجلاً سحنات البيئة الفوق مدية في أعلى المقطعين. وبالإعتماد على مجموعتي الإرتباطات السحنية التي تم تشخيصها من الدراسة الحالية، تم اقتراح موديل رسوبي بصورة تقريبية لجغرافية الحوض الرسوبي الذي ترسبت بها طبقات التكوين في منطقة الدراسة الحالية والذي يمثل جزء من منصة كاربوناتية من نوع (Rimmed carbonate platform) وكما مبين في الشكل (8).



الشكل 8. يوضح الموديل الرسوبي لتكوين أفانا في مقاطع الدراسة الحالية

الاستنتاجات

1. تتكون طبقات تكوين أفانا المتتابعة في مقاطع الدراسة من الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي والدولومايت وصخور السجيل المترققة الحاوية على المواد العضوية بسمك (57) متر في مقطع كلي دهوك و(8) متر في مقطع اقوبان.
2. سطح التماس السفلي للتكوين غير متوافق مع تكوين جركس، أما سطح التماس العلوي فيكون متوافق مع تكوين بيلاسبي.
3. أظهرت الدراسة البتروغرافية للتكوين قيد الدراسة إن الحبيبات الهيكلية، تمثلت بالفورمانيفرا القاعية خصوصاً المليونيد والروتاليد والكبيرة الحجم مثل الأفيولينيد، فضلاً عن الطحالب الخضراء المزرققة (Algae)، والرخويات صنف (Gastropoda) في حين تمثلت الحبيبات الغير هيكلية بالدمالق (Peloids)، والفتاتات الصخرية وكانت الأرضية ميكراتية في غالباً.
4. يحتوي تكوين أفانا على التراكيب الرسوبية المميزة مثل التشققات الطينية، والتطبق العدسي والنيمي، والتطبق المتقاطع كعظم السمكة، بالإضافة الى الترققات الطينية في الأجزاء المختلفة من مقطعي الدراسة.
5. تأثرت تتابعات تكوين أفانا بمختلف الفعاليات التحويرية مثل السمنتة والسلكة والتشكل الجديد والدلمة والديلمة وعمليات الإذابة والمسامية والإنضغاط الفيزيائي والكيميائي المتمثل بالاستايولولايت. إضافة الى المعادن موضعية النشأة مثل أكاسيد الحديد ومعدن البيريت (Pyrite).
6. أظهرت نتائج التحليل السحني لتتابعات تكوين أفانا انه يتألف من ثلاث سُحنات رئيسية وهي: سحنة الحجر الجيري الطيني، والحجر الجيري الواكي، والحجر الجيري المرصوص. وقسمت هذه السحنات بالإعتماد على محتواها الحياتي والرسوبي وطبيعة الفعاليات التحويرية المؤثرة فيها الى (8) سحنات ثانوية دقيقة وخمسة سحنات صخرية، وهي السحنة الصخرية لتطبق المتقاطع الذي يشبه عظم السمكة، والسحنة الصخرية لتطبق العدسي والفلازر، والسحنة الصخرية لتشققات الطينية، والسحنة الصخرية لصخور السجيل، والسحنة الصخرية الحاوية على الترققات.
7. ان جميع سحنات التكوين تم ترسيبها في بيئة المسطحات المدية الكربوناتية ضمن حافة الرصيف للمنصة الكربوناتية من نوع (Rimmed carbonate platform)، حيث تم تشخيص جميع البيئات الثانوية وهي: بيئة الفوق مدية وبيئة البين مدية وبيئة التحت مدية.

المصادر References

- Abdullah, M.A. Hassan, F.N., and Saleh, A.M., 2020. Microfacies and Palaeoenvironment of Avanah Formation (Middle Eocene) Geli Bessri in Dohuk City/North of Iraq, Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 25, No. 1. [DOI:10.25130/tjps.v25i1.217](https://doi.org/10.25130/tjps.v25i1.217)
- Al-Qayim, B. and Ghafor I.M., 2022. Biostratigraphy and Paleoenvironments of Benthic Foraminifera from Lower Part of the Damlouk Member, Western Desert, Iraq. Iraqi Journal of Science, (IJS), 63 (11), pp. 4799-4817. <https://doi.org/10.24996/ijs.2022.63.11.19>
- Al-Sukari, S.I.H., 1999. Stratigraphic and facies of Paleogene-aged limestone formations in selected sections in Northeast Iraq, unpublished MSc Thesis, University of Baghdad, 105 P.
- Baban, D.H. and Ahmad, S.M., 2021. Reservoir Properties of the Upper Oligocene-Lower Miocene Ibrahim Formation in the Garmian Area, Iraqi Kurdistan Region, Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 26, No. 6. [DOI:10.25130/tjps.v26i6.192](https://doi.org/10.25130/tjps.v26i6.192)
- Baharuddin, N., Basri, N.B. and Syawal, N.H., 2018. Marine gastropods (Gastropoda; Mollusca) diversity and distribution on intertidal rocky shores of Terengganu, Peninsular Malaysia. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation, 11(4), pp. 1144-1154
- Bathurst, R.G.C., 1975. Carbonate Sediment and their Diagenesis, Development in Sedimentology 12, (2nd Ed.) Elsevier Publisher, Amsterdam, 659 P.
- Bellen, R.C. Van, Dunnington, H.V., Wetzel, R., and Morton, D., 1959. Lexique Stratigraphique Internal Asie. Iraq. Intern. Geol. Conger. Comm. Stratiger, 3, Fasc. 10a, 333 P.
- Boggs, J.R., 2006. Principle of Sedimentology and Stratigraphy. 4th Edition, Pearson Prentice-Hall, 662 P.
- Boudagher, M.K., 2008. Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera: Developments in Paleontology and Stratigraphy, 21, Elsevier, 540 P .
- Buday, T., 1980. The regional geology of Iraq: stratigraphy and paleogeography (Vol. 1). State Organization for Minerals, Directorate General for Geological Survey and Mineral Investigations.
- Danyar A.S. and Qader, F.H., 2023. Reservoir Characterization of the Upper Part of Qamchuqa Formation from Miran and Bazian Oilfields in Kurdistan Region, NE Iraq, Tikrit Journal of Pure Science: Vol. 28 No. 6. [DOI:10.25130/tjps.v28i6.1352](https://doi.org/10.25130/tjps.v28i6.1352)
- De Raaf, J.F.M. and Boersma, J.R., 2007. Tidal deposits and their sedimentary structures (seven examples from Western Europe). Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw, (Classic Papers).
- Dehghanian, M., 2022. Biostratigraphy of the Asmari Formation in northwest of Shiraz (Tange Jalab) on the basis of the large benthic foraminifera. Advanced Applied Geology, 12(2), pp. 291-305. [DOI:10.22055/AAG.2021.36506.2200](https://doi.org/10.22055/AAG.2021.36506.2200)
- Demicco, R.V. and Hardie, L.A., 1995. Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits. SEPM Society for Sedimentary Geology.
- Ditmar, V.I., Begishev, F.A., Afanasia, J.T., Befousova, M.G., Briousov, B.A., Petchernikov, V.V., Cheremnyh, E.M., Shmakova, E.L., Koverznev, V.Y., and Nazarov, N.P, 1971. Geological condition & hydrocarbon prospects of the Republic of Iraq (Northern and Central parts). Rep. INOC Library, Baghdad.

- Pirot, E.M. and Edilbi, A.N.F., 2022. Reservoir Characterization of Pila Spi Formation (Middle–Late Eocene) in Shaqlawa and Shekhan areas, Kurdistan Region, Northern Iraq, *Tikrit Journal of Pure Science*: Vol. 27, No. 5. [DOI:10.25130/tjps.v27i5.15](https://doi.org/10.25130/tjps.v27i5.15)
- Edwards, R. and Wright, A., 2015. Foraminifera. *Handbook of sea-level research*, 191-217.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rock, Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 976 P.
- Hoffman, P., 1976. Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: Walter, M.R. (ed.). *Stromatolites. Developments in Sedimentology*, Vol. 20, Elsevier, Amsterdam, pp. 261-271.
- Illing, L.V., Wells, A.S. and Taylor, J.C.M., 1965. Pencontemporary Dolomite in the Persian (Arabian) Gulf. In: Pray, L.C., and Murray, R.C. (Eds.). *Dolomitization and limestone diagenesis: A Symposium-SEPM Special Pub.*, No.13, pp. 89-111.
- Ismail, N.R., 2006. Stratigraphic and sedimentological study of Middle Eocene-Early Miocene sequences in the Sinjar Basin, Northwest Iraq, unpublished PhD Thesis, University of Mosul, 215 P.
- James, N.P., 1979. Reef and mound: In Walker, R.G. and James, N.P., (Eds.) *Facies Models, Response to Sea Level Change*. *Geo.Text1*, Geol. Asso. of Canada, pp. 27-47 .
- Jassim, S.Z. and Buday, T., 2006b. Middle Paleocene-Eocene Megasequence (AP 10), In: Jassim, S.Z. and Goff, J.C. (Eds.), *Geology of Iraq*, Publ. Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, pp. 155-167.
- Karim H.K. and Hamza, J.B., 2023. Relation between Walsh and Kolosh Formations and geology of their equivalent metamorphosed greywackes and arenites in Sulaimaniyah Governorate, Kurdistan Region, Northeast Iraq, *Tikrit Journal of Pure Science*: Vol. 28 No. 6. [DOI:10.25130/tjps.v28i6.1598](https://doi.org/10.25130/tjps.v28i6.1598)
- Karim, K.H., 2006. Stratigraphy of Sartaq-Bamo area, Northeastern Iraq, *Jour. Sulaimaniah University*, Vol. 5, No. 1, pp. 66-79.
- Kavoosi, M.A., Lasemi, Y., Sherhati, S. and Harami, R.M., 2009. Facies Analysis and depositional sequences of the upper Jurassic Mozduran Formation, Kopep Dagh Basin, NE Iran. *Jour. of Petroleum, Geol.*, Vol. 32, No. 3, pp. 235-26.
- Khalaf, S.K. and Al-Akeedi, N.M.A., 1994. Middle Eocene Ostracoda from Northern Iraq. *Studies Journal*, Vol. 21B, No. 3, pp. 25-37.
- Khallil, P.M. and Sakry, S.I., 2023. Microfacies Analysis and Depositional Environment of the Middle Eocene Avanah Formation in Haibat Sultan Area, Iraqi Kurdistan Region, *Tikrit Journal of Pure Science*, Vol. 28 No. 3. [DOI:10.25130/tjps.v28i3.1424](https://doi.org/10.25130/tjps.v28i3.1424)
- Lucia, F.J., 1972. Recognition of evaporate-carbonate shoreline sedimentation; in: Rigby, J.K. and Hamblin, W.K., (Eds): *Recognition of Ancient sedimentary environment*, Special Publication, No. 16, *Soci. Econ. Paleon. Minera*, pp. 160-191.
- Palma, R.M., Kietzmann, D.A., Comerio, M., Chivelete, M.C., Gomez, J.L., Bressan, G.S., 2015. Oxfordian microbial laminites from La Manga Formation, Neuquen Basin, Argentina: Remarkable nanobacteria Preservation. *Jour. of Iberian, Geol.*, Vol. 41, No. 3, pp. 351-363.
- Rieneck, H.E. and Singh, I.B., 1980. *Depositional Sedimentary Environments*, Springer Verlag, New York, 439 P.

- Sharazwri, A.O. and Saeed, A.T., 2022. Paleoecology and Depositional Environment of the Govanda Formation in the Kurdistan region, northeast of Iraq, *Tikrit Journal of Pure Science*: Vol. 27, No. 5. [DOI:10.25130/tjps.v27i5.17](https://doi.org/10.25130/tjps.v27i5.17)
- Sharland, P.R., Casey, D.M., Davies, R.B., Simmons, M.D. and Sutcliffe, O.E., 2004. Arabian plate sequence stratigraphy–revisions to SP2. *GeoArabia*, 9(1), pp. 199-214.
- Shinn, E.A., 1983. Tidal Flat Environment: In Scholl, P.A., Bebout, D.G., and Moore, C.H. (Eds.), *Carbonate Depositional Environments*. AAPG. Bull., Memoir No. 33, pp. 171-210.
- Smith, A., Cooper, A., Misra, S., Bharuth, V., Guastell, L., and Botes, R., 2018. The extant shore platform stromatolites (SPS) Facies association: a glimpse into the Archean. *Biogeosciences*, Vol. 15, pp. 2189-2203.
- Solak, C., Tash, K., and Koc, H., 2016. Early Cretaceous shallow–water Platform carbonates of the Bolker Mountains, Central Taurides – south Turkey: facies analysis and depositional environments. *Earth and Environmental Science*, Vol. 44, pp. 1-5.
- Warren, L.V., Varejao, F.G., Quaglio, F., Simoes, M.G., Fursich, F.T., Poire, D.G., Catto, B., and Assine, M.L., 2016. Stromatolites from the Aptian Crato Formation, a hypersaline lake system in the Araripe Basin, Northeastern Brazil. *Facies*, Vol. 63, No. 3, pp. 1-19.



المحاكاة المكانية للتوسع المساحي في مدينة تلغفر باستخدام الذكاء الاصطناعي و نظم المعلومات الجغرافية

محمد عبود اضعيف¹، عمر عبدالله اسماعيل² 

^{1,2} قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

الملخص

تشهد المدن توسعاً حضرياً متزايداً على حساب الأراضي الزراعية في الغالب، ورغم صغر مساحة المناطق الحضرية، فقد أدى توسعها لتغييرات كبيرة وخسارة أراضي زراعية خصبة تُعد مورداً وطنياً مهماً. إن النمو السكاني المستمر للمدينة يدفع إلى توسع مساحي حضري، لاسيما في الدول النامية، إذ توقعت الأمم المتحدة تجاوز نسبة سكان المدن 60% بحلول 2030، مع 90% من النمو بالدول النامية. انطلقت مشكلة البحث من تساؤلين رئيسيين مفادهما: ماهي طبيعة التوسع المساحي لمدينة تلغفر ما بين عامي (1997-2023)، وما هي صورة التوسعات المستقبلية حتى عام 2037. يهدف البحث الحالي الى استخدام الذكاء الاصطناعي وفقاً لأنموذج الشبكات العصبية الاصطناعية ANN ضمن برمجية GeoSOS المدمجة مع نظم المعلومات الجغرافية في عملية المحاكاة المكانية المستقبلية لظاهرة التوسع المساحي في مدينة تلغفر من اجل الوقوف على السيناريوهات المستقبلية الممكنة للتوسع المنشود حتى عام 2037. وقد توصل البحث الى مجموعة من الاستنتاجات اهمها أن تصنيف الغطاء الأرضي مكن من التعرف على المساحة الحضرية ونمط توسع المدينة في السنوات السابقة وربط هذا مع السيناريوهات المكانية التي أنتجها أنموذج المحاكاة ANN-CA حول معدل الزيادة المساحية للأرض الحضرية التي قدرت بنحو (22) كم² حتى عام 2037 كما بينت هذه السيناريوهات أن التوسع المساحي للمدينة يتجه نحو أصناف الملاءمة المرتفعة جداً والمرتفعة بعيداً عن أصناف الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 23- اكتوبر-2024

تاريخ المراجعة: 15- ديسمبر-2024

تاريخ القبول: 03- فبراير-2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل-2026

الكلمات المفتاحية:


التوسع المساحي،
المحاكاة المكانية،
الذكاء الاصطناعي،
نظم المعلومات الجغرافية،
(AHP) عمليات التحليل الهرمية،
مدينة تلغفر،

المراسلة:

الاسم: محمد عبود اضعيف

Email:
mohammad.22ehp144@student.uomosul.edu.iq

The Spatial Simulation of Urban Expansion in the Tal Afar City Using Artificial Intelligence and GIS

Mohammed Abood Adhaeif ^{1*}, Omar Abdullah Ismaeel ² 

^{1,2} Department of Geography, College of Education for Humanities, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 23- Oct -2024

Revised: 15- Dec -2024

Accepted: 03- Feb -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Urban Expansion,
Spatial Simulation,
Artificial Intelligence,
GIS,
Analytic Hierarchy Process
(AHP),
Tal Afar,

Correspondence:

Name: Mohammed Abood
Adhaeif

Email:

mohammad.22ehp144@student.uomosul.edu.iq

ABSTRACT

Cities are rapidly expanding, often at the expense of agricultural land. Although urban areas occupy small spaces, their growth has led to significant changes and loss of a vital, fertile farmland national resource. This expansion is driven by a rising population, particularly in developing countries. The United Nations Organization predicts that by 2030, over 60% of the global population will live in cities, with 90% of this growth occurring in developing nations. This research addresses key questions: What are the future scenarios for urban expansion in Tal Afar, considering the land's capacity? Do these scenarios vary within the city's urban area?. The study utilizes Geographic GIS to simulate future urban expansion in Tal Afar and identify potential scenarios until 2037. This is achieved using artificial intelligence through the Artificial Neural Networks (ANN) model within the GeoSOS software in GIS. The findings indicate that land cover classification helped in identifying urban expansion patterns in previous years. The ANN-CA simulation model projected an estimated urban land increase of about 22 km² by 2037. The scenarios suggest that expansion will primarily occur in highly suitable and suitable areas, avoiding regions with low suitability.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60812](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60812), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

تزداد ظاهرة التوسع المساحي الحضري للمدن على حساب الأراضي المجاورة يوماً بعد آخر، وعلى الرغم من أن المناطق الحضرية لا تمثل سوى جزء صغير من سطح الأرض، إلا أن توسعها السريع على حساب الأراضي المجاورة قد أدى إلى تغيير كبير في المعالم الطبيعية وخسارة الكثير من الأراضي الخصبة التي لا يمكن تعويضها إطلاقاً؛ وعلى الجانب الآخر، فإن الزيادة السكانية المستمرة شكلت قوة دافعة نحو توسع المدن على حساب الأراضي الزراعية كظاهرة مستمرة في معظم أنحاء العالم لاسيما في البلدان النامية، فمن المتوقع أن يتجاوز عدد سكان المناطق الحضرية 60% بحلول عام 2030، مع حدوث 90% من الزيادة في البلدان النامية وفقاً لتوقعات الأمم المتحدة.

من هنا يأتي الدور الريادي للكفاء الاصطناعية المدمج بنظم المعلومات الجغرافية في التحري عن سياق التوسع المساحي الحضري بين الماضي والحاضر من جانب، والكشف عن قدرة الأرض الحالية على استيعاب وترشيد التوسع المساحي الحضري وفقاً للمعايير التخطيطية والوقوف عن ملامح مستقبل التوسع المساحي الحضري من جانب آخر، ومن ثم تقديم وثائق مكانية يمكن ان تدعم عمليات التخطيط والتنمية.

انطلقت مشكلة البحث من التساؤلات التالية: (1) ماهي طبيعة التوسع المساحي لمدينة تلغفر ما بين عامي (1997-2023) وما هي اسباب ذلك التوسع او مبرراته؟ (2) ما هو المشهد الحالي لملاءمة الارض في مدينة تلغفر

على استيعاب التوسع المساحي الحضري بدلالة حجم السكان وفقاً للمعايير التخطيطية ذات الطابع المكاني؟ (3) ماهي سيناريوهات التوسع المساحي المستقبلي لمدينة تلعفر إذا ما أخذ أو لم يؤخذ بالحسبان ملائمة الأرض على استيعاب التوسع المنشود؟.

وفي ضوء مشكلة البحث صيغة الفرضية الرئيسة على النحو الآتي: ان للمحاكاة المكانية دوراً مهماً في توجيه سيناريوهات التوسع المساحي لمدينة تلعفر حتى عام 2037، وبذلك تضمنت الفرضية الرئيسة مجموعة من الفرضيات الفرعية على النحو الآتي: - (1) هناك توسع مساحي بمستويات قافزة في مدينة تلعفر نتيجة للزيادة المطردة في عدد السكان ما بين الأعوام (1997-2009-2023)؛ (2) يأخذ المشهد الحالي لملاءمة الأرض على التوسع المساحي في مدينة تلعفر مستويات مختلفة متأثرة بمجموعة من المحددات المستتبطة من الخصوصية المكانية للمدينة؛ (3) تتباين سيناريوهات التوسع المساحي المستقبلي في حال الاخذ ام عدم الاخذ بملاءمة الأرض على استيعاب ذلك التوسع.

واستناداً الى مشكلة البحث والفرضية تمت صياغة اهداف البحث على النحو الآتي:

(1) التحري عن طبيعة التوسع المساحي لمدينة تلعفر بدلالة حجم السكان اعتماداً على المرئيات الفضائية التي يوفرها الاستشعار عن بعد والمؤشرات المكانية لاتجاهات التوسع باستخدام نظم المعلومات الجغرافية؛ (2) الكشف عن مشهد الملاءمة الحالية للأرض في مدينة تلعفر على استيعاب التوسع المساحي اعتماداً على تكامل نظم المعلومات الجغرافية ونظم دعم القرار المكاني؛ (3) الوقوف على السيناريوهات المستقبلية للتوسع المساحي في مدينة تلعفر اعتماداً على تكامل نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الذكاء الاصطناعي.

بني البحث على المنهج التجريبي الذي يبدأ بحدس مفاهيمي تصار ترجمته لاحقاً على نحو مؤشرات كمية مختلفة من اجل الاجابة عن التساؤل والبيت في الموضوع المراد دراسته.

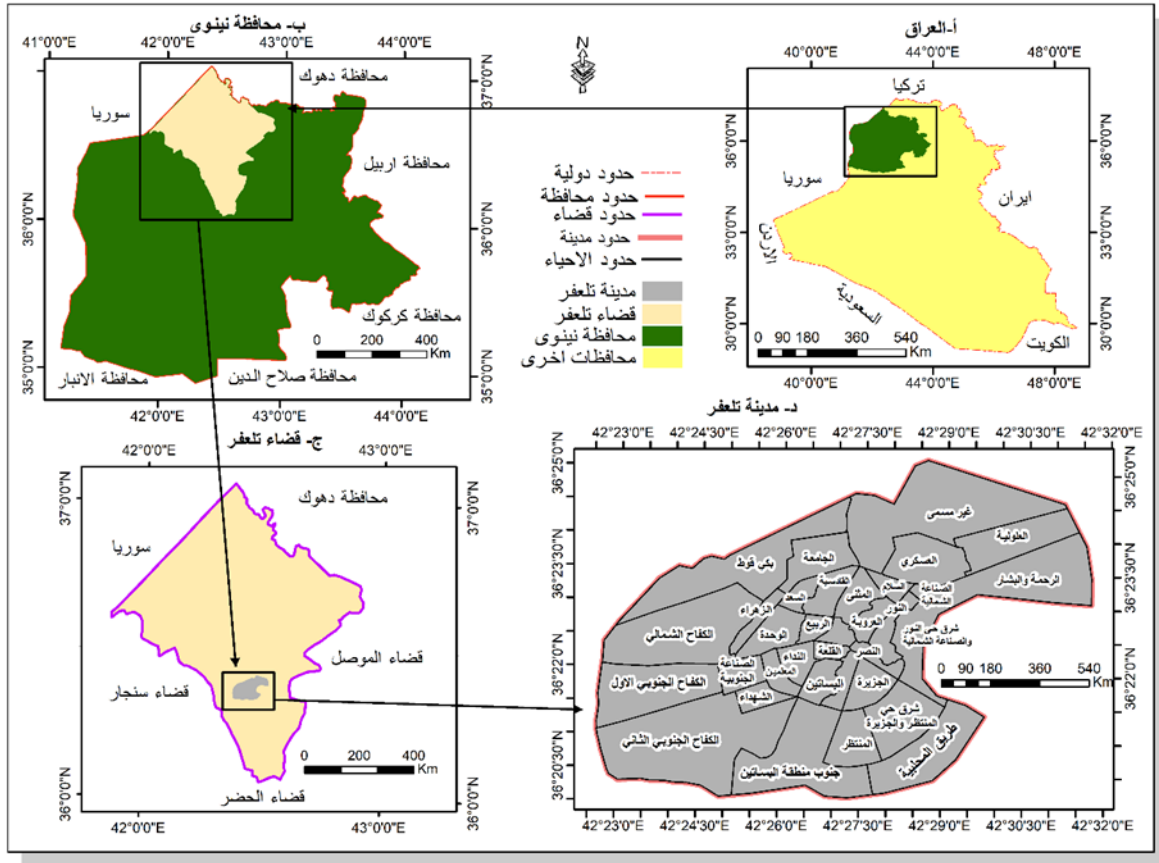
منطقة الدراسة

تقع مدينة تلعفر في شمال غربي العراق، وهي تابعة لمحافظة نينوى. تُعد تلعفر واحدة من المدن الكبرى في المحافظة وتقع على بعد حوالي 60 كم غرب مدينة الموصل. تتميز المدينة بموقعها الجغرافي الاستراتيجي لقرتها من الحدود مع سوريا وتركيا، مما جعلها منطقة ذات أهمية تاريخية وجيوسياسية. تقع المدينة عند تقاطع خطي عرض (36° 18' - 36° 23' شمالاً) وخطي الطول (42° 22' - 42° 28' شرقاً).

انحصرت الحدود الزمانية للشروع في المحاكاة المستقبلية لمستقبل التوسع المساحي لمدينة تلعفر من عام 1997، مروراً بعام 2009، نحو عام 2023، فضلاً عن التنبؤ بمستقبل ذلك التوسع حتى عام 2037 (الشكل 1).

مصادر البيانات

تم استخدام مجموعة من البيانات المتنوعة المصادر، من اجل استنتاج 11 عاملاً مؤثراً على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلعفر، الا وهي القرب من الجامعة، القرب من طرق النقل الرئيسة، البعد عن مواقع الطمر الصحي، البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي، البعد عن المواقع العسكرية والمطارات، البعد عن الاراضي ذات الانحدار الشديد، البعد عن المجاري المائية، البعد عن الاراضي الزراعية ذات الجودة العالية، القرب من المنطقة الحضرية الحالية، البعد عن المقابر و البعد عن المواقع الصناعية، فضلاً عن استخدام بيانات السكان لثلاث مدد زمنية من اجل الوقوف على القوة الدافعة للتوسع المساحي في مدينة تلعفر (الجدول 1).



الشكل 1. الموقع الجغرافي لمدينة تلعفر.

الجدول 1: مصادر البيانات المستخدمة في البحث

العوامل	مصادر البيانات
القرب من الجامعة	جمهورية العراق، وزارة الاعمار والإسكان، مديرية بلديات نينوى، مديرية بلدية تلعفر، بيانات رقمية غير منشورة،
القرب من طرق النقل الرئيسية	نفس المصدر السابق
البعد عن مواقع الطمر الصحي	نفس المصدر السابق
البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي	نفس المصدر السابق
البعد عن المواقع العسكرية والمطارات	نفس المصدر السابق
أعداد السكان 2023، 2009، 1997	جمهورية العراق، وزارة التخطيط، مديرية احصاء نينوى، شعبة تكنولوجيا المعلومات، بيانات رقمية غير منشورة.
البعد عن الأراضي ذات الانحدار الشديد	نموذج الارتفاع الرقمي DEM
البعد عن المجاري المائية	نموذج الارتفاع الرقمي DEM
البعد عن الأراضي الزراعية ذات الجودة العالية	Landsat8 (OLI)/ Landsat7 (ETM+)
القرب من المنطقة الحضرية	Landsat 8 OLI
البعد عن المقابر	زيارة ميدانية
البعد عن المواقع الصناعية	زيارة ميدانية

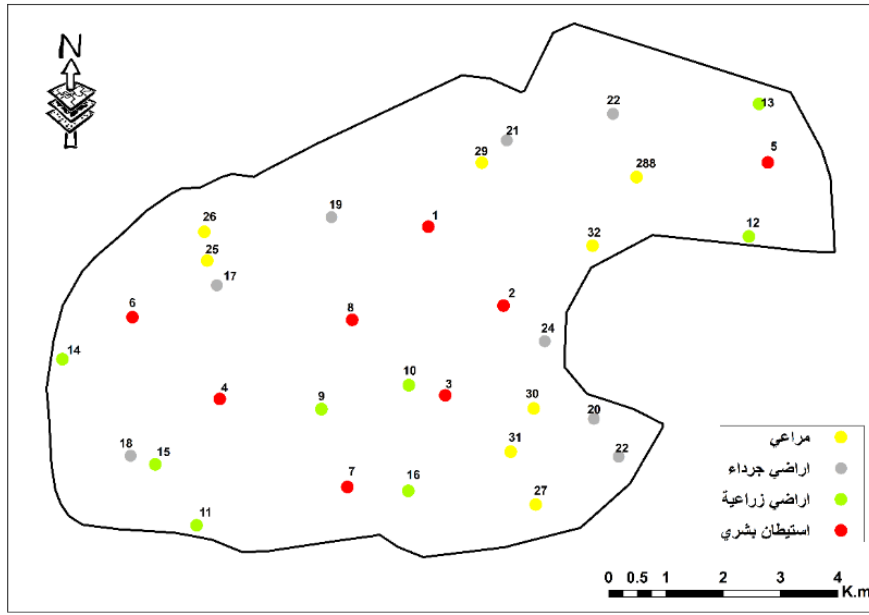
المرئيات الفضائية

لعبت المرئيات الفضائية دوراً مهماً في تقييم التوسع الحضري من خلال قياس استخدام الأراضي وتغير الغطاء الأرضي للمدن والمناطق المحيطة بها. يوفر الاستشعار عن بعد تغطية متسقة مكانياً لمناطق واسعة ذات تردد زمني وتفاصيل مكانية عالية مما يفيد في تحليل الظواهر المعتمدة على الوقت مثل التوسع الحضري، لذلك يعد الاستشعار عن بعد مصدراً موثقاً وفعالاً ودقيقاً للبيانات لرصد التوسع العمراني (Mohammady and Delavar, 2016). أتمت البحث على المرئيات الفضائية للقمر الاصطناعي Landsat، وتم تنزيل جميع المرئيات من موقع Earth Explorer التابع لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS، وتم استخدام تواريخ متعددة لبيانات Landsat، إذ تم اختيار ثلاث مرئيات بغطاء سحابي أقل من 10% لتجنب أخطاء التصنيف وبدقة مكانية 30 متراً، وتم استخدام مرئيات Landsat 7

ETM+ و Landsat 8 OLI للأعوام 1997، 2009 و 2023، إذ تمثل جميع المرئيات فصل الربيع ليسهل تمييز المنطقة المبنية على المناطق المغطاة بالنبات من تمييز الغطاء الأرضي.

الزيارة الميدانية وعينات التدريب

تم الشروع بالزيارة الميدانية إلى منطقة الدراسة لتجميع المادة العلمية، وتنفذ بعض مناطق تركيز الغطاءات الأرضية منها الأراضي الزراعية والمراعي والمستقرات البشرية والأراضي الجرداء، وقد تم الاعتماد على الزيارة الميدانية لمنطقة الدراسة في رصد مواقع عينات التدريب Training Sites، إذ تم أخذ ثماني عينات لكل صنف من أصناف الغطاء الأرضي للحصول على دقة عالية في التصنيف، مع مراعاة أخذ أكبر عدد من عينات التدريب لكل صنف من أصناف الغطاء الأرضي لضمان زيادة دقة التصنيف؛ هذا بالنسبة لمرئية 2023، أما مرئيات 1997 و 2009، فقد تم الاعتماد على التصنيف البصري وليس على عينات التدريب في تصنيف الغطاء الأرضي، وكانت الزيارة الميدانية بتاريخ 10/6/2024 التي تم فيها أخذ عينات التدريب (الخريطة 1 والشكل 2).



الشكل 2. مواقع عينات التدريب المأخوذة عن الزيارات الميدانية لسنة 2023 من مدينة تلعفر.

المنهجية

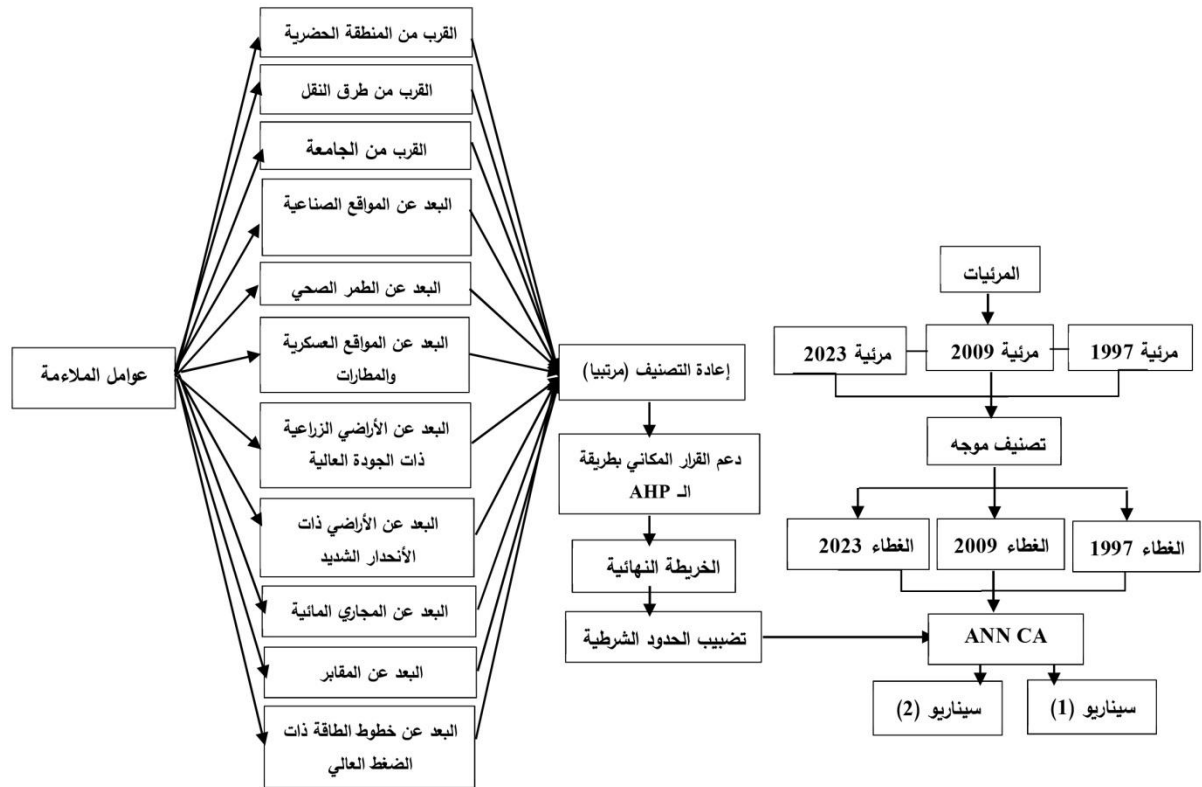
اعتمد هذا البحث سلسلة من الإجراءات المتتابعة التي جرى بناؤها بطريقة تسمح بفهم التوسع الحضري في مدينة تلعفر وتتبع مساره عبر الزمن ثم استشراف شكله المستقبلي. وقد بدأت خطوات العمل من أكثر مصادر البيانات موثوقة، وهي المرئيات الفضائية من القمر الاصطناعي Landsat، إذ اختيرت لسنوات تمثل نقاطاً فاصلة في تطور المدينة (1997، 2009، 2023). وبعد تحميل تلك المرئيات، أُخضعت لمجموعة من المعالجات الضرورية كالتصحيح الإشعاعي والجوي، وإصلاح الفجوات في مرئيات Landsat-7، ثم اقتطاع حدود منطقة الدراسة بما يضمن أن تتحصر جميع التحليلات اللاحقة داخل الإطار المكاني للمدينة. ثم جرى العمل على تصنيف الغطاء الأرضي باستخدام طريقة التصنيف الموجّه المعتمدة على الشبكات العصبية الاصطناعية في برمجية ENVI. وبعد الحصول على خرائط الغطاء الأرضي المتعددة، اختُبرت دقتها عبر مصفوفة الخطأ ومعامل كابا، لضمان أن التوسع الحضري المستخرج لاحقاً يمثل الواقع إلى حد يسمح بالاعتماد عليه.

فضلا عن ذلك، جرى بناء منظومة العوامل المؤثرة في التوسع المساحي، وهي مجموعة من المعايير المكانية التي ترتبط مباشرة بسلوك المدينة واتجاهات نموها. وقد شملت هذه العوامل ما يمكن عده عناصر جذب للتوسع، مثل القرب من الطرق الرئيسية أو من الكتلة الحضرية، فضلا عن عناصر طرد مثل مواقع الأنشطة الصناعية أو الأراضي شديدة الانحدار، ذلك بعد تجهيز كل عامل بصيغة Raster الذي أُعيد تقييسه بدرجات مرتبة تسمح بمقارنته بالعوامل الأخرى على أساس واحد.

ولأن وزن كل عامل لا يُفترض مسبقاً، جرى الرجوع إلى طريقة التحليل الهرمي (AHP) التي تتيح تقدير الأهمية النسبية لكل معيار بصورة منطقية تستند إلى المقارنات الزوجية، وقد أمكن من خلالها الوصول إلى أوزان متوازنة تعكس تأثير كل عامل في عملية اتخاذ القرار. ثم نُمجت العوامل داخل بيئة ArcGIS desktop 10.8 للحصول على خريطة شاملة تبين درجات ملائمة الأرض للتوسع الحضري في صورته الراهنة.

الخطوة التي تلت ذلك كانت ضرورية لربط نموذج الملاءمة بعمليات المحاكاة، وتمثلت في تحويل القيم العددية إلى قيم ضبابية عبر دالة Fuzzy Large، بحيث تصبح الطبقات جاهزة للاستخدام كقيود شرطية في نموذج المحاكاة. وبهذه الخطوة صار بالإمكان الانتقال إلى الجزء الأكثر حساسية في المنهجية الا وهو التنبؤ بالمستقبل.

وقد استُخدم لهذا الغرض نموذج ANN-CA المتوافر ضمن امتداد GeoSOS، وهو نموذج يجمع بين الشبكات العصبية والأتمتة الخلوية، ويُعد من أكثر الأدوات قدرة على النقاط أنماط واتجاهات التوسع الحضري وإعادة إنتاجها مستقبلاً. أُدخلت خرائط التوسع الماضية إلى النموذج، ودرّبت الشبكة على اكتشاف السلوك المكاني للمدينة، ثم شُغل النموذج طبقاً لسيناريوهين: أحدهما يعكس استمرار التوسع التقليدي كما ظهر تاريخياً، والآخر يأخذ بعين الاعتبار ملاءمة الأرض، وفي نهاية المطاف أُنتجت خرائط تنبؤية تمتد حتى عام 2037 التي يمكن الاعتماد عليها في تحليل اتجاهات النمو المحتملة وصياغة رؤى تخطيطية واقعية (الشكل 3).



الشكل 3. المنهجية

المعالجات الأولية

قبل الشروع في تصنيف المرئيات ذات التواريخ المذكورة اعلاه تم إجراء معالجات منهجية على تلك المرئيات ابتداء من ملء الفجوات، فقد أدى العطل في مصحح خط المسح الضوئي (SLC) Scan Line Corrector في المستشعر Landsat 7 (ETM+) في 31 مايو 2003 الى ظهور ثغرات دائمة في كل صور القمر الاصطناعي وفي كل مشهد من مشاهد Landsat 7، فكانت وظيفة SLC هي التعويض عن الحركة الأمامية للقمر الصناعي أثناء الحصول على البيانات وأدى هذا الى ظهور فجوات في المرئيات تتراوح من وحدة صورية Pixel قرب مركز المرئية إلى 14 وحدة صورية على طول الحواف الشرقية والغربية لكل مشهد تم الحصول عليه، بالتالي ظهور تشوهات تظهر على شكل خطوط تمتد من يسار الصورة إلى يمينها (Abtan, 2022). وفي هذه الدراسة تم الاعتماد من اجل تصحيح الخطأ وملء الفجوات في المرئيات التابعة لسنة 2009 على الامتداد Gap Fill Extension التابع لبرمجية ENVI 5.3 في عملية التصحيح، اذ تتم عملية التصحيح على اساس الحزمة الواحدة وتتكرر على جميع الحزم عن طريق استخراج قيمة الصف الممسوح الموازي للفجوة Gap من الجهة العليا مع قيمة الصف الممسوح الموازي للفجوة من الجهة السفلى، ثم يستخرج الوسط الحسابي للصفين إلى أن تمتلئ الفجوة (Al-Qassab, 2021). أما التصحيح الجوي الذي يتضمن إعادة ترتيب جميع الوحدات الرقمية في المرئية بحيث تصبح جميع العلاقات خطية فيما بينها وبين الإشعاعية والانعكاسية لجميع وحدات الصور الرقمية (Zhu and Xia., 2023). تأتي بعد ذلك مرحلة المعايرة الإشعاعية التي تهدف إلى تقويم المرئيات الفضائية وإعادة تصحيحها لتحسين الفروقات الانعكاسية في المعالم الأرضية، بالتالي امكانية تمييز أفضل للظواهر خصوصا بعد تحويل القيم الرقمية DN للخلايا على اساس احتساب موقع الشمس في سمت السماء، فهذه المهمة ضرورية عند التعامل مع الصور المتعددة الأزمنة (Li and Feng, 2014).

ثم جاءت مرحلة التصحيح الفلاشي Flash Correction بعد عملية المعايرة الإشعاعية، ويتمثل التصحيح الفلاشي بإدخال حزم المرئية الفضائية بعد إعادة دمجها مرة أخرى، في هذه المرحلة تطلب الأمر إدخال معلومات اضافية فضلا عن تاريخ التقاط المرئية الفضائية ونوع المستشعر، كوقت الالتقاط بالساعة والدقيقة والثانية، وإحداثيات مركز المشهد، وأعلى ارتفاع لسطح الأرض في المنطقة الذي تم الحصول عليه من الأنموذج الرقمي للارتفاعات DEM لمنطقة الدراسة بدقة مكانية 30 متراً، ليصار بعد ذلك إلى تصفية المرئيات الفضائية من تأثير الغلاف الجوي تماما. وأخيرا تم اقتطاع حدود منطقة الدراسة Subset لحصر المعالجات اللاحقة وعملية التصنيف داخل الحدود الإدارية للمنطقة وصولا إلى نماذج خرائطية متعددة الأزمنة للغطاء الأرضي (Al-Qassab, 2021).

أما دمج الحزم فالهدف من دمج الحزم بتقنية خلط الالوان RGB هو تحويل المرئية من اللون الرمادي إلى مرئية ملونة عن طريق اضافة اللون الأحمر والأخضر والأزرق لإنتاج مرئية ملونة بالألوان الكاذبة الغرض الرئيسي من نموذج ألوان RGB هو استشعار الصورة وعرضها على الأنظمة الإلكترونية يؤدي إلى زيادة وضوح المرئية للمساعدة في عمليات التفسير البصري (Jensen, 2016).

مرحلة التصنيف

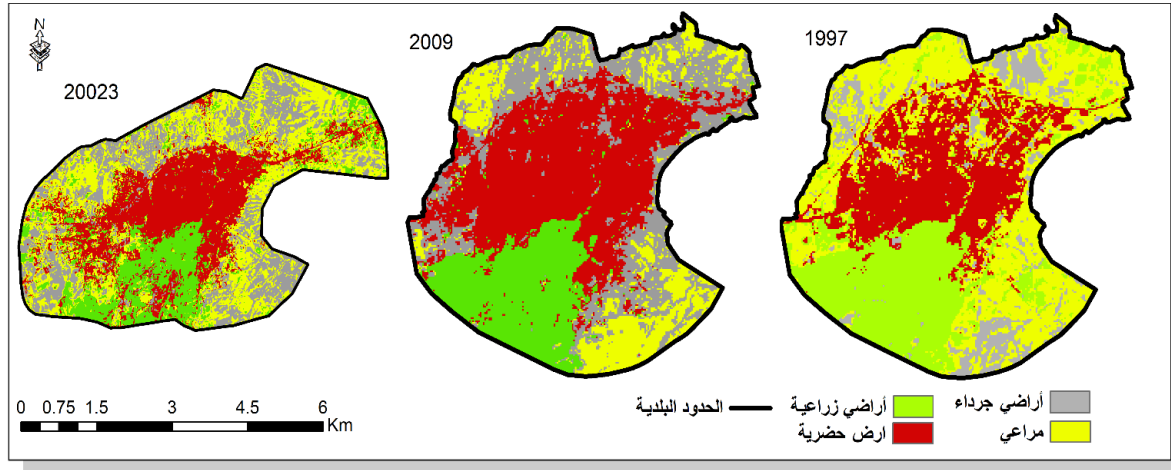
التصنيف الموجه Supervised Classification هو عملية تصنيف تبني على معلومات عن الخصائص الطيفية لغطاءات الأرض في المنطقة المصورة، إذ يبدأ المحلل بعرض المرئية ويحدد عليها مناطق مختارة لكل صنف من اصناف غطاء الأرض في المنطقة المعنية. والتصنيف الموجه يكون أكثر دقة في رسم الخرائط ومعرفة الغطاء الأرضي ويعتمد على مهارات وإدراك محلل الصور في تحديد عينات البحث ومواقع التدريب (Perumal and Bhaskaran, 2010)، وقد وقع الاختيار على طريقة التصنيف الموجه الخاصة بالشبكات العصبية الاصطناعية لكونها أحدث طرائق التصنيف وأكثرها جودة على الصعيد التقني (Qiang and Lam, 2015)، فالشبكات العصبية الاصطناعية Artificial

Neural Networks (ANN) هي أنظمة حسابية مستوحاة من الشبكات العصبية البيولوجية للإنسان إذ ترتبط مجموعة من معاملات الإدخال بمخرج تم تعيينه بواسطة تحويل مشفر في أوزان الشبكة. في هذا الصدد، يمكن استخدامها كدالة لاستقبال بيانات الإدخال من صور الأقمار الصناعية كمعاملات الإدخال الخاصة وتصنيف الغطاء الأرضي (Mokhtarzade and Zoej, 2007)، ويمكن التعبير عن الشبكات العصبية الاصطناعية رياضياً من خلال المعادلة الآتية (Shrestha and Mahmood, 2019):

$$y = \varphi\left(\sum_{j=1}^n w_j x_j + b\right)$$

إذ ان: (x_j) إشارات الادخال، و (w_j) تمثل أوزان المشابك العصبية، وتمثل (b) قيمة الانحياز، ويقصد ب (φ) وظيفة التنشيط، وتشير (y) الى إشارة الإخراج.

تم تصنيف الغطاء الأرضي لمدينة تلعفر في برمجية ENVI 5.3 باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية في تحديد أصناف الغطاء الأرضي في مدينة تلعفر بعد ما اخذت عينات التدريب من الزيارة الميدانية للمنطقة (الخريطة 2).



الشكل 4. اصناف الغطاء الارضي في مدينة تلعفر للأعوام 1997، 2009، 2023.

تقييم دقة التصنيف

تجرى عملية تقييم الدقة باستخدام مصفوفة الخطأ Error Matrix وهي مصفوفة مربعة مكونة من عدد متساوٍ من الأعمدة والصفوف التي تمثل عدد الأصناف أو الغطاءات الأرضية، إذ تمثل الأعمدة البيانات المرجعية (Data Reference) للعينات أو الأصناف، وتمثل الصفوف بيانات الخريطة (المرئية المصنفة المطلوب تقييمها) لهذه العينات أو الأصناف، وتعد مصفوفة الخطأ من الطرائق الإحصائية الأكثر شيوعاً (Al-Qassab, 2021)، إذ كانت نتائج التصنيف لخرائط الغطاء الأرضي التي تعود لعام 1997 ذات دقة عالية على الصعيد الكلي والجزئي، فقد شملت عينات التدريب 937 وحدة صورية، صنف منها 875 وحدة صورية تصنيف صحيحاً، وبذلك بلغت الدقة الكلية 93.38% فضلاً عن معامل كبا الذي سجل قيمة بلغت 0.90. أما على الصعيد الجزئي، فقد حصل صنف الأراضي الزراعية دقة كاملة 100%، يمكن عزو دقة تصنيف الأراضي الزراعية الكاملة إلى أن اختيار تاريخ النقاط المرئية جاء في مدة نضوج المحاصيل الزراعية، أما صنف الاستيطان البشري فقد حصل على دقة بلغت 98.20%، أما صنف الأراضي الجرداء فقد حصل على دقة منتج 78.48%، أما صنف المراعي فقد بلغت دقة التصنيف المنتج 96.76%، أما تقييم دقة التصنيف للغطاء الأرضي لعام 2009 فقد شملت عينات التدريب التابعة 1709 وحدة صورية لعام 2009 صنف منها 1676 تصنيفاً صحيحاً فكانت الدقة الكلية 98.06% ومعامل كبا 0.96، وقد تراوحت دقة المنتج ودقة المستخدم ما بين 100% التي سجلته صنف أراضي الاستيطان البشري، وبين 99.60% الذي سجلته الأراضي الزراعية، أما صنف الأراضي

الجرءاء فقد بلغت دقة المنتج لهذا الصنف 99.30%، وصنف المراعي وصلت دقة المنتج فيه الى 72.18 نتيجة الالتباس الذي حصل بين الوحدات الطيفية لهذا الصنف وصنف الأراضي الجرداء. بالنسبة لعام 2023، فقد سجل دقة تصنيف مقارنة للدقة التي سجلت في عام 2009، فقد احتوت عينات التدريب على 1048 وحدة صورية، صنف منها 1045 وحدة صورية تصنيفاً صحيحاً، فكانت الدقة الكلية للتصنيف 99.71% ومعامل كبا 0.99، وقد حصلت الأراضي الحضرية والأراضي الزراعية والمراعي على دقة مستخدم كاملة 100%، أما الأراضي الجرداء فقد حصلت على دقة مستخدم 97.20% نتيجة ذهاب وحدتين صورييتين إلى صنف المراعي بسبب الالتباس بين الوحدات الطيفية.

ملاءمة الارض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلعفر

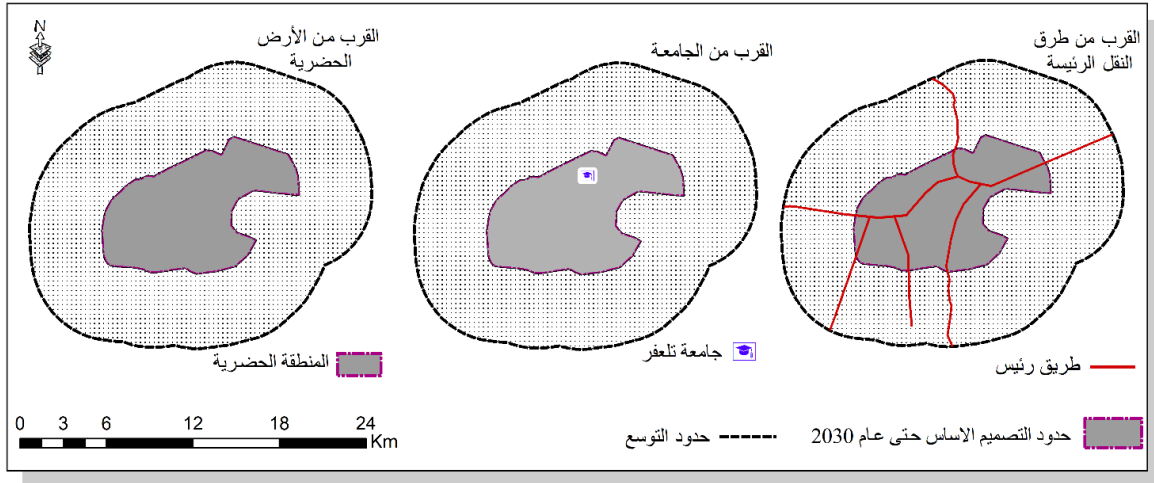
في الكثير من الحالات يتم اختيار مناطق توسع المدن دون إتباع منهج علمي تجريبي يأخذ بعين الاعتبار الملاءمة المكانية للتوسع الحضري وقد يؤخذ ذلك بالحسبان في مخططات التصميم الأساس للمدينة. الا ان المشكلة تكمن في التلكؤ في تنفيذ تلك التصاميم، الأمر الذي أوجد فجوة شاسعة بين النظرية والتطبيق، وهذا ما أدى إلى استنزاف مساحات كبيرة من الأراضي الزراعية نتيجة تجاوز الاستعمالات الحضرية عليها. تعمل النمذجة المكانية على زيادة إمكانية اختيار المواقع الأكثر ملاءمة للتوسع الحضري (النمذجة الارشادية) وذلك من خلال دراسة العوامل المؤثرة في التوسع الحضري (النمذجة الوصفية)، وهنا يأتي دور النمذجة المكانية في اختيار أفضل مناطق ملائمة للتوسع المساحي الحضري في المدة المستقبلية، وذلك عن طريق تحديد العوامل المؤثرة في التوسع الحضري وبيان تأثير هذه العوامل مكانيا من خلال نظم المعلومات الجغرافية المدمجة مع عمليات التحليل الهرمية (Analytic Hierarchy Process, AHP).

تهيئة عوامل الملاءمة المكانية للتوسع المساحي لمدينة تلعفر

تم الاعتماد على جملة من العوامل التي لها علاقة بخصوصية الحيز المكاني لمدينة تلعفر، إذ يمكن تقسيمها الى عوامل جذب وعوامل طرد، وتتمثل عوامل الجذب في (القرب من المنطقة الحضرية، والقرب من الطرق النقل الرئيسية، والقرب من الجامعة).

1- عوامل الجذب نحو التوسع المساحي الحضري

يعمل عامل القرب من المنطقة الحضرية على تحقيق الترابط والتجانس مع مناطق التوسع المستقبلي، إذ يعمل على تقليل التكلفة الاقتصادية في إنشاء خدمات البنى التحتية الأساسية من مد شبكات الطرق والمياه والكهرباء، كما يوفر سهولة الوصول (الوقت-المسافة) إلى أغلب الفعاليات الموجودة داخل مراكز المدن، وكذلك التجانس والترابط الحضري بين الكتلة العمرانية الحالية ومناطق التوسع المستقبلية. وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن الكتلة العمرانية للمدينة (Steurer and Bayr, 2020)، اما عامل القرب من الطرق الرئيسية، فله دور إيجابي في سهولة الوصول ومن ثم جذب المستقرات البشرية، إذ لا يمكن للمدينة أن تتطور وتنمو وتتفاعل مع بعضها البعض من دون شبكة الشوارع ويصبح من الصعب بالنسبة لاستعمالات الأرض الأخرى أن تؤدي وظائفها داخل المدينة. إن العلاقة بين شبكات الطرق وبين التجمعات الحضرية علاقة تكاملية، إذ إن التلاحم بين السكان والطرق على أعلى درجاته داخل التجمع نفسه، وتسهم الطرق في النمو العمراني من خلال امتدادها في المناطق غير المأهولة، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن الشوارع الرئيسية (Aburas et al., 2016). تعد الجامعة من مراكز الخدمات المهمة للمدينة وتأخذ مكانة حيوية مهمة لما لها من تأثير مباشر على توسع المدينة، إذ تعمل على جذب السكان نحوها سواء من العاملين فيها أو الطلاب، ولها أيضاً دور كبير في جذب الخدمات العامة، منها الخدمات التجارية وتحفيز النمو الاقتصادي في المناطق المحيطة بها وجذب الاستثمار حولها، لذا فإن عامل القرب من الجامعة يُعد جانبا نتيجة للرغبة الكبيرة عند السكان في التوسع الحضري نحو هذا الاتجاه وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن الجامعة (Verburg et al., 2004)



الشكل 5. عوامل الجذب نحو التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر.

2- عوامل الطرد نحو التوسع المساحي الحضري

أما عوامل الطرد فتتمثل بـ (البعد عن الصناعات الملوثة والمناطق الصناعية، والبعد عن الطمر الصحي والبعد عن المواقع العسكرية والمطارات والبعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي والبعد عن الأراضي ذات الانحدارات الشديدة والبعد عن الأراضي الزراعية والبعد عن المجاري المائية والبعد عن المقابر). تؤثر المنشآت الصناعية ضمن المدينة على جودة الحياة الحضرية وذلك من خلال ما تسببه من ملوثات وفي الوقت نفسه عدم رغبة السكان في مجاورتها لتأثيرها البيئي والنفسي والصحي، كذلك يتطلب أيضا ترك مساحات واسعة بينها وبين المناطق السكنية كمحرمات وبذلك تصبح من أكبر معوقات التوسع المساحي، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن المواقع الصناعية (Ahmed and Mahdi, 2019) تعد مواقع الطمر الصحي مصدراً من مصادر التلوث البيئي، إذ تساهم بشكل كبير في تلوث عناصر البيئة من تربة وماء وهواء، كما تعمل على تشويه المنظر الجمالي للمحيط الذي يعيش فيه أفراد المجتمع وتأثيرها على الصحة والسلامة العامة عن طريق انتشار الأمراض والأوبئة. ويشترط المختصون بأن لا يقل موقع الطمر الصحي عن 1500م من حدود أقرب نقطة سكنية، فهي قد تسبب تلوثاً وأمراضاً بسبب النفايات السامة وتسربها إلى التربة والمياه الجوفية، لذلك يُفضل إبعادها عن المناطق السكنية لضمان بيئة آمنة، وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن الطمر الصحي (Aziz, 2021). أما عامل البعد عن المواقع العسكرية والمطارات فإنه عادة ما يأخذ مخطوط الحضر بنظر الاعتبار المسافات المناسبة عند توجيه التوسع العمراني للمدن بعيداً عن المناطق المجاورة للمواقع العسكرية والمطارات لضمان سلامة وأمن قاطني المدينة وكذلك الضوضاء الناتجة عن حركة الطائرات في الإقلاع والهبوط، فضلاً عن القيود التنظيمية التي تفرض من قبل السلطات في المواقع المحيطة بالمعسكرات والمطارات، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن المواقع العسكرية والمطارات (Malczewski, 2004). فيما يخص عامل البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي فقد وجدت بعض الدراسات أن خطوط نقل الطاقة الكهربائية ذات الضغط العالي هي بالغة الخطورة من حيث ما تحمله من فولتيات عالية ومن ثم ما تصدره من موجات كهرومغناطيسية ومالها من تأثير على التركيبة البيولوجية للإنسان بسبب قربها من أماكن السكن ونتيجة التلوث الإشعاعي الصادر عن هذه الخطوط والتي تسبب الأمراض، أما حدود الأمان من تلك الخطوط فيبلغ 5500 متراً. وقد تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي (Mathloom, 2016). يعبر الانحدار Slope عن الخطوط أو السمات الخطية التي تمثل مناطق الضعف أو الإزاحة الهيكلية في قشرة الأرض وبذلك تعد عاملاً حاسماً في استقرار المناطق المتوطنة فيها، كما يعد عامل الانحدار مهماً عند اختيار مناطق التوسع المساحي، فالمناطق ذات الانحدار الشديد لا يمكن التوسع نحوها إلا بإجراء عمليات التسوية عليها، والبعض الآخر تكون عملية البناء فيها مستحيلة (Ayalew and

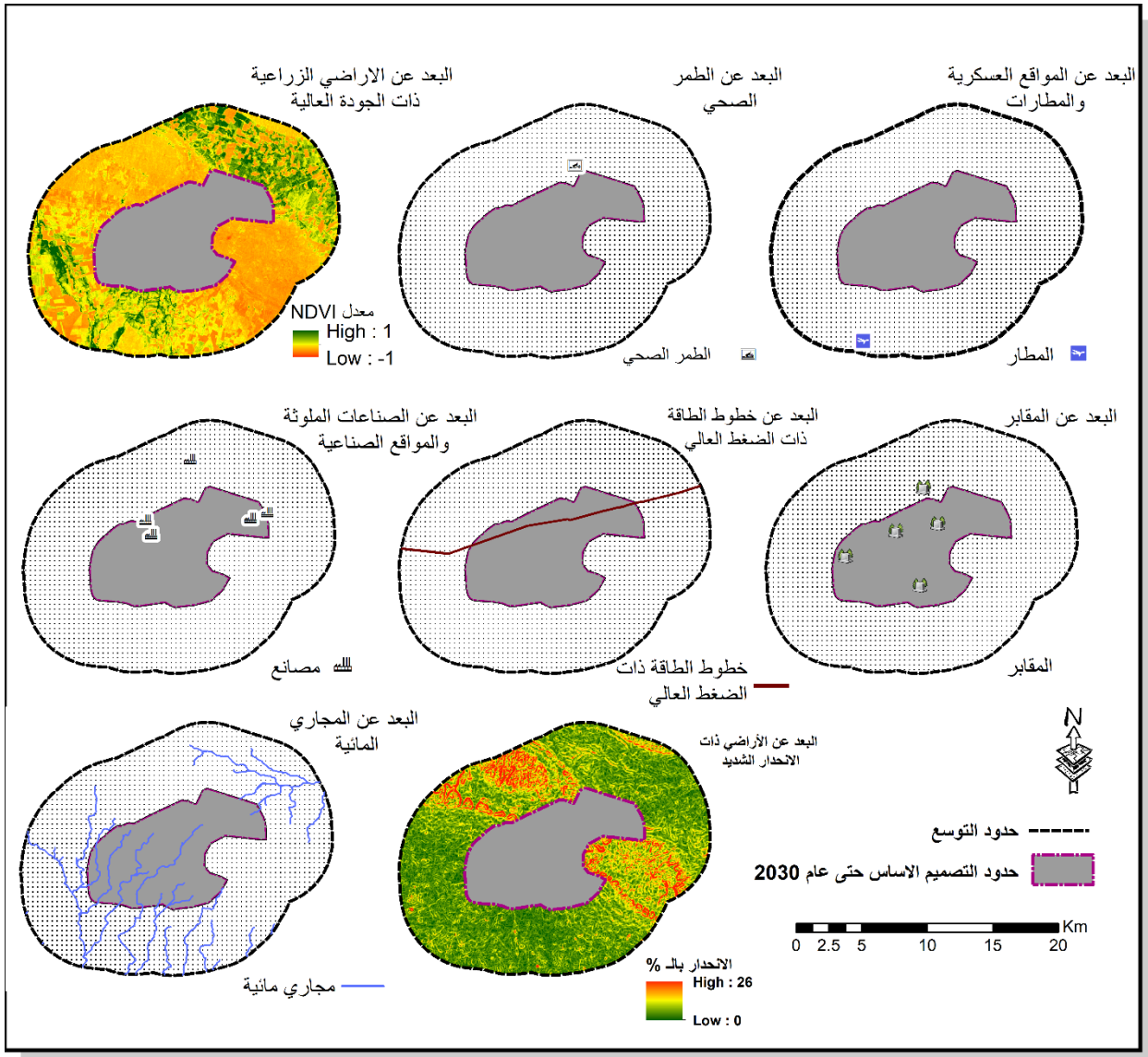
(Yamagishi, 2005)، إلا أن المناطق التي لا تزيد درجة انحدارها عن 15° هي المناطق الملائمة للاستعمال السكني والبناء فيها، فالمناطق ذات الانحدار القليل هي المناطق الملائمة للتوسع المساحي، لأنها تتخفف فيها التكلفة الاقتصادية للبناء ولا تحتاج الى عمليات تسوية للأرض. أما المناطق التي تعد غير صالحة للاستعمال العمراني فهي التي تزيد درجة انحدارها عن 22° وهي المناطق التي تقع على حوافي المناطق المرتفعة وقد تمت نمذجة عامل الانحدار باشتقاق المنحدرات الارضية من أنموذج الارتفاعات الرقمية DEM بدقة مكانية 30 م (Youssef et al., 2011).

التحضر ظاهرة لا مفر منها، وان تحول الأراضي الزراعية -غالبا- إلى أراضٍ حضرية في نهاية المطاف قد يؤثر سلبًا على الإنتاج الزراعي. بشكل عام، يؤدي ارتفاع معدل التوسع الحضري إلى زيادة فقدان الأراضي الزراعية، لذلك لابد من اتخاذ تدابير للمحافظة على الأراضي الزراعية، وهي إدخال تحسينات على التخطيط الحضري الذي يمكن أن يوازن ما بين الطلب على الأراضي في المناطق الحضرية وتقلص الأراضي الزراعية. إن الحفاظ على الأراضي الزراعية يأخذ الأولوية في توجيه التوسع المساحي في مدينة تلغفر من أجل استدامة الموارد الطبيعية، لا سيما الأراضي الخصبة الواقعة في محيط المدينة والتي من الممكن أن تزودها بالمحاصيل الزراعية اعتمادا على المرثيات الفضائية للقمر الاصطناعي Landsat7 (+ETM) و Landsat8 (OLI)، إذ يتم احتساب الـ NDVI كما في المعادلة الآتية: (Al-Janqli and Ismaeel, 2025)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

إذ أن: $NDVI$ = مؤشر الغطاء النباتي المطبق ؛ NIR = النطاق الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة ؛ RED = النطاق الطيفي للأشعة الحمراء .

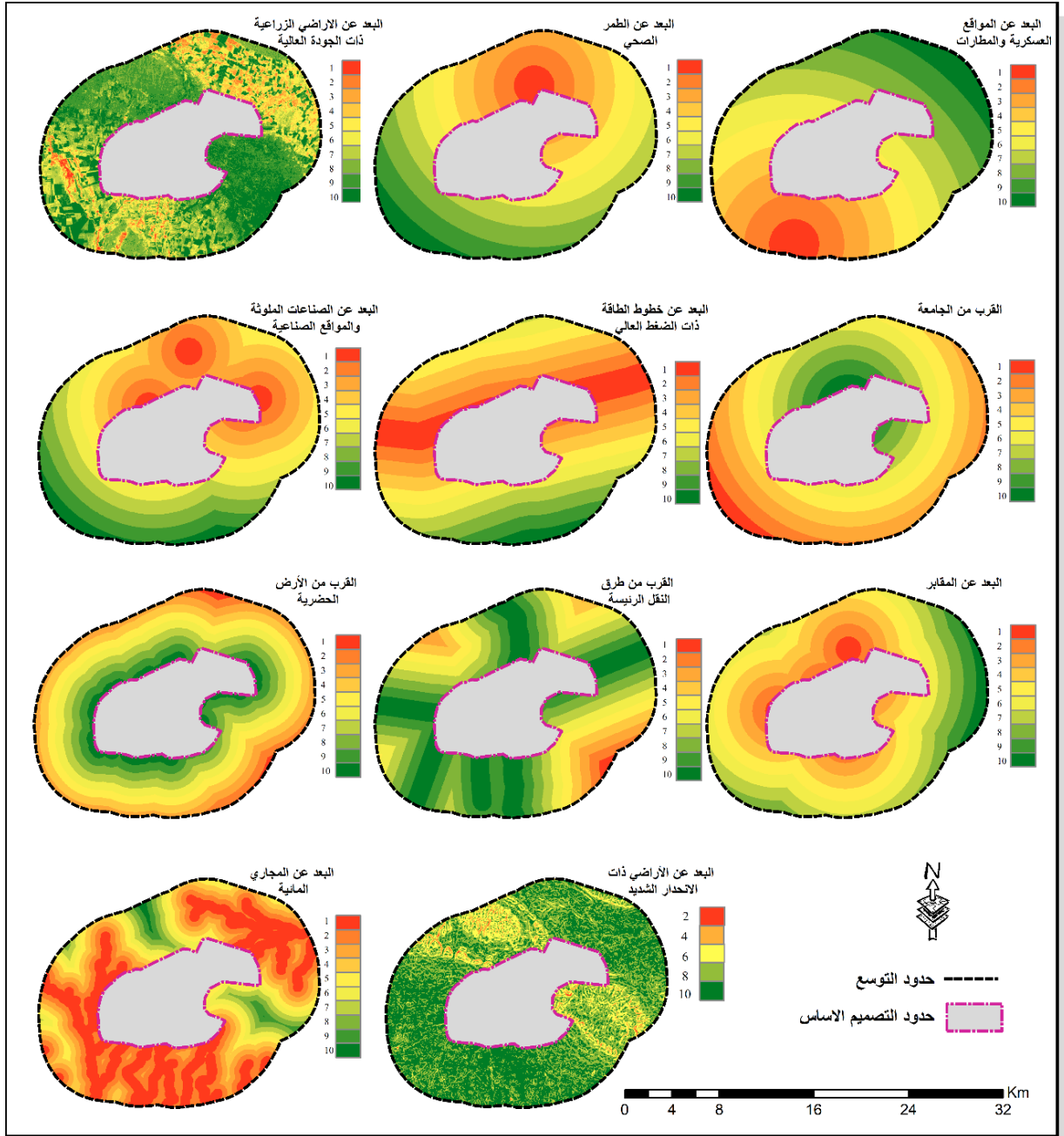
أما عامل البعد عن المجاري المائية فهو عامل مهم يجب أخذه بالحسبان عند وضع التصاميم الأساس للمدن، إذ إن المناطق القريبة من المجاري المائية معرضة لمخاطر قد تؤدي إلى خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات وغيرها من الآثار التي تنتج عنها في التوسع المساحي للمدن (Boutaghane, et al., 2022). تمت نمذجة العامل المعني بتحليل المسافة الاقليدية عن المجاري المائية. أما المقابر، فتعد عائقاً للنمو العمراني، لذلك عند التخطيط لتوسع المدن يُفضل الابتعاد عن المقابر بسبب تأثيراتها الصحية والنفسية، والمقابر لها أهمية خاصة في بعض المجتمعات إذ تعد أماكن مقدسة تُحترم، لذا يُفضل وضعها خارج التصميم الحضري الأساسي، مع الحفاظ على مسافات كافية لضمان راحة السكان وتقادي أي آثار سلبية، لذلك تمت نمذجة هذا العامل بتحليل المسافة الاقليدية عن المقابر (الشكل 6).



الشكل 6. عوامل الطرد للتوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر.

تقييس العوامل المؤثرة على التوسع المساحي الحضري

لغرض اظهار التباين المكاني لتأثير كل عامل من العوامل التي ذكرت سابقا، لابد من توحيد مقاييسها بما يتلاءم مع طبيعة كل عامل من جهة، والحصول على استنتاج معلوماتي اكثر تفصيلا من جهة اخرى. ولتحقيق ذلك، لابد من اجراء عملية اعادة تصنيف وفقا لمقياس مرتبي Ordinal Scale لكل عامل على حدى، ذلك من أجل الوقوف على أثر كل عامل من تلك العوامل على التوسع المساحي، وقد تم ذلك باستخدام امكانية اعادة التصنيف Reclassification ضمن ادوات المحلل المكاني Spatial Analyst في برمجية ArcGIS desktop 10.8، إذ تم تقييس العوامل بمقياس مرتبي من الرتبة (1) التي تعتبر اقل الرتب أهمية إلى الرتبة (10) التي تعتبر اعلى أهمية، وبناءً على ذلك سوف تأخذ المناطق الأقرب إلى عوامل الجذب أعلى تقييم وهو (10) أما المناطق الأبعد عن عوامل الجذب فأنها تأخذ اقل تقييم وهو (1)، وعلى العكس من ذلك في عوامل الطرد التي سوف تأخذ مناطق البعد عن هذه العوامل أعلى تقييم وهو (10) اما مناطق القرب منها سوف تأخذ ادنى تقييم وهو (1) (الشكل 7).



الشكل 7. تقييس العوامل المؤثرة على التوسع المساحي لمدينة تلعفر بالمقياس المرتبي.

التقييم المتعدد المعايير للعوامل المؤثرة على التوسع المساحي في مدينة تلعفر

قبل البدء في دمج العوامل للخروج بأنموذج ملائمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلعفر، لابد من معرفة الأهمية النسبية (وزن) لكل عامل من العوامل، ومن أجل تجنب الحكم الشخصي في ذلك، تم الاعتماد على عملية التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP) التي تعد واحدة من أنجح الطرق التي يستخدمها صانعو القرار للتعامل مع القرارات الصعبة، تم اقتراحه من قبل Saaty في عام 1980، وساعدت طريقة الـ AHP في النقاط موضوعية القرار من خلال تقليل عدد القرارات المعقدة وتحويلها إلى سلسلة من المقارنات الزوجية وجمع النتائج، كما تعتبر تقنية مفيدة في التحقق من اتساق النتائج وتقليل التحيز في صنع القرار (Khazael, 2021). تعمل طريقة الـ AHP في نظم المعلومات الجغرافية على حساب قيمة الأهمية النسبية لكل عامل للشروع بإنتاج خريطة ذات فئات مرتبة على نحو متسلسل، مُعتمدة على قيمة الأهمية النسبية الذي تم تنسيبه إلى العوامل الداخلة في نموذجها.

وقد تم تطبيق عمليات التحليل الهرمية بتهيئة استبانة لمجموعة من المحكمين من تخصصات جغرافية وتخطيطية ثم تم التعامل مع الاستبانة إحصائياً بإجراء مصفوفة المقارنة الزوجية ثم الخروج بمستوى ثبات الاحكام و اوزان العوامل الداخلة في العملية، إذ تم الاعتماد على الموقع AHP Online على الشبكة العالمية وهو خاص بطريقة الـ AHP في عملية التقييم المتعدد المعايير (الجدول 2).

الجدول 2: الأوزان المطلقة والأهمية النسبية للعوامل الداخلة في ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر حتى عام 2037.

القيمة الوزنية $\sum w_i$		العوامل
الوزن المطلق score	الأهمية %	
0.148	14.8	البعد عن المواقع الصناعات والصناعات الملوثة
0.148	14.8	البعد عن الطمر الصحي
0.148	14.8	البعد عن المواقع العسكرية والمطارات
0.074	7.4	البعد عن الأراضي ذات الانحدار الشديد
0.074	7.4	البعد عن الأراضي الزراعية ذات الجودة العالية
0.074	7.4	البعد عن خطوط الطاقة ذات الضغط العالي
0.074	7.4	القرب من طرق النقل الرئيسية
0.074	7.4	القرب من الأراضي الحضرية
0.074	7.4	البعد عن المقابر
0.074	7.4	البعد عن المجاري المائية
0.037	3.7	القرب من الجامعة
1	100	المجموع

وبعد الخروج بأوزان للعوامل الداخلة في نموذج ملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر تم دمج العوامل باستخدام جبر الخرائط في نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج مشهد ملاءمة الأرض على التوسع المساحي لمدينة تلغفر بمحدد العوامل المؤثرة في التوسع المساحي.

المحاكاة المكانية لمستقبل التوسع المساحي في مدينة تلغفر حتى عام 2037

المحاكاة المكانية Spatial Simulation هي عملية تعتمد على استخدام النماذج الحاسوبية لتقليد أداء العمليات الزمنية في العالم الحقيقي بشكل تقريبي. ويعود هذا التبسيط إلى الطبيعة المعقدة للعمليات الفعلية، مما يستوجب اختزالها لفهم آليات عملها فيما يتعلق ببعض المتغيرات المستقلة الأساسية. تعتمد المحاكاة المكانية على تطوير نماذج وإنشاء بيانات مكثفة تُستخدم لتوفير معلومات دقيقة تُسهم في بناء نموذج مُفصل لحالة معينة، ويسعى إلى التنبؤ بالحالات المستقبلية على مدى محاكاة المكان والزمان بناءً على افتراضين (Gao, 2021):

1. يمكن قياس حالة كل نظام في كل لحظة وفي كل مكان.

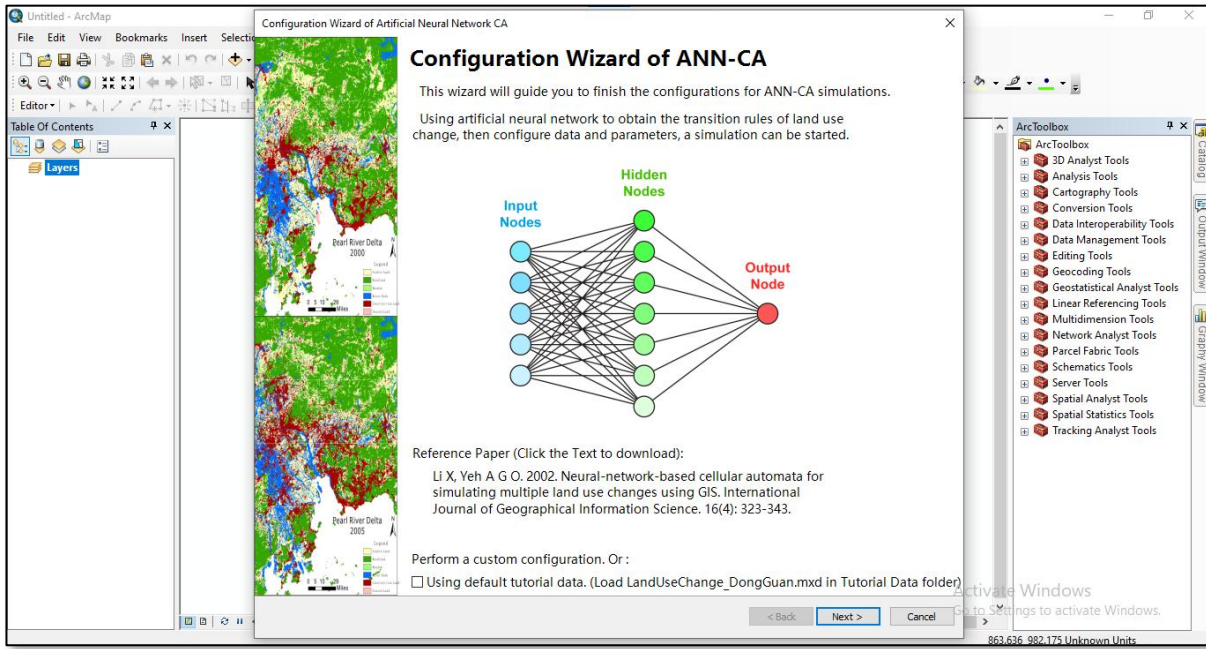
2. يمكن وصف التغييرات في النظام رياضياً أو منطقياً.

إذ يمكن تطبيق السيناريوهات التنبؤية لمحاكاة التوسع الحضري المستقبلي، فُتستخدم هذه السيناريوهات لاختبار البدائل المختلفة لسياسات وتوجهات النمو، وتساعد هذه المحاكاة صناع القرار على استكشاف النتائج المحتملة لخيارات مختلفة، مما يمكنهم من اختيار مسارات أكثر استدامة لتخطيط المدن. يتم تحليل تأثيرات التوسع الحضري على البيئة، البنية التحتية، وجودة الحياة، مما يعزز من إمكانية تحقيق التوازن بين النمو السكاني وحماية الموارد الطبيعية، وبهذا،

تستخدم السيناريوهات التنبؤية كأداة لتوجيه التوسع الحضري نحو حلول تدعم الاستدامة وتقلل من التأثيرات السلبية على البيئة (Hanoon et al, 2022).

أنموذج المحاكاة المستخدم للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري

اعتمد على أنموذج المحاكاة المركب من الأتمتة الخلوية والشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) للتنبؤ بمستقبل التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر حتى عام 2037، وهو متوفر ضمن الامتداد GeoSOS Extension لاختصارا لـ Geographic Simulation and Optimization Systems الذي طوره فريق عمل صيني وعملوا على إجراء تحديثات له، ليعمل مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية ضمن برمجية ArcGIS Desktop مع الإصدار 10.2 وكذلك الإصدارات الأحدث (الشكل 5).



الشكل 8. أنموذج المحاكاة ANN-CA في الامتداد GeoSOS ضمن برمجية ArcGIS Desktop 10.8.

يستخدم هذا الأنموذج في محاكاة التوسع المساحي للمدن ويعد مثالياً لدراسة وتحليل توسع المدن، إذ عمل الدمج بين الـ ANN والـ CA على تعزيز دقة المحاكاة، كذلك مكن من التكيف مع صيغ البيانات من نوع Raster. يتيح الأنموذج من إمكانية التعامل مع هذه الأنظمة المعقدة عن طريق معالجة المتغيرات والعوامل التي تؤثر على التغيرات في استخدام الأراضي، يتم محاكاة التوسع المساحي للمدن عن طريق إدخال الخرائط المتعلقة بنمط توسع المدينة في سنوات سابقة بصيغة Raster ثم تدرب الشبكة العصبية لاكتشاف أنماط التوسع في المستقبل وتقوم بإنتاج نموذج خرائطي لنمط توسع المدينة في المستقبل (LI et al., 2009).

تعمل الشبكات العصبية على استقبال حدود شرطية للتحكم في سيناريوهات التوسع الحضري، إذ يتم تمثيل المساحة الحضرية كمتغير تابع في الأنموذج الخرائطي، بينما يُستخدم متغير مستقل لقياس ملاءمة الأرض للتوسع. يُستخدم المنطق المصنوب Fuzzy Logic لتحديد مدى ملاءمة الأرض للتوسع بقيم تتراوح بين الـ 0 و 1، بحيث يشير الرقم (1) إلى أعلى ملاءمة لتحويل الأرض إلى حضرية، والـ (0) إلى أقل ملاءمة. هذه العملية تتماشى مع نظام الأتمتة الخلوية وتُوجه باستخدام الذكاء الاصطناعي للتحكم في قوانين الانتقال خلال المحاكاة وفقاً للمعادلات الآتية (Lai et al., 2024):

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$$

إذ إن:

(χ_i) هي العصبون Neuron (i) في طبقة الإدخال.

أما في الطبقة المخفية فتقدر الإشارة المستلمة من العصبون (j) من عصبونات الإدخال على خلية الشبكة p عند الزمن t كما في المعادلة الآتية:

$$net_j(p,t) = \sum_i w_{ij} \times \chi_i(p,t)$$

إذ إن:

$net_j(p,t)$ هي الإشارة المستلمة من لدن العصبون (j) في الطبقة المخفية، $\chi_i(p,t)$ هو المتغير (i th) المرتبط بعصبون الإدخال (i) على خلية الشبكة (p) عند زمن التدريب (t)، أما (w_{ij}) فهي الوزن التكيفي ما بين طبقة الإدخال والطبقة المخفية التي يتم معايرتها في أثناء التدريب.

يتم التوصيل بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج بواسطة دالة التنشيط، كما في المعادلة الآتية:

$$p(p, k, t) = \sum_j w_{jk} \times \frac{1}{1 + e^{-net_j(p,t)}}$$

إذ إن:

كل عصبون في الطبقة الخارجية يقابل نوع استخدام أرض معينة، أما قيمة العصبون (i th) في طبقة الإخراج تولد قيمة تمثل احتمالية حدوث نوع استخدام أرض (i th) على الوحدة الصورية، إذ تشير القيمة العالية بأن الوحدة الصورية المخصصة، لها احتمالية حدوث أعلى لنوع استخدام الأرض الهدف واحتمالية حدوث استخدام الأرض نوع (k) على الوحدة الصورية (p) عند زمن التدريب (t).

يمكن التعبير عن احتمالية حدوث نوع استخدام الأرض في وحدة الشبكة على النحو التالي (Wang et al., 2022):

$$P(p, k, t) = \sum_j w_{jk} \times \text{sigmoid}(net(p,t)) = \sum_j w_{jk} \times \frac{1}{1 + e^{-net(p,t)}}$$

إذ إن:

$P(p,k,t)$ يمثل احتمال ملائمة النوع (k-th) من الأرض في الوقت (t) في الشبكة (p)، (p,t) هي الإشارة التي يتلقاها العصبون في الطبقة المخفية، (w_{jk}) هو الوزن التكيفي بين الطبقات المخفية وطبقات الإخراج وتتم معايرته أثناء عملية التدريب، يتم تحديد الاتصال بين الطبقة المخفية وطبقة الإخراج بواسطة دالة التنشيط، وبعد بناء نموذج الشبكة العصبية الاصطناعية يمكن استخدامها لتقدير احتمالية حدوث صنف الاستعمال الحضري من بقية استعمالات الأرض الأخرى في وحدة صورية معينة.

تحديد سيناريوهات التوسع المساحي الحضري حتى عام 2037

السيناريو هو وصف افتراضي لأحداث مستقبلية يهدف إلى تسليط الضوء على العوامل التي تؤثر في تلك الأحداث، وهو ليس توقعًا دقيقًا للمستقبل، بل هو وسيلة لفهم الحاضر واستشراف المسارات المحتملة. السيناريوهات تساعد على فهم الخيارات والتحديات الحالية والمستقبلية، وتحديد القرارات والسياسات التي يمكن أن تؤثر في تلك المسارات (Rotmans et al., 2000).

والسيناريوهات على نوعين، إما أن تكون تنبؤية Predictive Scenarios تعمل على محاولة التنبؤ بما سيحدث في المستقبل بناءً على الاتجاهات الحالية، وتعتمد على التحليل الاحتمالي للبيانات التاريخية وتوقع المستقبل بناءً على سيناريو مرجح قد تستخدم بيانات إحصائية أو اقتصادية لتقدير النتائج المتوقعة. يتم تحديد السيناريو المرجح بناءً على تطور الاتجاهات المحتملة، وإما أن تكون معيارية Standard Scenarios وهي نوع من السيناريوهات تستخدم لاستكشاف كيفية الوصول إلى هدف محدد في المستقبل، ويركز هذا النوع من السيناريوهات على تحقيق حالة مرغوبة أو هدف معين، ويعتمد على تحليل الاستراتيجيات والإجراءات التي يجب اتخاذها لتحقيق هذا الهدف. يتميز السيناريو المعياري عن غيره بأنه لا يهدف فقط إلى توقع المستقبل، بل إلى تحديد المسار الأنسب للوصول إلى نتيجة مستقبلية مرغوبة (Börjeson et al., 2006).

في ضوء ما ذكر، تم تحديد سيناريوهات التوسع المساحي الحضري المحتمل في مدينة تلغفر حتى عام 2037 بمنظور استدامة الأرض في المدينة عند استخدام أنموذج المحاكاة ANN-CA على النحو الآتي:

1. السيناريو (1): هو سيناريو تنبؤي يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر سواءً كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان المدينة أم بعامل الهجرة الوافدة نحو المدينة بوصفها مستقطبة للسكان، ولم يأخذ هذا السيناريو بنظر الاعتبار استدامة الأرض، إنما يكتفي بسيارات التوسع المساحي الحضري التي حدثت بين الماضي والحاضر ثم يعمل على أسقاطها في المستقبل المحدد، لذلك سوف يتطلب أنموذجاً مكانياً ذا سطح خلوي تكون قيمة الوحدة الصورية فيه تساوي 1 بالمنطق المضرب كمحدد شرطي عند عملية المحاكاة.

2. السيناريو (2): وهو سيناريو معياري يقتضي وجوب التوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر كنتيجة حتمية للتحضر الناتج عن زيادة عدد سكان الحضر سواءً كان ذلك بالزيادة الطبيعية لسكان المدينة أم بعامل الهجرة نحو المدينة بوصفها مستقطبة للسكان، إلا أن هذا التوسع سوف يأخذ بنظر الاعتبار استدامة الأرض، والأخذ بنظر الاعتبار بباقي العوامل المؤثرة في التوسع المساحي الحضري، لذلك يجب إدخال الأنموذج المكاني المعني بملاءمة الأرض على التوسع المساحي الحضري بالمعايير التخطيطية كحد شرطي عند عملية المحاكاة.

تضبيب الحدود الشرطية

يشير مفهوم تضبيب الحدود الشرطية في سياق نظرية المجموعات الضبابية إلى الغموض أو عدم الوضوح في تحديد الحدود التي يمكن عندها أن يكون عنصراً ما عضواً في مجموعة معينة. في المجموعات الكلاسيكية، إما أن يكون العنصر جزءاً من المجموعة أو لا يكون، أما في المجموعات الضبابية، فإن هذه الحدود تصبح غير حادة أو غير واضحة، مما يسمح بوجود درجات من العضوية بدلاً من العضوية المطلقة (Zimmermann, 2011).

يعمل تضبيب الحدود الشرطية إلى عملية تحويل البيانات المدخلة الصريحة أو القيم العددية إلى قيم ضبابية، هذه العملية تتم باستخدام دوال العضوية Membership Functions التي تقوم بتحديد مدى انتماء كل قيمة عددية إلى مجموعة معينة في المنطق الضبابي، يتم ذلك بربط كل قيمة مدخلة بدرجة انتماء تتراوح ما بين 0 و 1، إذ تمثل القيمة (0) عدم الانتماء التام، بينما تشير القيمة (1) إلى الانتماء الكامل، تتمثل أهمية هذه المرحلة في السماح للنظام بالتعامل مع البيانات غير المؤكدة أو المتغيرة بشكل أكثر مرونة؛ ومن ثم تعد مرحلة التضبيب خطوة أساسية لأنها تساعد في تهيئة البيانات المدخلة لاستخدامها في اتخاذ القرارات أو في المراحل التالية مثل الاستدلال الضبابي Fuzzy Inference والتوضيح Defuzzification ، (Ali et al., 2015).

تشير الدالة Fuzzy Large إلى دالة انتماء مضببة تُستخدم لتصنيف قيم معينة بأنها كبيرة بناءً على مدى انتمائها إلى فئة (الكبير) وفق المنطق المضبب، وقيم واطئة تتحول إلى قيم مضببة واطئة، فتعمل هذه الدالة على تقييم أي مدى يمكن اعتبار أية قيمة معينة انها كبيرة large باستخدام مقياس مضبب، إذ تتراوح درجات العضوية ما بين 0 و1 كما في المعادلة التالية (ESRI, 2018):

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$

إذ أن:

(x) = الفئة أو الصنف، $\mu(x)$ = قيمة العضوية في الفئة (x) ، (f_2) = نقطة انتقال، (f_1) = انتشار الدالة.

وبناء على ذلك تم استخدام الدالة Fuzzy Large في تضبيب أنموذج ملاءمة الأرض للتوسع الحضري وذلك وفقاً للعوامل المؤثرة في هذا التوسع، وفي حال الرغبة في الحصول على سطح خلوي مضبب بقيمة (1) فقط، يمكن ضرب أي سطح خلوي Raster في القيمة (0) ثم جمعه بالقيمة (1) للحصول على أنموذج يعتمد على المنطق المضبب بسطح خلوي ذي قيمة تساوي (1) وذلك وفقاً للمعادلة الاتية:

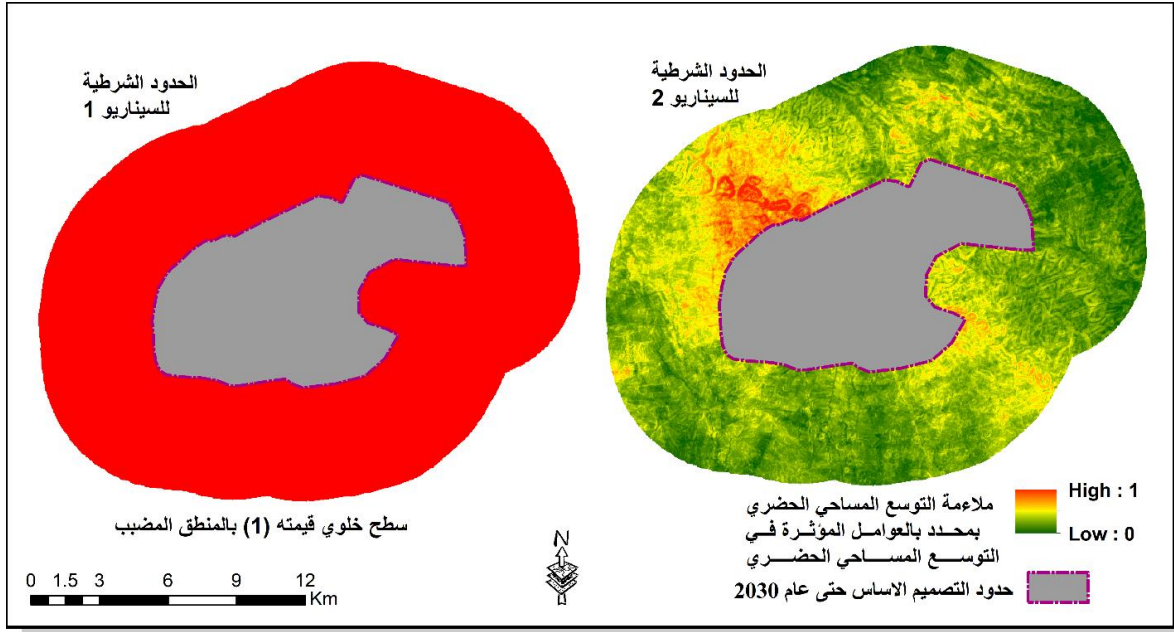
$$\text{Fuzzy value (1)} = (\text{Any Raster Model} * 0) + 1$$

إذ أن:

(1) = Fuzzy value = السطح الخلوي المضبب بقيمة (1)، Any Raster Model = أي أنموذج ذو سطح

خلوي مستمر.

وبذلك تم إنتاج نماذج الملاءمة المقاسة بالمنطق المضبب لتكون جاهزة للاستخدام كحدود شرطية في أنموذج المحاكاة ANN-CA (الشكل 9).



الشكل 9. نماذج الحدود الشرطية المقاسة بالمنطق المضبب والداخلية في أنموذج المحاكاة ANN-CA.

النتائج والمناقشة

التوسع المساحي للمدينة من عام 1997 حتى عام 2009

شهدت هذه المدة نمواً سكانياً بطيئاً، فقد بلغ معدل النمو السكاني فيها 0.33، أما نمط التوسع المساحي لمدينة تلعفر فيها فهو نمط النمو المتراكم، ويتميز هذا النمط بملء الفراغات والمساحات والأراضي الموجودة داخل المدينة والأحياء السكنية، أو البناء عند مشارف المدينة داخل حدود التصميم الأساس، إذ أن هناك مساحات واسعة موجودة داخل المدينة غير مبنية، ومن ثم عمل سكان المدينة على بناء هذه الأراضي بعد أن ظهرت الحاجة إليها، وبهذا تكون المدينة قد تراكم فيها البناء، والسبب في ظهور هذا النمط من أنماط التوسع في مدينة تلعفر هو توفر الظروف الملائمة للسكان مثل القرب من محل العمل والقرب من مراكز الخدمات والقرب من الأسواق وتوفر أراضي بأسعار مناسبة، كما أن الأحياء السكنية للمدينة لا تزال لديها القدرة على استيعاب السكان إذ لم تستنفذ أراضيها بعد. لقد كان التوسع ضمن مخطط التصميم الأساس الأول للمدينة الذي تم وضعه في عام 1975 عندما اكتسبت تلعفر صفتها الإدارية، بلغ حجم حدود التصميم الأساس للمدينة في هذه المرحلة 30.10 كم²، بينما بلغ حجم العمران المشيد 7.5762 كم²، إذ زادت المساحة العمرانية للمدينة من 7.5411 كم² عام 1997 إلى 10.9773 كم² في عام 2009، ومن ثم بلغ معدل التوسع المساحي السنوي 3.34%، وفي هذه المرحلة أيضاً كانت مدينة تلعفر تتكون من 22 حياً سكنياً، ولم تشهد المدينة ظهور أحياء سكنية جديدة سوى حي المنتظر الذي تم استحداثه داخل حدود التصميم الأساس والذي يقع باتجاه الجنوب الشرقي من المدينة، كذلك شهدت المدينة توسع عدد محدود من الدور خارج المدينة يقطنها السكان الذي يعملون في الزراعة وتربية المواشي. يتضح من خلال ما ذكر أعلاه أن مدينة تلعفر لم تشهد توسعاً مساحياً كبيراً خلال الفترة 1997-2009، ويعزى ذلك إلى أن المدينة لم تشهد خلالها نمواً سكانياً كبيراً مما انعكس على توسع المدينة المساحي. لعبت الأوضاع التي مرت بها تلعفر خلال هذه الفترة أيضاً دوراً في إعاقة التوسع المساحي للمدينة (الشكل 10 والجدول 3).

الجدول 3: مجموع السكان والمساحة الحضرية ونصيب الفرد خلال مراحل الدراسة 1997-2023.

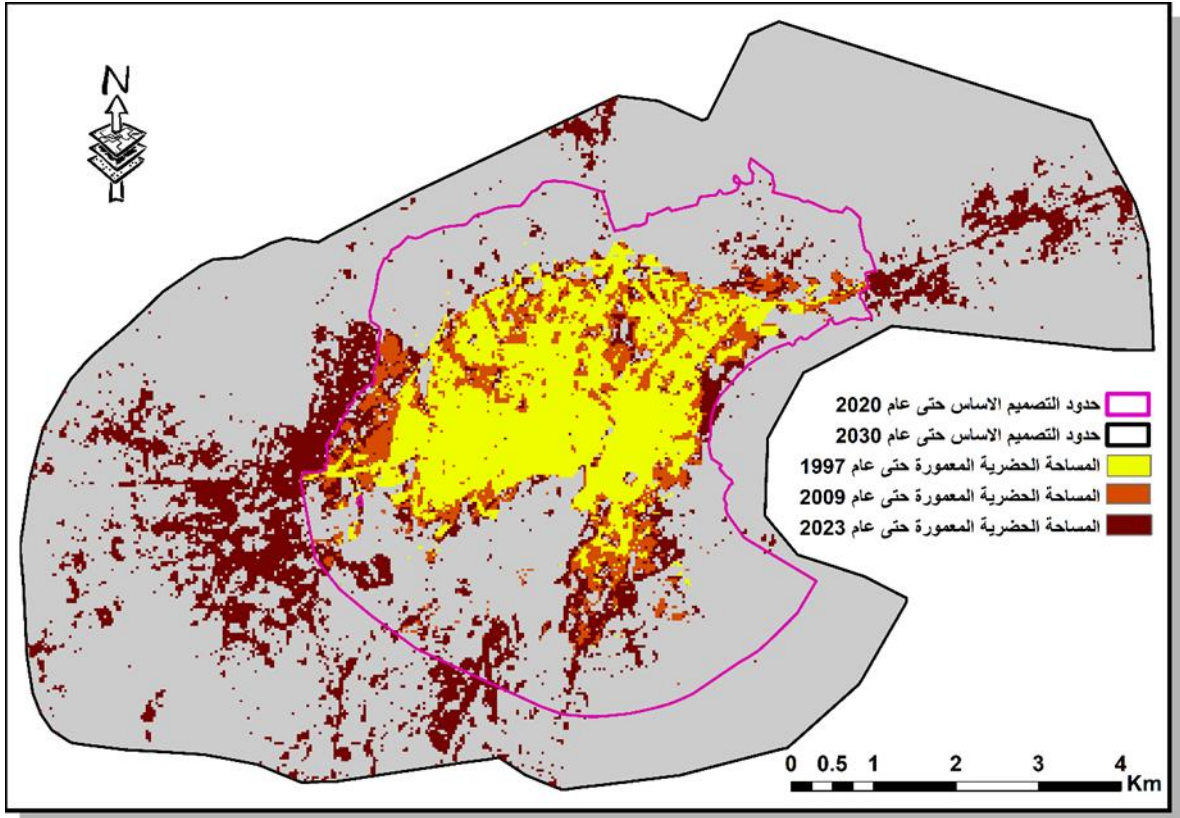
العام	السكان	المساحة الحضرية/م ²	نصيب الفرد من الأرض الحضرية/م ²
1997	138476	7576200	54.7
2009	144153	10977300	76.1
2023	195974	20986200	107.1

المصدر: اعتماداً على (1) جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، مديرية إحصاء نينوى، شعبة تكنولوجيا المعلومات، بيانات رقمية غير منشورة. (2) تم احتساب المساحة الحضرية لكل سنة عن طريق المعادلة الآتية: المساحة الحضرية = عدد الوحدات الصورية x دقة التمييز x دقة التمييز. (3) نصيب الفرد من الأرض الحضرية = المساحة الحضرية/م² عدد السكان.

التوسع المساحي للمدينة من عام 2009 حتى عام 2023

خلال هذه المرحلة شهدت المدينة نمواً سكانياً كبيراً بخلاف المرحلة السابقة التي كان فيها معدل النمو السكاني منخفضاً، حيث وصل معدل النمو السكاني إلى 2.9%. شهدت هذه المدة توسعاً مساحياً كبيراً للمدينة على حساب الأراضي الزراعية بسبب استقرار الأوضاع الأمنية وعودة العوائل إلى مساكنهم والنمو السكاني العالي في هذه المدة الذي أدى إلى توسع ملحوظ في المدينة خاصة خارج حدود التصميم الأساس. وفي عام 2010 أقدمت الجهات التخطيطية على أعداد مخطط تصميم أساس لتوسعة حدود المدينة، إذ تم أعداد التصميم عام 2010 وتمت المصادقة عليه من قبل وزارة الأعمار والأسكان في عام 2020، وبموجبه تم استحداث مناطق جديدة حتى بلغ حجم توسعة التصميم الأساس للمدينة (5 كم²)، لكن الحجم الفعلي الذي تم تطبيقه بلغ 3 كم²، وفي هذه المرحلة كانت بداية ظهور البناء العشوائي والتجاوزات في المدينة. بلغ حجم حدود التصميم الأساس للمدينة بعد التوسع 78.36 كم²، أما حجم المساحة المعمورة فقد بلغ 20.9862 كم²، إذ توسعت المساحة الحضرية المعمورة من 10.9773 كم² في عام 2009 لتصل مساحتها المعمورة في عام 2023 إلى 20.9862 كم²، في حين بلغ معدل التوسع المساحي السنوي 4.56%. كما شهدت هذه المرحلة ضم العديد من القرى

القريبة من المدينة واصبحت ضمن حدود التصميم الأساس لها منها قرى الرحمة والبشار والعلولية وبكي قوط التي تقع باتجاه شرق المدينة على الطريق الرابط بين تلغفر والموصل، أما نمط التوسع المساحي للمدينة في هذه المدة فهو نمط التوسع الخطي والعشوائي، أذ أن المدينة توسعت بشكل خطي على طول الطريق الرئيسي (موصل-تلغفر) باتجاه الشمال الشرقي، وكذلك على طول الطريق الرئيسي (تلغفر - سنجار) باتجاه الغرب، وكان التوسع بشكل عشوائي على شكل امتداد للهيكال العمراني بدون خطة مسبقة وهو زحف حضري غير مخطط على الأراضي الزراعية، لكن بعد توسعة المدينة عملت الدوائر المسؤولة عن ذلك على تنظيم هذه المناطق كونها أصبحت جزءاً من المدينة. تميزت هذه المرحلة أيضاً بزيادة عدد أحياء المدينة ليصل مجموعها إلى 34 حياً سكنياً اي بفارق 12 حياً عما كان قبل التوسعة (الشكل 10 والجدول 3).



الشكل 10. مراحل التوسع المساحي لمدينة تلغفر خلال الاعوام (1997-2009-2023).

تحديد المناطق الملائمة للتوسع المساحي الحضري

أفصحت النمذجة عن اختلاف في أنماط توزيع مستويات ملائمة الأرض على التوسع المساحي الحضري مع تباين واضح في مساحة كل صنف من اصناف الملاءمة؛ وفي ضوء ما تقدم، يمكن مناقشة اصناف ملائمة الأرض على التوسع المساحي الحضري في مدينة تلغفر حتى عام 2037 على النحو الآتي:

1- مناطق الملاءمة المرتفعة والمرتفعة جدا

شكل صنف مناطق الملاءمة المرتفعة مساحة قدرها 102.855 كم² بنسبة 29.53% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع، في حين شكل صنف مناطق الملاءمة المرتفعة جدا مساحة بلغت 58.0779 كم² وبنسبة 16.67% من مجموعة المساحة الملائمة للتوسع. إن صنف أراضي الملاءمة المرتفعة يكفي السكان إلى عدد يصل إلى 1028550 نسمة إذ تم التنبؤ بالقدرة الاستيعابية لكل صنف لعدد معين من السكان من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{عدد السكان الكافي لصنف معين} = \text{مساحة الصنف م}^2 / 100 \text{ م}^2 (\text{نصيب الفرد من الأرض الحضريّة})$$

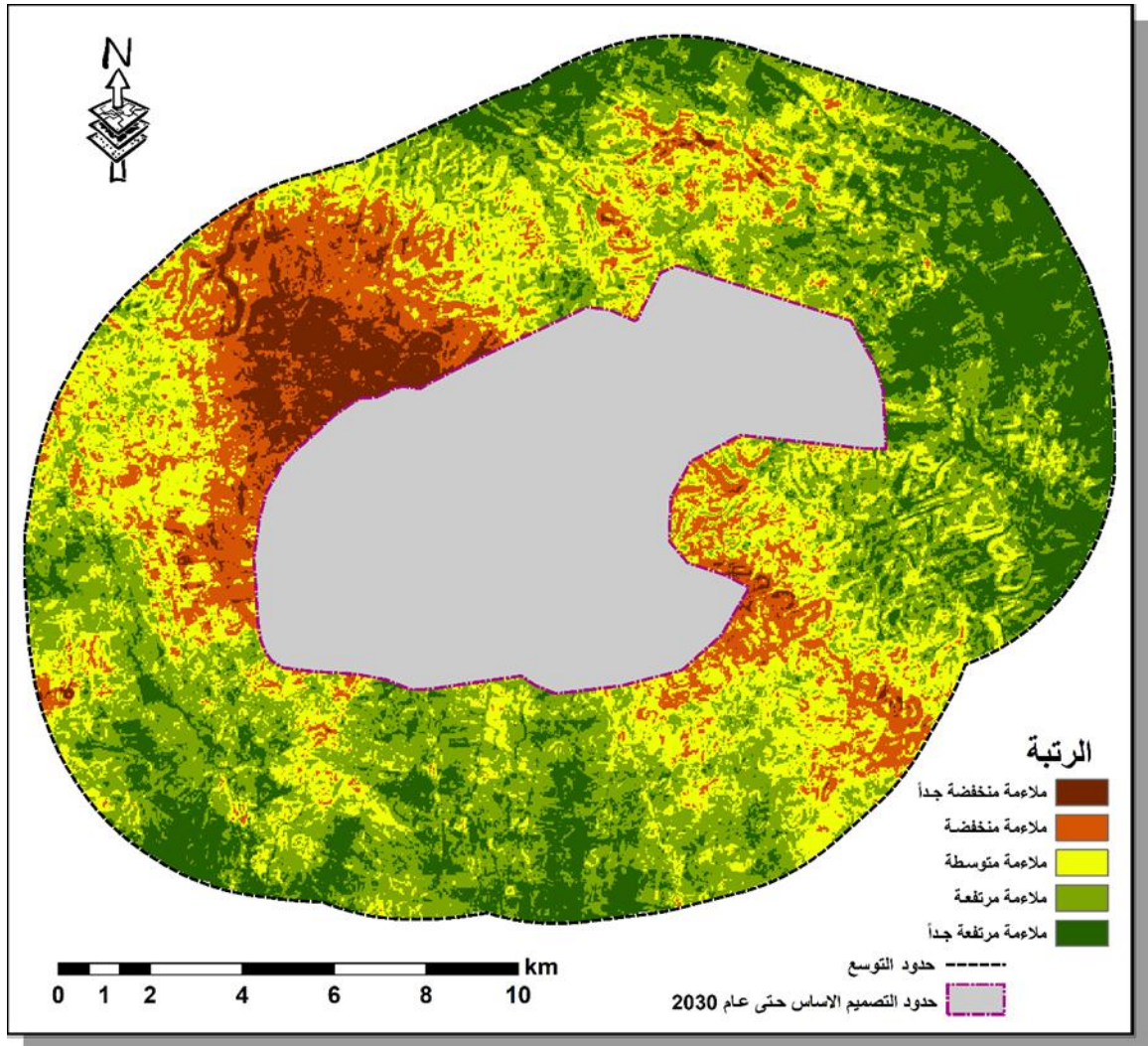
بينما صنف الملاءمة المرتفعة جدا يكفي لزيادة سكانية تصل إلى 580779 نسمة، وقد ظهرت هذه الأصناف في الاتجاه الشرقي والاتجاه الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة ويعود ذلك لقربها من الطريق الرئيس لاسيما طريق (موصل- تلغفر)، والمناطق الواقعة في الاتجاه الجنوبي والجنوب الغربي على طول طريق (تلغفر-سنجار)، وقد ظهرت هذه المناطق في الجزء الغربي من المدينة. ويعزى ظهور ملاءمة التوسع في هذه المناطق الى أن عوامل الجذب للتوسع المساحي للسكان هي أكبر من عوامل الطرد، وتشمل أيضاً المناطق القريبة من طرق النقل الرئيسية والقرب من المناطق الحضرية، فضلاً عن كونها أراضي مستوية كما أنها تقع ضمن الأراضي الزراعية غير المزروعة والمراعي والأراضي الجرداء والفضاء، وهذا ما يعزز من دورها في المحافظة على الأراضي الزراعية العالية الكثافة من التوسعات العمرانية العشوائية، إن التوسع في الاتجاه الشرقي والشمال الشرقي مستقبلاً سيضم قرية أبو ماري، سيما أن المدينة عندما توسعت عام 2020 ووضع التصميم الأساسي الذي قد ضم في ذات الاتجاه قرى الرحمة والبشار والعلولية وأصبحت جزءاً من المطقة الحضرية (الخريطة 6).

2- مناطق الملاءمة المتوسطة

يعد هذا الصنف أقل ملاءمة على التوسع المساحي الحضري من الصنف السابق لتوطنه على القسم الأكبر من أراضي زراعية ذات قابلية إنتاجية متوسطة وعالية، وقد شكل هذا الصنف مساحة بلغت نحو 99.7911 كم² ونسبة 28.655% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع، ويمكن لهذا الصنف أن يستوعب عدد سكان يصل إلى 997911 نسمة؛ ويلاحظ تلازم مناطق هذا الصنف لمناطق الملاءمة المنخفضة، ويمكن استثمار أجزاء من هذه المناطق في البناء والأعمار تخترق بعض أجزائها شبكة جيدة من طرق النقل الرئيسية، ووجود بعض القرى على شكل نويات صغيرة للسكان التي تعد من الآثار التي عملت على عدم تحقيق المستوى المطلوب من الملاءمة المكانية لتوجيه التوسع المستقبلي نحوه، وأن بعض أجزاء هذا الصنف هي خليط متجانس من الأراضي الزراعية العالية الكثافة والمتوسطة، لذا يحتم عليها صعوبة تنفيذ المخططات التوسع فيها، كما ان بعد المسافة لأجزاء من هذه عن مركز المدينة يترتب عليه عدم رغبة السكان بالتوجه نحوها، كذلك وجود بعض المحددات ضمن النطاق التي تشغلها ولمساحات واسعة، منها مطار تلغفر وموقع الطمر الصحي وبعض الصناعات والمقابر والمنحدرات والمجاري المائية وغيرها من المحددات، ويمكن اعتبار صنف الملاءمة المتوسطة مخزوناً أرضياً يمكن الاستفادة منه عند التوسع المساحي الحضري في المستقبل القريب (الخريطة 6).

3- مناطق الملاءمة المنخفضة والمنخفضة جدا

يمثل هذا الصنف المناطق غير الملائمة للتوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر لأسباب مختلفة منها ما يتعلق ببعد المناطق المتوتنة في هذا الصنف عن الأراضي الحضرية، وكذلك بعدها عن طرق النقل الرئيسية، ووقوع أجزاء كبيرة منها ضمن شروط المعايير (المحرمات). وظهرت هذه المناطق في الاتجاه الشمال الغربي، ويعزى ذلك لوجود عدة محددات، منها وجود معمل غاز تلغفر الحكومي، ومقبرة حي الوحدة ومعامل لإنتاج البلوك ومقالع للأحجار الكبيرة، إضافة إلى مرور خطوط الطاقة ذات الضغط العالي، وكذلك بعد هذه المناطق عن المنطقة الحضرية، ولا تحتوي على طرق نقل رئيسية، ووجود مجاري مائية، وقربها من منطقة الطمر الصحي، ومنطقة الصناعات الملوثة، بالتالي أدى إلى أن تكون أراضي هذا الاتجاه غير ملائمة للتوسع الحضري لمدينة تلغفر، وكذلك ظهر هذا الصنف في الاتجاه الجنوب الغربي، بسبب وجود مناطق ذات انحدار شديد، فضلاً عن بعدها عن المنطقة الحضرية، وبعدها طرق النقل الرئيسية، وما يترتب على ذلك من عدم رغبة السكان بالتوجه نحوها. شكّل صنف الملاءمة المنخفضة مساحة قدرها 61.6914 كم² ونسبة قدرها 17.71% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع، بينما صنف الملاءمة المنخفضة جداً بلغت مساحته 25.8291 كم² ونسبة وصلت إلى 7.41%، وهي أقل مساحة بين الأصناف الأخرى (الشكل 11).



الشكل 12. ملاءمة الارض على التوسع المساحي لمدينة تلغفر حتى عام 2037.

توقعات التوسع المساحي الحضري حسب السيناريوهات المعتمدة حتى عام 2037

اظهرت المحاكاة المكانية باستخدام الأنموذج ANN-CA نمطين من أنماط التوسعات المساحية الحضرية لمدينة تلغفر استناداً إلى السيناريوهات المحددة، وكما هو متوقع سوف يستمر التوسع المساحي الحضري من عام 2023 إلى 2037 في جميع السيناريوهات بسبب زيادة الطلب على الأرض الحضرية المدفوع بزيادة السكان، وهذه السيناريوهات هي:

السيناريو (1):

في هذا السيناريو التنبؤي سوف تصل المساحة الحضرية المبنية الى نحو 41.80 كم² عام 2037 بزيادة مقدارها 20.937 كم² عن عام 2023، أي ما يعادل 2093 هكتاراً، أيضاً في هذا السيناريو سوف يكون حجم التوسع داخل حدود التصميم الاساسي نحو 12.54 كم²، بينما بلغ حجم التوسع خارج حدود التصميم الأساسي 8.39 كم² داخل حدود الـ 5 كم²، كما ان في هذا السيناريو سوف يبلغ حجم إشغال صنف أراضي الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة نحو 1.08 و3.54 كم² على التوالي، وهي نسبة مرتفعة مقارنة مع السيناريو (2)، ويعزى ذلك الى أن هذا السيناريو هو تنبؤي لم يأخذ بالحسبان العوامل المؤثرة في التوسع المساحي الحضري للمدينة، إنما تم التنبؤ به على أساس سياق توسع المدينة في السنوات السابقة بشكل عشوائي، أما صنف الملاءمة المعتدلة فقد بلغ حجم الإشغال نحو 4.64 كم²، وهو حجم متساوي تقريبا مع السيناريو (2)، بينما بلغ حجم الإشغال في صنف الملاءمة المرتفعة جداً والمرتفعة نحو 2.88 و4.81 كم² على التوالي، وهي نسبة منخفضة مقارنة مع السيناريو (2)، لذلك كان حجم التوسع على صنف الملاءمة المنخفضة والمنخفضة جداً أكبر من حجم التوسع على أصناف الملاءمة العالية جداً والعالية، كما أن في هذا السيناريو شهد توسعاً على الأراضي

الزراعية المحيطة بالمدينة وبالتالي عمل على فقدان مساحات من الأراضي الزراعية ذات الأصناف العليا والدنيا، أما نمط التوسع المساحي الحضري في هذا السيناريو فهو نمط التوسع الخطي، إذ شهدت المدينة توسعاً على طول الطريق الرئيس (موصل-تلغفر) باتجاه الشرق والشمال الشرقي، كما شهدت توسعاً على طول الطريق الرئيس (تلغفر-سنجار) باتجاه الغرب. إن توسع المدينة على طول الطرق الرئيسية يعزى إلى سهولة الوصول والقرب من المراكز الخدمية، إذ تعد طرق النقل المحركات الأساسية للتوسع الحضري لكونها من أكثر العوامل الجاذبة للسكان، ونمط التوسع الحضري المملوء الذي يحدث داخل المنطقة العمرانية القائمة وتوسع المناطق العمرانية القائمة، أما نمط التوسع المبعثر فإن المحاكاة أظهرت ظهور مستوطنات بشرية بشكل مبعثر خارج حدود التصميم الأساسي أو في داخل حدود التصميم الأساسي بعيدة عن المدينة بشكل عشوائي غير مخطط لها (الشكل 5).

أما حجم التوسع على الاتجاهات الجغرافية فقد تبين أن أكثر الاتجاهات توسعاً هو الاتجاه الجنوب الغربي إذ بلغ حجم التوسع الحضري فيه نحو 6.7 كم²، ويعزى ذلك إلى أن مناطق الجذب في هذه المناطق أكبر من مناطق الطرد، إذ تبعد بمسافة كافية عن المنطقة الحضرية كذلك تتخللها شبكة طرق رئيسية إضافة إلى أن أراضيها مستوية قليلة الانحدار وتعد أراضي مستوية بعيدة عن المنحدرات والطرر الصحي والمناطق الصناعية والمقابر، فضلاً عن أنها بعيدة عن المعسكرات والمطار وعن الأراضي الزراعية. أما أقل الاتجاهات توسعاً فهو الاتجاه الشمال الغربي، إذ بلغ حجم التوسع فيه نحو 0.42 كم²، وذلك لأن أراضي هذا الاتجاه هي أقل الأراضي ملائمة للتوسع المساحي، إذ تقع ضمن هذا الاتجاه اصناف الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة، والتي تحتوي على مصانع ملوثة ومقبرة حي الوحدة وكذلك خطوط الضغط العالي، فضلاً عن قربها من منطقة الطمر الصحي وقلة احتوائها على شبكة طرق النقل؛ ومن ثم عملت كل هذه العوامل على أعاقه التوسع في هذه الاتجاه. أما الاتجاه الغربي فجاء في المرتبة الثانية من ناحية أكثر الاتجاهات توسعاً مساحياً إذ بلغ حجم التوسع فيه نحو 5.28 كم². من أهم العوامل التي تجذب السكان للتوسع في هذا الاتجاه هو وجود الطريق الرئيس (موصل-سنجار) الذي يقطع هذا الاتجاه مما عمل على جذب السكان للتوسع وممارسة الأنشطة الاقتصادية والتجارة على طول هذا الطريق، في حين بلغ حجم التوسع للاتجاه الشمالي نحو 0.57 كم² وذلك لوجود موقع للطمر الصحي الذي يقع ضمن هذا الاتجاه وبعض المواقع الصناعية، منها منطقة الصناعات الملوثة مما عملت هذه العوامل على إعاقة التوسع المساحي بهذا الاتجاه، بينما بلغ حجم التوسع المساحي للاتجاهين الشرقي والشمال الشرقي نحو 3.12 و 2.27 كم² على التوالي، إذ يعد وجود الطريق الرئيس (موصل-تلغفر) ضمن هذين الاتجاهين من أهم عوامل جذب التوسع المساحي الحضري لأن هذا الطريق يقع في الحد الفاصل بين الاتجاهين مما عمل على جذب السكان والتوسع على جانبيه. إن تلك الأسباب قد أسهمت في زيادة حجم التوسع في هذا الاتجاه، أما الاتجاه الجنوبي الشرقي فقد بلغ حجم التوسع فيه نحو 0.50 كم²، ويعزى وجود أراضي ذات انحدار شديد وجرداء وكذلك وجود معامل (الكوار) لإنتاج الجص الذي يستخدم في البناء وتعد من الصناعات الملوثة، ومن ثم عملت جميع هذه العوامل على إعاقة التوسع في هذا الاتجاه. وأخيراً بلغ حجم التوسع نحو الاتجاه الجنوبي 2.11 كم²، إذ كان من أهم معوقات التوسع في هذا الاتجاه هو وجود مطار تلغفر الذي قد يعمل على إعاقة التوسع إذ ما اخذ بالاعتبارات التخطيطية (الشكال 13،14،15).

السيناريو (2):

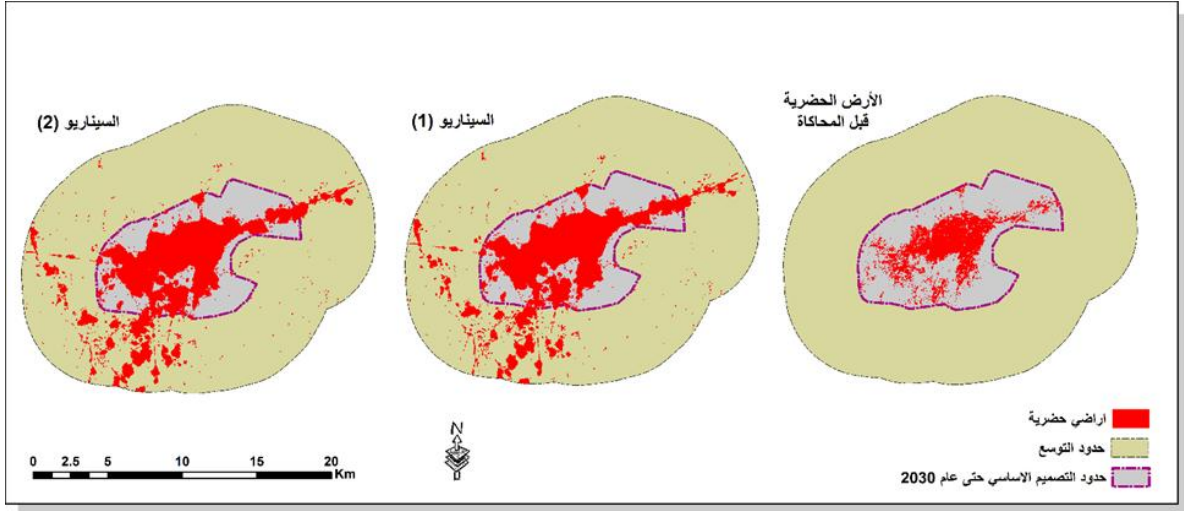
سوف تصل المساحة الحضرية في هذا السيناريو إلى نحو 43.22 كم² عام 2037، وبزيادة مقدارها 22.35 كم² عن عام 2023، أي ما تعادل 2235 هكتاراً، أما حجم التوسع داخل حدود التصميم الأساس فقد بلغ نحو 12.7 كم²، في حين بلغ حجم التوسع خارج حدود التصميم الأساسي نحو 9.65 كم². تزيد الأرض الحضرية في السيناريو (2) عن السيناريو (1) بمساحة تقدر بنحو 1.41 كم² أي ما تعادل 141 هكتاراً بسبب اهتمام السيناريو (2) باستخدام الأرض بمنظور ملاءمتها على التوسع المساحي الحضري، أن هذا السيناريو هو سيناريو معياري يأخذ في الحسبان العوامل المؤثرة

في التوسع المساحي لمدينة تلعفر عند التنبؤ به. تميز هذا السيناريو بتفاوت مساحة الأراضي المفقودة من كل صنف من أصناف الملاءمة الأرضية للتوسع المساحي للمدينة، ففي صنفى الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة بلغ حجم إشغال الأراضي فيهما 1.01 و 3.31 كم² على التوالي، وهي مساحة قليلة مقارنة مع السيناريو (1)، ويعزى ذلك الى أن التوسع المساحي الحضري سوف يتجنب التجاوز على محرمات المصانع وموقع الطمر الصحي والمطار وغيرها من العوامل المؤثرة في التوسع المساحي للمدينة لأن هذا السيناريو هو سيناريو معياري يأخذ بالحسبان جميع العوامل المؤثرة في توسع المدينة، أما صنف الملاءمة المعتدلة فقد بلغ حجم إشغال الأراضي فيه نحو 5.73 كم²، وهي مساحة مقاربة مقارنة مع السيناريو (1)، في حين كان حجم إشغال الأرض في أصناف الملاءمة المرتفعة جداً والمرتفعة نحو 3.78 و 5.73 كم² على التوالي وهي مساحة مرتفعة مقارنة مع السيناريو (1). أما انماط التوسع المساحي حسب هذا السيناريو فهي لا تختلف عن انماط التوسع في السيناريو (1) ذات نمط التوسع الخطي ونمط التوسع المبعثر، إذ تنبأ هذا السيناريو بأن المدينة سوف تتوسع على طول الطريق الرئيس (موصل-تلعفر) باتجاه الشرق والشمال الشرقي، والطريق الرئيس (تلعفر-سنجار) باتجاه الغرب، ويعزى ذلك أن هذا السيناريو معياري أخذ بعين الاعتبار عامل القرب من طرق النقل الرئيسية إذ تعد جاذبة للسكان، كما أن هذه الطرق قريبة من المنطقة الحضرية وبالتالي عملت أيضاً على جذب السكان والتوسع. تعد هذه الأراضي قليلة الانحدار وبعيدة عن عوامل الطرد السكاني مما عملت كلها على جذب التوسع وساهمت بظهور هذا النمط. أما النمط الثاني فهو نمط الإملاء الحضري المعبر عن عملية تنمية أو تطوير الأراضي الفارغة أو غير المستغلة داخل المناطق العمرانية القائمة، ويركز هذا النوع من التوسع على استخدام الأراضي المتوفرة داخل المدينة بدلاً من التوسع نحو الأطراف. أما نمط النمو المبعثر الذي هو عبارة عن ظاهرة تنتشر فيها المناطق الحضرية بشكل غير منتظم وغير منظم حول مركز المدينة مما يؤدي إلى توسع حضري غير مترابط، ويعني ظهور وحدات سكنية عند هامش المدينة بشكل عشوائي (الشكل 6).

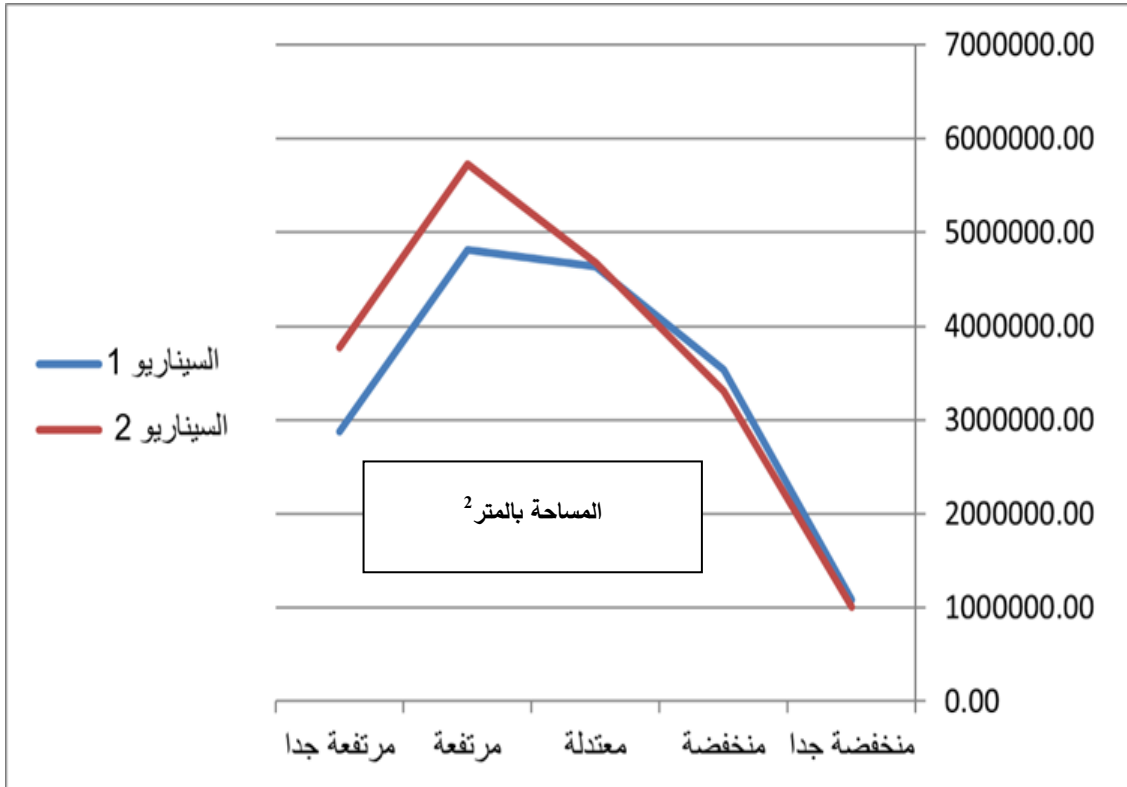
حصل التوسع المساحي في كل اتجاه من الاتجاهات الجغرافية للمدينة، فباتجاه الجنوب الغربي كان على أعلى مستوياته بين باقي الاتجاهات إذ بلغ نحو 7.6 كم² من حجم التوسع المساحي للمدينة وهي مساحة أعلى من حجم التوسع في السيناريو (1) في هذا الاتجاه؛ بينما حصل اتجاه الشمال الغربي على أقل مساحة توسع بين باقي الاتجاهات بلغت 0.20 كم² من مجموع مساحة التوسع المساحي الحضري وهي مساحة أقل من حجم التوسع في السيناريو (1)؛ وبلغ حجم التوسع في الاتجاه الشمالي تقريباً 0.31 كم² من حجم التوسع وهو أيضاً أقل من حجم التوسع مقارنة مع السيناريو (1)؛ في حين بلغ حجم التوسع المساحي بالاتجاه الشرقي والاتجاه الشمال الشرقي 3.53 و 2.57 كم² على التوالي وهي مساحات تقريباً مقاربة للسيناريو (1)؛ أما الاتجاه الغربي فقد بلغ حجم التوسع فيه نحو 6.52 كم² من حجم التوسع وهي مساحة تزيد على حجم التوسع في السيناريو (1)؛ أما الاتجاه الجنوب الشرقي فقد تم التنبؤ بحجم التوسع المساحي فيه بنحو 0.32 كم² وهي مساحة أقل من حجم التوسع في السيناريو (1)؛ بينما بلغ حجم التوسع المساحي للاتجاه الجنوبي 1.49 كم² من حجم التوسع وهي مساحة مقاربة لحجم التوسع في السيناريو (1) (الشكل 7).

يتضح من خلال استعراض السيناريو (2) أن الاتجاهات التي حصلت على أعلى مساحة توسع مقارنة مع السيناريو (1)، هي المناطق ذات الملاءمة العالية جداً والعالية التي تعد مناطق جذب للسكان وبعدها عن محددات التوسع وهي المناطق القريبة من المنطقة الحضرية والطرق الرئيسية وبعيدة عن المصانع والمناطق الملوثة والمطار وباقي المحددات، بينما الاتجاهات التي حصلت أقل مساحة توسع مقارنة مع السيناريو (1) هي المناطق ذات الملاءمة المنخفضة جداً والمنخفضة وهي المناطق القريبة من الطمر الصحي والصناعات الملوثة والمعسكرات والمطار و الأراضي الزراعية ذات الجودة العالية وخطوط الطاقة والمقابر، وهي مناطق طرد سكاني لا تشجع على جذب التوسع المساحي الحضري نحوها، لأن هذا السيناريو (2) سيناريو معياري أخذ بنظر الاعتبار العوامل المؤثرة في التوسع المساحي للمدينة لذلك عمل على

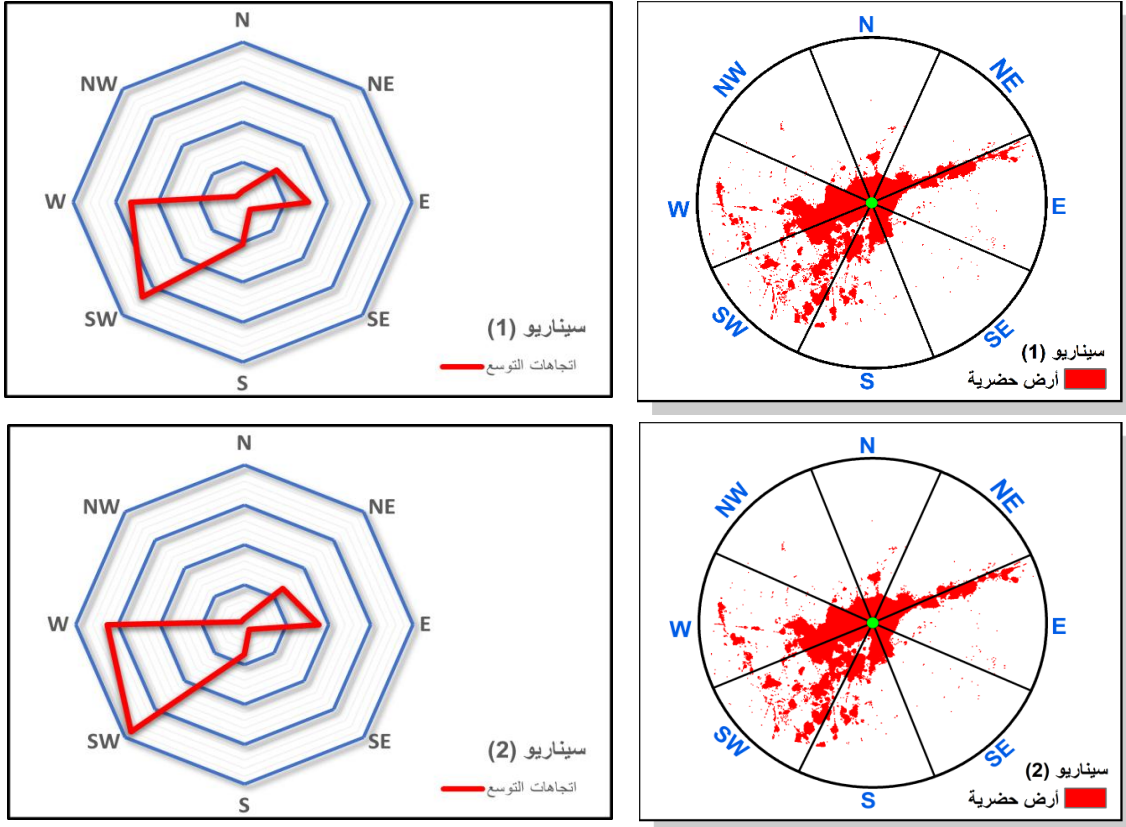
توجيه التوسع نحو المناطق الملائمة للتوسع بينما قام بتجنب التوسع نحو المناطق غير الملائمة للتوسع. (الاشكال 13،14،15).



الشكل 13. توقعات التوسع المساحي في مدينة تلعفر وفقا للسيناريوهات المعتمدة حتى عام 2037.



الشكل 14. فقدان الاراضي بالتوسع المساحي لمدينة تلعفر طبقا لمستويات الملاءمة في السيناريوهات المتوقعة حتى عام 2037



الشكل 15. اتجاهات التوسع المساحي في مدينة تلغفر طبقا للسيناريوهات المتوقعة حتى عام 2037.

الاستنتاجات

1. مكن التكامل بين الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية الباحث من تصنيف الغطاء الأرضي بدقة عالية ومراقبة تطورها خلال سنوات الدراسة 1997-2023، إذ تم تصنيف الغطاء الأرضي إلى صنف الأراضي الزراعية وصنف المراعي وصنف الأراضي الجرداء وصنف الاستيطان الحضري، بالتالي مكن هذا التصنيف من مراقبة توسع المدينة، إذ زادت المساحة الحضرية من 7.54 كم² عام 1997، بينما بلغت المساحي الحضرية لمدينة تلغفر عام 2009 نحو 11.18 كم²، لتصل مساحتها في عام 2023 نحو 20.87 كم².
2. أظهرت نتائج دعم القرار المكاني خمس نطاقات من المناطق الملائمة للتوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر، تشكل المناطق الملائمة المنخفضة جداً نسبة 7.14% من مجموع المساحة الملائمة للتوسع المساحي، أما المناطق ذات الملاءمة المنخفضة، والمتوسطة، والمرتفعة، والمرتفعة جداً، شكلت 17.71%، 28.65%، 29.53%، 16.67% على التوالي.
3. كشفت النمذجة المكانية للتوسع المساحي في مدينة تلغفر بطريقة الـ AHP أن المناطق الملائمة للتوسع المساحي الحضري لمدينة تلغفر تتخفف في اتجاه الشمالي والشمالي الغربي والاتجاه الجنوب الشرقي وترتفع تدريجياً بالاتجاه الشرقي والشمال الشرقي والاتجاه الجنوب الغربي، إذ يعزى ذلك إلى قرب هذه المناطق من الطرق الرئيسية وقربها من المنطقة الحضرية، فضلاً عن أنها بعيدة عن المنحدرات والمناطق غير الملائمة للتوسع.
4. إن استعمال المحاكاة المكانية ANN-CA للكشف عن احتمالية التوسع المساحي لمدينة تلغفر حتى عام 2037، لها دور كبير ومساهم في التنبؤات المستقبلية، لما سوف تكون عليه مدينة تلغفر في المستقبل، ومن ثم يمكن لصناع القرار توجيه الخطط المستقبلية بما يتلاءم مع المناطق الملائمة للتوسع الحضري.

المصادر

- Abtan, R.A., Kadhim, A.M. and Al-Saleh, A.H., 2022. Gap lines reduction for enhanced temporal Landsat ETM+ imagery using morphological operations. *Journal of the College of Basic Education*, 28(117), pp. 13-27. <https://doi.org/10.35950/cbej.v28i117.9067>
- Ahmed, R.A. and Mahdi, A.S. 2019. Evaluation of the Appropriate spatial expansion of the city of Tuzkhurmatu using GIS software. *Journal of Tikrit University for Humanities*, 26(4), pp. 232-203. <http://dx.doi.org/10.25130/jtuh.26.4.11>
- Ali, A.M., Ali, Y.A. and Sumait, B.S., 2015. Comparison between the effects of different types of membership functions on fuzzy logic controller performance. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 3, pp. 76-83. <https://doi:10.5593/SGEM2016/B41/S17.028>
- Al-Janqli, S. M. E., & Ismaeel, O. A., 2025. Spatial modeling of groundwater potential existence using GIS: Nineveh governorate as a model. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 25(2), 38–56. <https://doi.org/10.33899/earth.2024.146050.1217>
- Al-Qassab, O.A.I., 2021. Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Cartographic Modeling of Land Use: Erbil Plain District as a Model. PhD Thesis, University of Mosul, College of Education for Humanities, Iraq. (In-Arabic) DOI: [10.13140/RG.2.2.30640.07682](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30640.07682)
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), pp. 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.H., Ekvall, T. and Finnveden, G., 2006. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), pp. 723-739. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Boutaghane, H., Boudjemaa, K. and Dehimi, S., 2022. Geospatial modelling of the future urban expansion map using AHP and GIS in Bordj Bou Arreridj, Algeria. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4). <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3733>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), ArcGIS Desktop 10.8 Software help.
- Gao, J., 2021. Fundamentals of spatial analysis and modeling. CRC Press, 257 P.
- Hanoon, S.K., Abdullah, A.F., Shafri, H.Z. and Wayayok, A., 2022. Using scenario modelling for adapting to urbanization and water scarcity: Towards a sustainable city in semi-arid areas. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 10(1), pp. 518-532. <https://doi.org/10.21533/pen.v10.i1.556>
- Jensen, J.R., 2016. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. *Remote Sensing*, 8(6), 494. <https://doi.org/10.3390/rs8060494>
- Khazael, S.M. and Al-Bakri, M., 2021. The optimum site selection for solar energy farms using AHP in GIS environment, a case study of Iraq. *Iraqi J Sci* 4571–4587. [https://doi: 10.24996/ij.s.2021.62.11\(SI\).36](https://doi: 10.24996/ij.s.2021.62.11(SI).36)
- Lai, J., Li, J. and Liu, L., 2024. Predicting Soil Erosion Using RUSLE and GeoSOS-FLUS Models: A Case Study in Kunming, China. *Forests*, 15(6), 1039. <https://doi.org/10.3390/f15061039>

- LI, J., Li, D., LIU, X.B. and HE, J.J., 2009. Geographical Simulation and Optimization System (GeoSOS) and Its Cutting-edge Researches. *Advances in Earth Science*, 24(8), 899-907. <https://doi: 10.11867/j.issn.1001-8166.2009.08.0899>
- Li, P., Jiang, L. and Feng, Z., 2014. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI sensors. *Remote Sensing*, 6(1), pp. 310–329. <https://doi.org/10.3390/rs6010310>
- Malczewski, J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), pp. 3-65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Mathloom, A.R., 2016. Effect of Electromagnetic Fields from High–Pressure Lines and Electrical Transformers on Some Blood Parameters and Components Biochemistry for Human Blood. *University of Thi-Qar Journal*, 11(1), pp. 1-13. (in Arabic)
- Mohammady, S. and Delavar, M.R., 2016. Urban sprawl assessment and modeling using landsat images and GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(3), 155. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0209-4>
- Mokhtarzade, M. and Zoj, M.V., 2007. Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 9(1), pp. 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.05.001>
- Perumal, K. and Bhaskaran, R. (2010). Supervised classification performance of multispectral images. arXiv preprint arXiv: 1002.4046. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1002.4046>
- Qiang, Y. and Lam, N.S., 2015. Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental monitoring and assessment*, 187(3), 57. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4298-8>
- Rotmans, J., van Asselt, M., Anastasi, C., Greeuw, S., Mellors, J., Peters, S. and Rijkens, N., 2000. Visions for a sustainable Europe. *Futures*, 32(9-10), pp. 809-831. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(00\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(00)00033-1)
- Shrestha, A. and Mahmood, A., 2019. Review of deep learning algorithms and architectures. *IEEE Access*, 7, pp. 53040–53065. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912200>
- Steurer, M. and Bayr, C., 2020. Measuring urban sprawl using land use data. *Land Use Policy*, 97, 104799. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104799>
- Verburg, P.H., Schot, P.P., Dijst, M.J. and Veldkamp, A., 2004. Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61(4), pp. 309-324.
- Wang, J., Lv, J., Zhang, W., Chen, T., Yang, Y. and Wu, J., 2022. Land-use pattern evaluation using GeoSOS-FLUS in National territory Spatial planning: a case study of Changzhi City, Shanxi Province. *Sustainability*, 14(21), 13752. <https://doi.org/10.3390/su142113752>
- Youssef, A.M., Pradhan, B. and Hassan, A.M., 2011. Flash flood risk estimation along the St. Katherine Road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), pp. 611-623. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>
- Zhu, W. and Xia, W., 2023. Effects of atmospheric correction on remote sensing statistical inference in an aquatic environment. *Remote Sensing*, 15(7), 1907. <https://doi.org/10.3390/rs15071907>
- Zimmermann, H.J., 2011. Fuzzy set theory and its applications. Springer Science and Business Media, p.1.



تقييم مخاطر الجريان السطحي في حوض وادي قوس باستخدام نموذج (NRCS-CN) في نظم المعلومات الجغرافية

افراح بنت أحمد بن علي الزهراني^{1*}

¹ قسم العلوم الفيزيائية، برنامج نظم المعلومات الجغرافية، جامعة جدة، المملكة العربية السعودية.

المخلص	معلومات الارشفة
تهدف الدراسة الى تقييم مخاطر السيول في حوض وادي قوس جنوبي مدينة جدة من خلال تحديد احجام وذروة تصريف السيول باستخدام نموذج (NRCS-CN) الخاصة بوزارة التربة الأمريكية، ولتحقيق هذا الهدف اتبعت الدراسة منهجيةً تدرجت من جمع بيانات تطبيق النموذج بدءاً بمرئية لاندسات (9) وخريطة التربة، كما تم الحصول على بيانات العواصف المطرية الشديدة ورطوبة التربة المسبقة من موقع ناسا لبيانات مناخ الأرض، وتمثلت الخطوة الاتية بمعالجة هذه البيانات بهدف الحصول على أغطية واستعمالات الأرض، والمجموعات الهيدرولوجية للتربة الحوض، وتوزيع امطار العواصف ورطوبة التربة، وبالتالي انتقلت الدراسة الى اشتقاق قيم (CN) من خلال دمج طبقتي أغطية واستعمالات الأرض، ومجموعات التربة الهيدرولوجية، وبعدها طبقت المعادلات الرياضية الخاصة بهذه الطريقة كطبقة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي، والمستخلصات الاولية قبل بدء الجريان. وبالتالي، تم تقدير مخاطر السيول من خلال تطبيق معادلات عمق وحجم وذروة تصريف الجريان السطحي بالاعتماد على اشد عاصفة مطر تعرض لها الحوض عام 2022. وتوصلت نتائج الدراسة الى تراوح عمق الجريان السطحي في الحوض الناتج عن متوسط عاصفة أمطار 2022 التي بلغت 157.1 ملم ما بين 58.59 ملم بنسبة 37.3% من إجمالي امطار العاصفة تتحول الى جريان سطحي بمناطق الغطاء النباتي ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، الى 151 ملم بنسبة 96.15% من إجمالي امطار العاصفة بمناطق الطرق ضمن مختلف المجموعات الهيدرولوجية للتربة، بمتوسط مكاني على مستوى الحوض 118.06 ملم بنسبة 75.15% من إجمالي امطار هذه العاصفة تتحول الى سيول. فيما تراوح حجم الجريان السطحي ما بين 246.075 م ³ بمناطق النبات ضمن المجموعة (A)، الى 2549567 م ³ بمناطق الرواسب ضمن المجموعة (B)، بمتوسط مكاني على مستوى الحوض 512853.17 م ³ . وتراوحت ذروة تصريف السيل ما بين 9.74 م ³ /ث بمناطق تطابق توزيع الغطاء النباتي مع مجموعة التربة الهيدرولوجية (A)؛ الى 100851.3 م ³ /ث بمناطق تطابق توزيع الرواسب مع مجموعة التربة الهيدرولوجية (B) بمتوسط مكاني للحوض 20286.56 م ³ /ث.	تاريخ الاستلام: 27- يناير -2025 تاريخ المراجعة: 02- ديسمبر -2025 تاريخ القبول: 04- ابريل -2025 تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل -2026 الكلمات المفتاحية: مخاطر، الجريان السطحي، حوض وادي قوس، مدينة جدة، نموذج (NRCS-CN).
	المراسلة: الاسم: افراح بنت أحمد بن علي الزهراني Email: aaalzahrani@uj.edu.sa

Surface Runoff Risk Assessment in the Qaws Valley Basin Using the NRCS-CN Model In GIS

Afrah Ahmad Alzahrani ^{1*}

¹ Department of Physical Sciences, Geographic Information Systems Program, University of Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia.

Article information

Received: 27- Jan -2025

Revised: 02- Mar -2025

Accepted: 04- Apr -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Hazards,
Runoff,
NRCS-CN model,
Qaws wadi basin,
Jeddah city,

ABSTRACT

The study aims to estimate flood risks in the Qaws wadi basin south of Jeddah City by determining volumes and peak discharge of floods using the National Resources Conservation Service-Curve Number (NRCS-CN) model of the Soil Conservation Service. To achieve this aim, the study followed a methodology that gradually began by collecting data for the model application, starting with the Landsat (9) image and the soil map. Data on severe rainstorms and soil moisture are also obtained from the NASA website and Earth Climate Data. The next step was to process these data in order to obtain the Land Use/Land Cover (LULC), the hydrological groups of soil in the basin, and the distribution of storm rains and soil moisture. Thus, the study involves deriving the (CN) values by merging the two layers of LULC and the hydrological soil groups. Then, the required equations are applied as the potential maximum retention of water by the soil, and initial abstraction before the start of runoff. Thus, the risks of floods are estimated by applying equations of depth, volume, and peak discharge of surface runoff based on the most severe rainstorm that the basin was exposed to in 2022. The results of study show that the depth of surface runoff in the basin resulting from the average of 2022 rainstorm, which reached 157.1 mm ranging from 58.59 mm representing 37.3% of the total storm rainfall converted into surface runoff in the vegetation cover areas within soil hydrological group (A), to 151 mm representing 96.15% of the total storm rainfall in the road areas within different types of the soil hydrological groups, with a spatial average at basin level of 118.06 mm, 75.15% of total rainfall of this storm converted into runoff. The surface runoff volume ranges from 246,075 m³ in the vegetation areas within group (A) to 2,549,567 m³ in the sediment areas within group (B), with a spatial average at the basin level of 512,853.17 m³. The peak discharge ranges from 9.74 m³/s in areas where the vegetation distribution matches the hydrological soil group (A), to 100,851.3 m³/s in areas where the sediment distribution matches the hydrological soil group (B), with a spatial average at the basin of 20,286.56 m³/s.

Correspondence:

Name: Afrah Ahmad Alzahrani

Email: aaalzahrani@uj.edu.sa

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60859](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60859), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

يمثل الجريان السطحي جزءاً من مياه الأمطار المنقولة كجريان سيلي عبر الاودية والقنوات المائية القريبة بعد أن تنتشع التربة والنباتات الأرضية (Kumari *et al.*, 2019). ويحدث الجريان عندما يتجاوز معدل هطول الأمطار معدل التسرب، ويعتمد على شدة هطول الأمطار والانحدار ونسيج التربة ومنطقة الأحواض المائية واستخدامات الأرض (Saran *et al.*, 2021).

يُستخدم نموذج (NRCS-CN) الذي طور من قبل مصلحة صيانة التربة والموارد الطبيعية، التابعة لوزارة الزراعة الأمريكية (USDA) عام 1976 بشكل متكرر في تقدير حجم ومخاطر الجريان السطحي (Farran *et al.*, 2021). ويتم استخدامه على نطاق واسع في التنبؤ بعمليات إنتاج الجريان السطحي في فترات زمنية مختلفة، ويمكن تطبيق النموذج بدقة

جيدة في مناطق جغرافية وظروف مناخية مختلفة، خاصة في المناطق التي تقتصر إلى بيانات هيدرولوجية مفصلة، ويعكس تأثير أغطية الأرض واستعمالاتها ونوع التربة على حجم ومخاطر الجريان السطحي، وهو طريقة أفضل لحساب حجم وخطر الجريان في الأحواض الحضرية كحوض وادي قوس.

وعليه تعتمد بعض معلمات تطبيق هذا النموذج على بيانات الاستشعار عن بعد (RS) وعلى نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في دمج طبقات هذه المعلمات، وبالتالي تعتبر هذه الأدوات فعالة وقوية في النمذجة الهيدرولوجية ومورفولوجية. وقام العديد من الباحثين بتقدير مخاطر الجريان السطحي القائم على تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية باستخدام طريقة (NRCS-CN) لاسيما للأحواض المائية في المناطق الحضرية. وتكمن أهمية ذلك مع ما تعرضت له مدينة جدة من مخاطر شديدة للسيول الناتجة عن بعض العواصف المطرية التي تعرضت لها بين عامي 2009 - 2024. في نوفمبر 2009 تسببت كميات الأمطار الغزيرة التي هطلت على مدينة جدة في حدوث فيضانات وغرق عدة أحياء، ووفاة أكثر من مائة مواطن، وكانت هذه واحدة من أسوأ الكوارث التي شهدتها جدة خلال السنوات السبع والعشرين الماضية (Ali and Ameer, 2018). وتسببت فيضانات عام 2011 في انهيار سد أم الخير وغرق أحياء في شرقي المدينة (Salam, 2013).

وتشهد الأحواض المائية بمحاذاة مدينة جدة تغيرات سريعة في أغطية واستعمالات الأرض متمثلة بتحول أغطية الأرض الطبيعية كالتربة والرواسب والمناطق الزراعية ومناطق الغطاء النباتي الطبيعي التي كانت تعزز من تسرب مياه الأمطار عبر التربة وتقلل من مخاطر السيول إلى استعمالات مصممة لتسرب الأمطار كالعمران والطرق وغيرها. وبالتالي، يرافق زيادة التوسع الحضري والتغيرات في أنماط استخدام الأراضي بين مدة وأخرى تغيرات في أنظمة المياه في المدينة ومحيطها، وتشتد مخاطر فيضانات الأحواض المائية على المدينة مع زيادة مساحة الأراضي غير المنفذة كالطرق والمباني، وارتفاع نسبة هطول الأمطار إلى معدل التسرب، وانخفاض معدل إعادة تغذية المياه الجوفية. لذا تعتبر الوقاية من الفيضانات وإدارتها من القضايا الرئيسية في جدة التي شهدت عدة فيضانات كبيرة خلال السنوات الأخيرة مما تسبب في أضرار واضطرابات واسعة النطاق (Ledraa and Al-Ghamdi, 2020). لذا اتخذت الحكومة السعودية عددًا من المبادرات لتحسين السيطرة على الفيضانات وإدارتها في جدة (Abdulrazzak et al., 2019). وعليه، فإن تقدير حجم ومخاطر الجريان السطحي باستخدام نموذج NRCS-CN في حوض وادي قوس بمدينة جدة من الأمور التي يمكن أن تساعد على اتخاذ تدابير السيطرة على مخاطر الفيضانات.

استخدم (Zhang, 2019) طريقة NRCS-CN لتقدير جريان مستجمعات المياه ومخاطر الكوارث في حوض تشينيلوان، الصين، واعتمدت الدراسة على معلمي التربة واستخدامات الأرض، وتمت نمذجة مخاطر الفيضان بالاعتماد على عواصف عامي (2005 - 2009)، ووجدت الدراسة أن هذا النهج مناسب للتحقيق في كيفية تأثير استخدام الأراضي على الجريان السطحي.

وقام (Gupta and Dixit, 2022) بتقدير الجريان السطحي الناجم عن هطول الأمطار لمنطقة آسام، الهند، باستخدام طريقة NRCS-CN القائمة على نظام المعلومات الجغرافية، وتم تحديد استخدام وأغطية الأرض ومجموعة التربة الهيدرولوجية بكل حوض فرعي، وتم حساب قيم CN لظروف رطوبة التربة الثلاثة، وحدد عمق الجريان السطحي باستخدام متوسط بيانات هطول الأمطار لمدة 16 عامًا (2005-2020)، وأكدت النتائج تراوح كمية الأمطار ما بين 936.99 - 3520.55 ملم، وعمق الجريان ما بين 444.50 - 1960.55 ملم؛ وبالنسبة لجميع الأحواض الفرعية، لوحظ ارتباط قوي ما بين عمق الجريان السطحي وهطول الأمطار ($R^2 \geq 0.8$).

وتطرق (Hussain Shah *et al.*, 2023) لمخاطر الفيضانات والضعف من منظور مناخي متغير يركز بشكل عام على الفيضانات المفاجئة والمخاطر المرتبطة بها في جدة. وتناولت الدراسة التصنيفات المناخية المتنوعة في المملكة ومخاطرها وضعفها وتأثير أحداث الفيضانات المفاجئة والضحايا والخسائر في الممتلكات المرتبطة بها، وقدمت معلومات عن الاستراتيجيات الحالية للحكومة، واقترحت منهجية تساعد على تخفيف آثار الفيضانات في المستقبل من خلال دمج متغيرات المخاطر في سياق تغير المناخ والضغط البشري المتزايدة على المجتمعات الساحلية.

وجمع (Eniyew *et al.*, 2024) بين المعلومات الجغرافية المكانية ومنهجية (CN) لتقدير الجريان السطحي في حوض (Rib) في الجزء العلوي من حوض النيل الأزرق، إثيوبيا. وأظهرت النتائج أن أعلى جريان سطحي ظهر في مناطق فارتا وديبري تابور وفي بعض أجزاء من مقاطعات لأي جاينت وفوغيرا وكيمكيم، وقد ينتج عن ذلك فقدان رطوبة التربة وانخفاض المياه السطحية والجوفية وانخفاض غلة المحاصيل والأعلاف الحيوانية وعدم إنتاجية الأرض.

وتناولت دراسة (Sofia *et al.*, 2022) نظام التنبؤ بالفيضانات على المستوى الوطني في المملكة العربية السعودية: رؤى من حدث جدة 2022، وقدمت الدراسة نظاماً متقدماً للتنبؤ بالفيضانات المفاجئة، مما عزز الاستعداد للكوارث والاستجابة لها، وتضمن النظام ثلاثة مكونات تجمع ما بين النماذج الجيوهيدرولوجية والهيدروديناميكية للتنبؤ بأنماط هطول الأمطار وتأثيراتها المحتملة، وسلطت الدراسة الضوء على فعالية النظام خلال هطول أمطار غزيرة في جدة بتاريخ 24 نوفمبر 2022 مما ادت الى حدوث فيضانات مفاجئة واسعة النطاق.

تبلورت مشكلة البحث الحالي بعد ان شهدت منطقة جدة في السنوات الأخيرة هطول أمطار غزيرة استمرت لعدة ساعات وانتهت بفيضانات مفاجئة كارثية؛ وتترافق مخاطر تغير المناخ في مدينة جدة مع زيادة السكان وتوسع العمران وتغير أغطية الأرض الطبيعية ذات الامكانيات العالية على تسريب وتخزين مياه الأمطار بسرعة كبيرة الى استعمالات عمرانية في المدينة والى تكرار حدوث الفيضانات المفاجئة التي نتج عنها كثير من الأضرار في البنية التحتية وحركة المرور وأضرار اقتصادية وخسائر بشرية، وشهدت مدينة جدة كمية غير متوقعة من أحداث هطول الأمطار في السنوات الأخيرة، ومما يعزز من مخاطر الفيضانات على المدينة وسكانها موقعها في السهل الساحلي غربي المملكة العربية السعودية، وتوسعها في مصبات عدد من الأودية التي تأتي من المناطق المرتفعة شرقاً منها حوض وادي قوس.

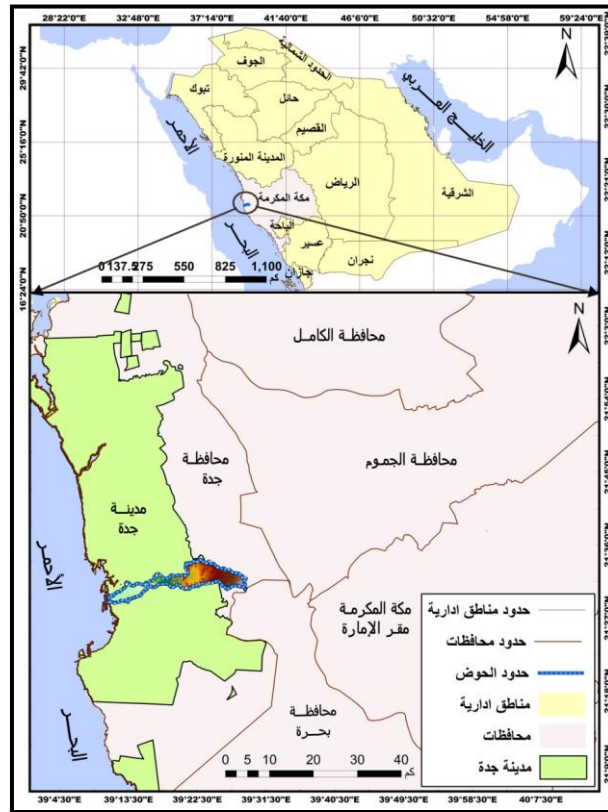
فضلا عن ما توصلت اليه نتائج الدراسات السابقة حول استمرارية تأثير تغير المناخ على الاتجاهات الزمنية لهطول الأمطار في منطقة جدة منذ عام 1965 مما أدى الى زيادة في شدة هطول الأمطار بقيمة متوسطة بلغت 12 ملم، تأتي أهمية هذه الدراسة في حوض وادي قوس أحد الاحواض المائية في المدينة في إعداد خرائط لفيضانات المفاجئة وتحديد المناطق المعرضة لمخاطر الفيضانات في المدينة بطريقة تعتبر فعالة للحد من الآثار التي سوف تنتج عنها في المستقبل، حيث تعتبر خرائط الفيضانات وفق أعلى سيناريو للأمطار المفاجئة أداة قوية لمخططي البنية التحتية والنقل وخدمات الطوارئ والإنقاذ في المدينة.

وبناءً على ذلك، تهدف الدراسة الحالية الى تحليل معلمات الجريان السطحي ومدلولاتها الهيدرولوجية في حوض وادي قوس، وتقدير عمق وحجم الجريان في حوض وادي قوس حسب طريقة (NRCS-CN)، وتقدير مخاطر الجريان السطحي في الحوض حسب ذروة التصريف.

موقع منطقة الدراسة

يقع حوض وادي قوس شرقي وجنوبي مدينة جدة على ساحل البحر الأحمر غربي المملكة العربية السعودية. تبدأ الروافد العليا للحوض من المرتفعات الجبلية شرقي محافظة جدة وشمال محافظة بكرة، ويتجه مجرى الوادي غرباً ليمر في المنطقة الجنوبية من مدينة جدة، وينتهي عند مخرج مياه الحوض في البحر الأحمر، ويقع الحوض فلكياً (الشكل 1) بين

دائرتي عرض $21^{\circ} 26' 40'' - 21^{\circ} 32' 30''$ شمالاً، وبين خطي طول $39^{\circ} 10' 00'' - 39^{\circ} 29' 50''$ شرقاً، وتبلغ مساحة الحوض 94.49 كم².



الشكل 1. موقع حوض وادي قوس.

الباحثة بالاعتماد على طبقات رقمية (Shapfile)، الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، (2024).

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على منهج التحليل المكاني القائم على نظم المعلومات الجغرافية في تطبيق نموذج الارقام المنحنية الخاص بمصلحة صيانة التربة الامريكية (NRCS-CN)، وتدرجت منهجية الدراسة من جمع البيانات الخاصة بتطبيق النموذج والمتمثلة بمرئية لاندسات 9 للمستشعر (OLI_TIRS)، والملتقطه بتاريخ (2024-12-21)، وتم الحصول عليها من موقع المساحة الجيولوجية الامريكية، وكذلك حصلت الدراسة على نموذج ارتفاع رقمي للقمر (SRTM) بدقة مكانية 30م من موقع المساحة الجيولوجية الامريكية (<https://earthexplorer.usgs.gov>) والذي تم استخدامه في اشتقاق طبقة الاساس لحود حوض وادي قوس. وخريطة نوعية التربة مأخوذة من أطلس الخريطة العامة للتربة، لوحة جدة رقم 158 (Ministry of Agriculture and Water, 1986). وتم الحصول على بيانات العواصف المطرية ورطوبة التربة من موقع ناسا، بيانات مناخ الأرض (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>).

وبعد جمع بيانات تطبيق نموذج تقدير الجريان السطحي في الحوض كان لابد اولاً من معالجة البيانات للحصول على ادق النتائج، وتمت في البداية معالجة نموذج الارتفاع الرقمي من خلال تحويل الطبقة من النظام الجغرافي الى المتري (UTM Zone 37)، وبالتالي استكمال بيانات الخلايا الفارغة باستخدام خوارزمية (Fill) في برنامج (GIS). وبالتالي تمت معالجة مرئية لاندسات باستخدام الخوارزميات الخاصة بالتصحيح الهندسي والجوي والتحسين ودمج النطاقات والاقطاع ضمن برنامج (ERDAS IMAGINE). كما قامت الدراسة بإعادة ارجاع طبقة التربة بناء على الاحداثيات الموجودة في أطراف خريطة الاساس.

وتمثلت الخطوة الثالثة باستخلاص طبقات تطبيق نموذج الأرقام المنحنية حيث تم في البداية استخلاص طبقة حدود حوض وادي قوس والأحواض الفرعية من طبقة نموذج الارتفاع الرقمي التي عولجت في الخطوة السابقة وذلك باستخدام أدوات هيدرولوجي ضمن برنامج (GIS). واشتقت الدراسة طبقة اغطية واستعمالات الارض في الحوض باستخدام خوارزمية التصنيف غير الموجه ببرنامج (ERDAS)، وتعتبر هذه الطبقة أولى مدخلات تطبيق نموذج الأرقام المنحنية (NRCS-CN) لتقدير مخاطر الجريان السطحي في الحوض. وبالتالي اشتقت طبقة خريطة التربة من خلال عمل (Digitizing) من الخريطة الأساس التي اعيد ارجاعها في الخطوة السابقة، وبناء على نوعية الترب السائدة في الحوض بينت خريطة المجموعات الهيدرولوجية للتربة (Hydrologic Soil Groups) حسب تصنيف مصلحة صيانة التربة الأمريكية وجود أربع مجموعات، وتعد هذه الطبقة ثاني طبقات تقدير مخاطر السيول بهذا النموذج. وبعد تجهيز طبقتي اغطية واستعمالات الارض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة رقت فئات كل منها بأرقام مختلفة، وبالتالي استخدمت خوارزمية (Combine) في نظم المعلومات الجغرافية لدمج الطبقتين، وذلك لإنتاج خريطة قيم الأرقام المنحنية (CN) على مستوى الخلايا 15×15 م. وبالاعتماد على هذه الخريطة انتجت قيم الأرقام المنحنية الموزونة (CNS) على مستوى الأحواض الفرعية بتطبيق الصيغة الرياضية الآتية (USDA, 1986) :

$$CNS = \frac{CN * A}{100}$$

وقامت الدراسة بإنتاج خريطة حساب معامل احتفاظ التربة بالماء بعد بدء الجريان من خلال تطبيق المعادلة في حاسبة نظم المعلومات الجغرافية ومعادلة (Ghanem and Zaifoglu, 2024) بناء على طبقتي (CN- CNS) وكما يأتي:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

حيث تمثل (S) إمكانية التربة القصوى على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان، (CN) قيم الأرقام المنحنية.

وأعقبها إنتاج خريطتي المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان (Ia) على مستويي الخلايا والأحواض الفرعية بتطبيق معادلة (Gupta and Dixit, 2022) :

$$Ia = 0.2 S .$$

حيث (Ia) المستخلصات الأولية، (S) إمكانية التربة القصوى على الاحتفاظ بالماء.

وتلى ذلك تقدير عمق الجريان بناء على متوسط عاصفة امطار (24 - 11 - 2022) التي بلغت 157.1 ملم/24 ساعة، بتطبيق صيغة (USDA, TR - 55, 2 - 1) :

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{(P + 0.8 S)} .$$

حيث Q عمق السيل، P أمطار عاصفة (3 - 11 - 2018) ملم، S إمكانية التربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان، Ia المستخلصات الأولية.

وبالتالي تم تقدير حجم الجريان من خلال تطبيق المعادلة الآتية (Khalil, 2018) :

$$QV = \frac{Q \times A}{1000} .$$

حيث تمثل (QV) حجم الجريان، (Q) عمق الجريان ملم، (A) المساحة م².

وتلاه حساب زمن التركيز بالصيغة الآتية (Carter, 1961):

$$TC = 0.0977 * \frac{L0.6}{S0.2}$$

حيث (Tc) تمثل زمن التركيز، (L) طول المجرى الرئيس (م)، (S) انحدار المجرى الرئيس (م).

وأخيراً تم تقدير ذروة تصريف السيل بواسطة طريقة هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية لتحديد حجم وتواتر الفيضانات بتطبيق معادلة (NRCS, 1997):

$$Qp = 0.208 \times A \times Q/Tp$$

حيث ان Qp = ذروة التصريف (م³/ث)؛ A = مساحة الحوض (م²)؛ Q = عمق الجريان السطحي (ملم)؛ Tp = الوقت حتى الذروة (ساعة).

ويحسب الوقت حتى الذروة (Tp) بالمعادلة الآتية (Raghunath, 2006):

$$Tp = Ct(Lb \times Lca)^{0.3}$$

حيث Lb = طول مجرى الوادي الرئيس؛ Lca = المسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله كم، Ct = فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعات)؛ Tp (hr) = معامل زمن تدفق الذروة أو معامل التباطؤ وهو خاص بطبيعة الحوض وانحداره وتتراوح قيمته ما بين 0.2 - 2.2.

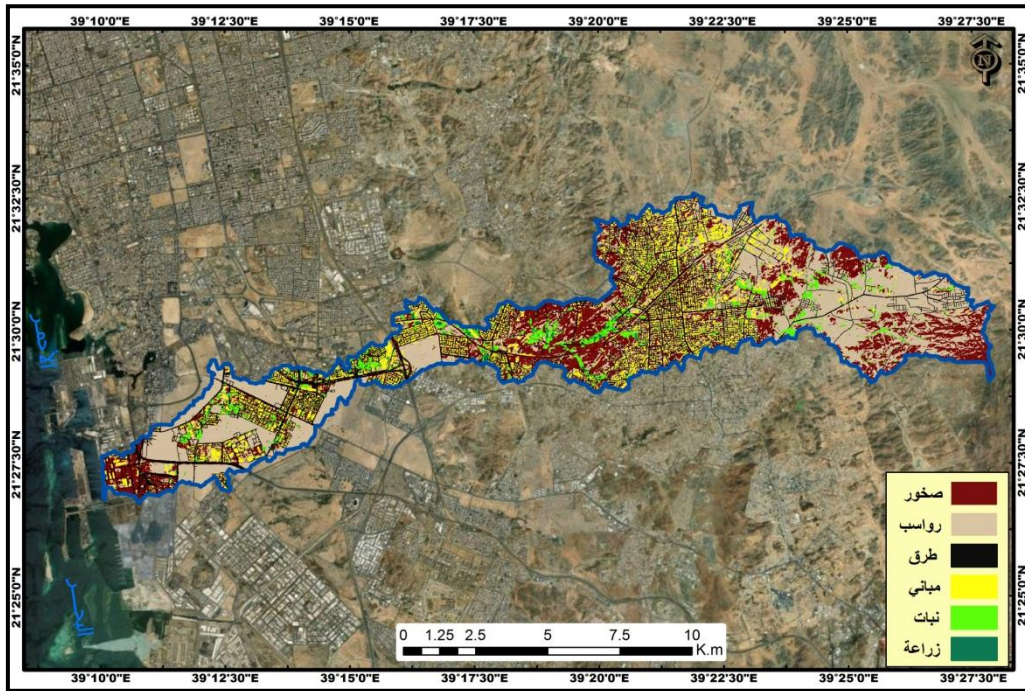
مناقشة النتائج

يتميز نموذج (NRCS-CN) ببنية بسيطة ومعلمات قليلة ودقة عالية وهو مناسب لتقدير جريان الأمطار في الأحواض أو المناطق الصغيرة والمتوسطة الحجم. وتقدر طريقة (NRCS-CN) مخاطر الجريان السطحي باستخدام معادلة تجريبية قائمة على أغطية واستخدام الأرض والتربة (المجموعات الهيدرولوجية للتربة) وهطول الأمطار والرطوبة المسبقة للتربة ورقم منحني الجريان (USDA, 1985). وتكون نسبة الاحتفاظ الفعلي (F) إلى الحد الأقصى المحتمل للاحتفاظ (S) مساوية لنسبة الجريان السطحي المباشر (Q) إلى هطول الأمطار (P) مطروحاً منها المستخلصات الأولية (I) (Gupta and Dixit, 2022). وبالتالي يحتاج هذا النموذج لتقدير مخاطر الجريان السطحي بشكل فعال إلى عدد من المعلمات على النحو الآتي:

أولاً) معلمات تطبيق نموذج (NRCS-CN):

أ) أغطية واستعمالات الأرض: للحصول على خرائط أرقام منحني الجريان، هناك حاجة إلى معلومات مفصلة بشأن التوزيع المكاني لأغطية واستعمالات الأرض (Ebrahimian et al., 2012). وبالتالي تعتبر خريطة توزيع أغطية واستعمالات الأرض في حوض وادي قوس أول مكونات تطبيق معادلة نموذج (NRCS-CN) لتقدير حجم ومخاطر السيول، حيث تدمج مع طبقة خريطة المجموعات الهيدرولوجية للتربة لتحديد قيم الأرقام المنحنية (CN).

وبذلك تظهر نتائج التصنيف غير الموجة لمرئية لاندسات ستة أنواع لأغطية الأرض واستعمالاتها تشغل أغطية الأرض الطبيعية 73.13% من إجمالي مساحة الحوض. بينما تغطي الاستعمالات البشرية 27.87%. ويأتي غطاء الرواسب التي تعمل على تسريب جزء كبير من مياه الأمطار في المرتبة الثانية من حيث مساحة التغطية بنحو 39.38 كم² بنسبة 41.67% من إجمالي مساحة الحوض.

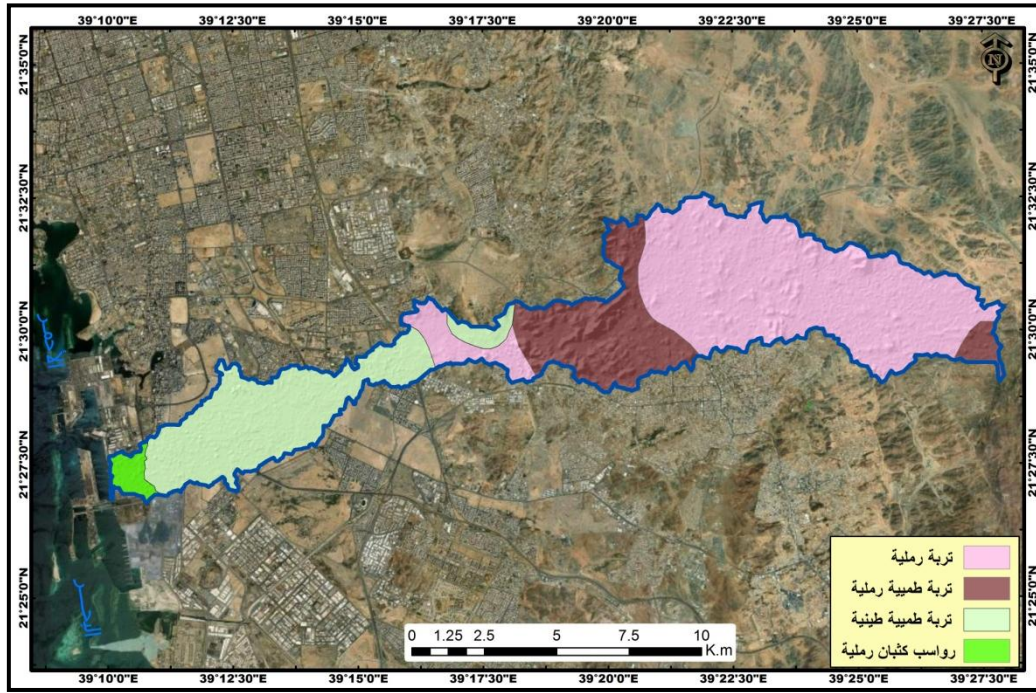


الشكل 2. أغطية واستعمالات الأرض في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على مرئية لاندسات بتاريخ (2024-12-21).

وبعد جاء الغطاء الصخري الذي يظهر شرقي ووسط وادنى الحوض بمساحة بلغت 23.27 كم² بنسبة 24.6% من اجمالي مساحة الحوض. وبالتالي تأتي الطرق بمساحة بلغت 15.77 كم² بنسبة 16.68% من اجمالي مساحة الحوض. ومن ثم جاءت المباني بمساحة تغطي 10.6 كم² بنسبة 11.21% من اجمالي مساحة الحوض. ويعد جاء الغطاء النباتي بمساحة بلغت 4.95 كم² بنسبة 5.24% من اجمالي مساحة الحوض. وأخيرا جاءت المناطق المزروعة بمساحة 0.61 كم² بنسبة 0.65% من اجمالي مساحة الحوض.

ب) نوعية التربة: يبين الشكل (3) اربعة أنواع من التربة في الحوض وهي (1) التربة الرملية الأكبر من حيث المساحة والتي تظهر أعلى ووسط الحوض وهي تربة غير صالحة للزراعة تتألف من بروزات صخرية، وتلال صخرية، وسهول تربتها رملية، تتراوح نسبة انحدارها بين صفر الى 8%، ونسيجها مابين 0 و8، وعمقها أكبر من 150م، وتتسم بانخفاض قدرتها على حفظ الماء، حيث تبلغ سعتها التخزينية 6.8، بمساحة بلغت 49.6 كم²، بنسبة 52.6% من اجمالي مساحة الحوض. وتأتي بعدها (2) التربة الطميية الطينية في ادنى وسط الحوض، وهي تربة صالحة للزراعة، ويبلغ انحدارها مابين صفر الى 5%، ويتراوح نسيجها مابين صفر الى 5، وعمقها أكبر من 150م، وتبلغ سعتها التخزينية بين 6 الى 22.2، بمساحة بلغت 24.57 كم²، بنسبة 26% من اجمالي مساحة الحوض. وبالتالي تأتي (3) التربة الطميية الرملية في أعلى ووسط الحوض، وهي تربة غير صالحة للزراعة تتألف من بروزات صخرية وجبال، عمقها أقل من 50م، انحدارها من 15 الى 80%، وتبلغ سعتها التخزينية أقل من 6، بمساحة بلغت 18.38 كم² بنسبة 19.46% من اجمالي مساحة الحوض. وأخيرا جاءت (4) تربة الكثبان الرملية عند مخرج الحوض وهي ترب سهول ساحلية منبسطة وكثبان رملية، عمقها أكبر من 150م، انحدارها من صفر الى 60%، وسعة تخزينها من 6 الى 8، بمساحة بلغت 1.94 كم² بنسبة 2.05% من اجمالي مساحة الحوض.

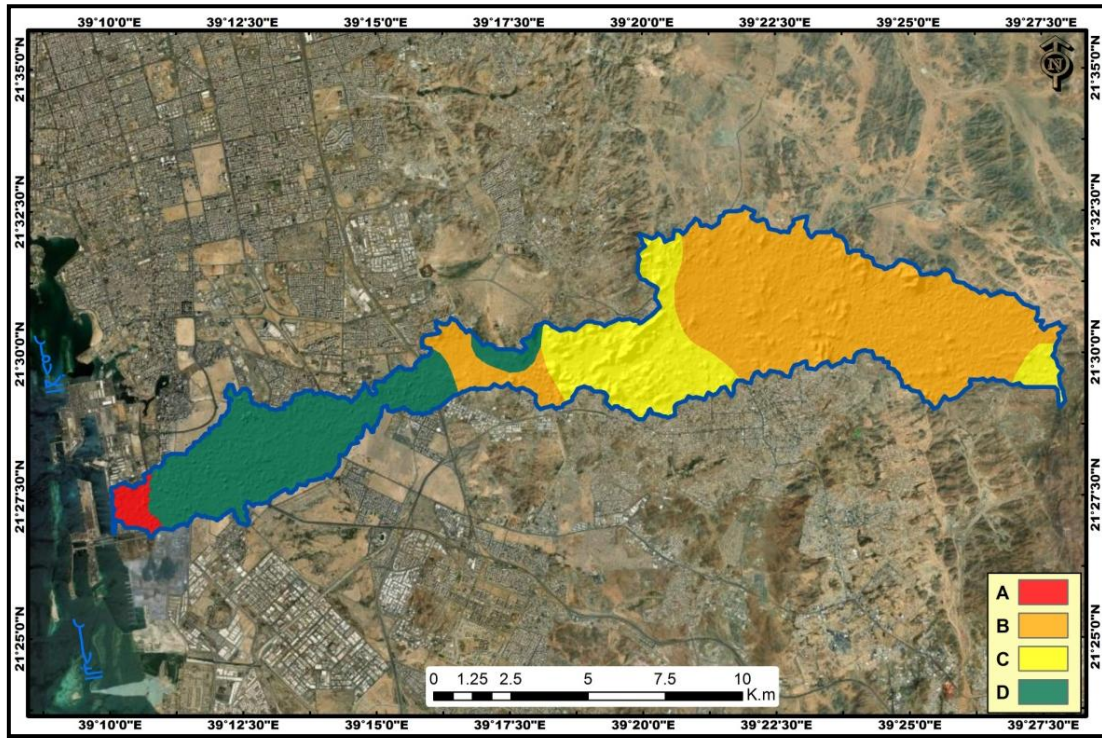


الشكل 3. نوعية التربة في حوض وادي قوس

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خريطة التربة، لوحة جدة، (Ministry of Agriculture and Water, 1986).

ج) المجموعات الهيدرولوجية للتربة: صنفت (NRCS) الامريكية المجموعات الهيدرولوجية التربة (HSG) إلى أربع مجموعات (D, C, B, A) تختلف في الملمس ومعدل تسرب المياه وتوليد الجريان؛ فالمجموعة A تمثل الترب ذات النسيج الخشن والتي لديها إمكانية جريان منخفضة ومعدلات تسرب عالية لمياه الأمطار، والمجموعة B تتميز بمعدل تسرب معتدل للمياه، والمجموعة C تتصف بنسيج ناعم إلى معتدل وتسرب منخفض لمياه الأمطار، اما المجموعة D تتسم بنسيج ناعم إلى ناعم جدا ومعدلات تسرب منخفضة للغاية لمياه الأمطار.

وبذلك يظهر الشكل (4) وجود أربعة أنواع من مجموعات التربة الهيدرولوجية في الحوض: الأولى تمثل المجموعة A حيث تتوحد رواسب الكثبان الرملية التي تتجاوز نفاذيتها 15 سم/ساعة عند مخرج الحوض بمساحة 1.94 كم² بنسبة 2.05% من اجمالي مساحة الحوض. اما المجموعة الثانية B، فتظهر وسط ووسط أعلى الحوض حيث تنتشر الترب الرملية التي تتراوح نفاذيتها ما بين 10 - 15 سم/ساعة بمساحة بلغت 49.6 كم² بنسبة 52.6% من اجمالي مساحة الحوض. وتقع المجموعة الثالثة C أعلى ووسط حوض وادي قوس حيث تنتشر الترب الطميية الرملية التي نفاذيتها ما بين 5 - 10 سم بمساحة بلغت 18.38 كم² بنسبة 19.46% من اجمالي مساحة الحوض. وتظهر المجموعة الرابعة D أدنى وسط الحوض حيث التربة الطميية الطينية التي تتراوح نفاذيتها ما بين 1.5 - 5 سم، بمساحة بلغت 24.57 كم² بنسبة 26% من اجمالي مساحة الحوض.

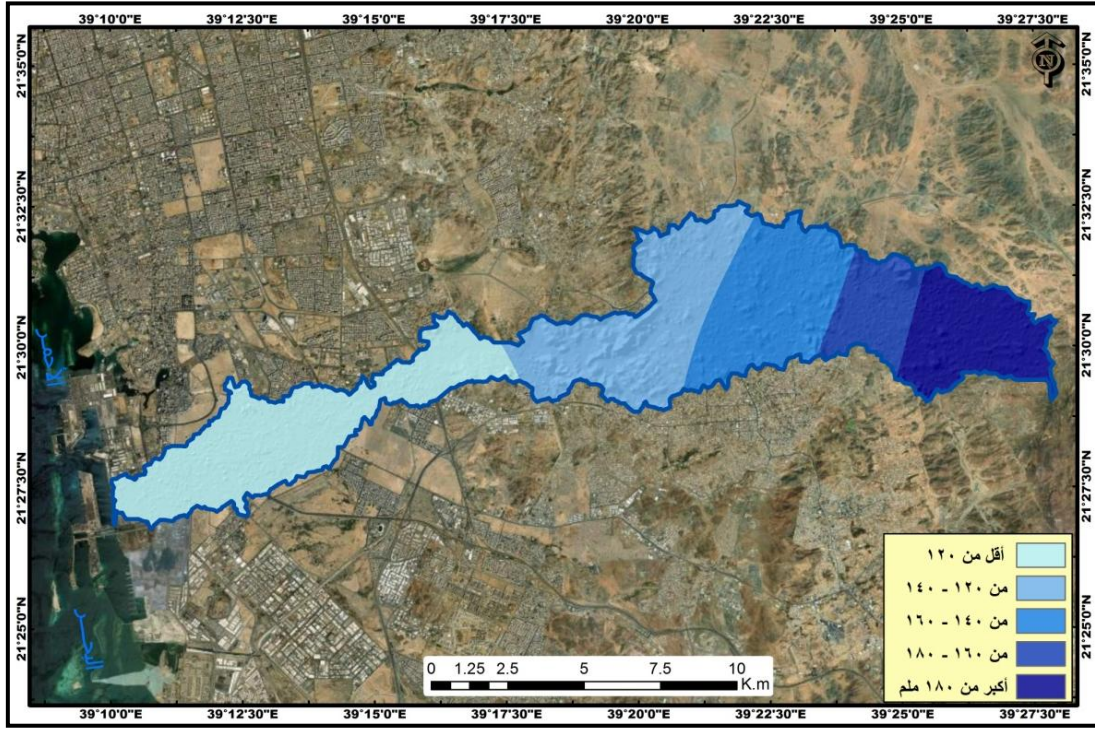


الشكل 4. المجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خريطة التربة، لوحة جدة، (Ministry of Agriculture and Water, 1986).

د) تحليل عواصف الأمطار الكثيفة: تهطل أمطار مدينة جدة خلال الشتاء ما بين أكتوبر وأبريل، وترجع قليل منها الى الرياح الموسمية التي تحدث بين يوليو وسبتمبر. وتحدث الامطار الغزيرة التي تترتب عليها مخاطر عندما يتجاوز معدل هطول الأمطار 25 ملم/ساعة. وتعتبر الرياح الشمالية القادمة من شرق البحر المتوسط المتجهة نحو الخليج العربي مسؤولة عن هطول الأمطار الغزيرة في جدة، وواجه النمط المطري هطول الأمطار في جدة اختلافات شديدة (Hussain, et al., 2023).

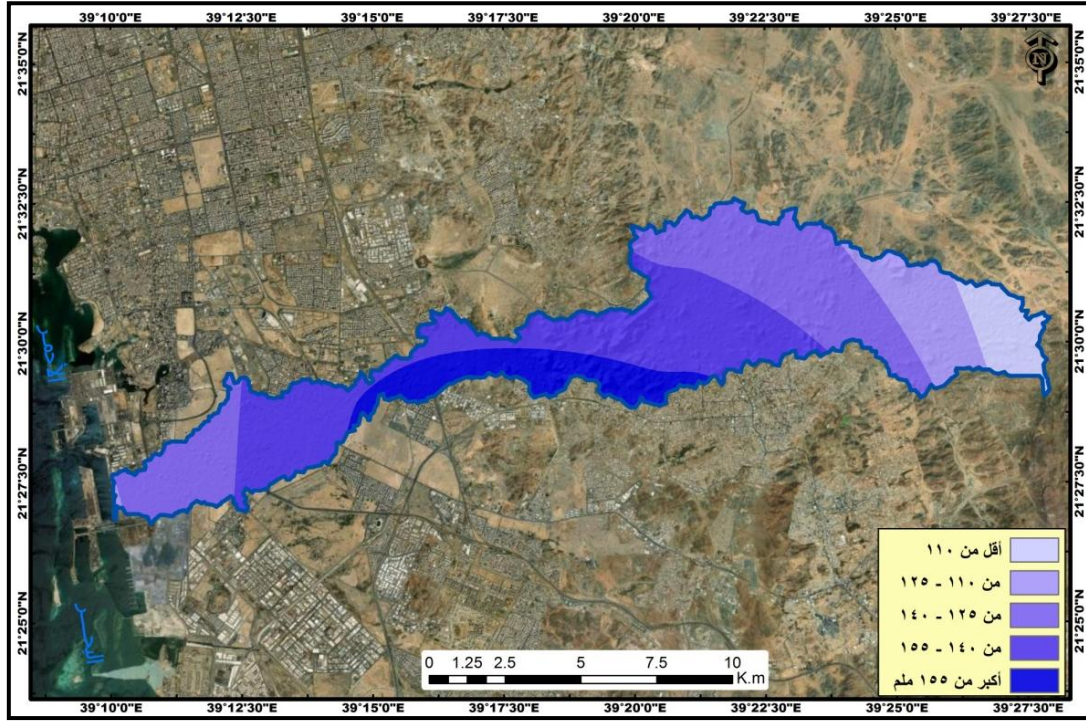
وبذلك تظهر نتائج تحليل عاصفة نوفمبر 2009 تراوح كمية الامطار التي تعرض لها الحوض ما بين 94 - 223 ملم/ساعة بمتوسط بلغ 140 ملم/ساعة. وتبين نتائج تصنيف امطار هذه العاصفة (الشكل 5) مخاطرها الشديدة على المنشآت السكنية في الحوض بسبب تركيز النطاقات الأكثر غزارة في أعلى الحوض، حيث تقع المنطقة التي تجاوزت كمية امطارها 180 ملم/ ساعة اعلى الحوض بمساحة بلغت 14.29 كم² بنسبة 15.11% من اجمالي مساحة الحوض. بينما تقع المنطقة التي تتراوح امطارها ما بين 180 - 160 ملم/ ساعة غرب الاولى بمساحة بلغت 8.28 كم² بنسبة 8.76% من اجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي تراوحت كمية امطارها ما بين 160 - 140 ملم/ ساعة وسط الحوض بمساحة بلغت 19.12 كم² بنسبة 20.23% من اجمالي مساحة الحوض. وتظهر المنطقة حيث كمية امطارها ما بين 140 - 120 ملم/ ساعة وسط أدنى الحوض بمساحة بلغت 24.06 كم² بنسبة 25.47% من اجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي تقل امطارها عن 120 ملم/ساعة بمخرج الحوض بلغت مساحتها 28.75 كم² بنسبة 30.43% من اجمالي مساحة الحوض.



الشكل 5. عاصفة امطار (2009 /11 /25).

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر، (GPM)، موقع ناسا، بيانات مناخ الأرض.

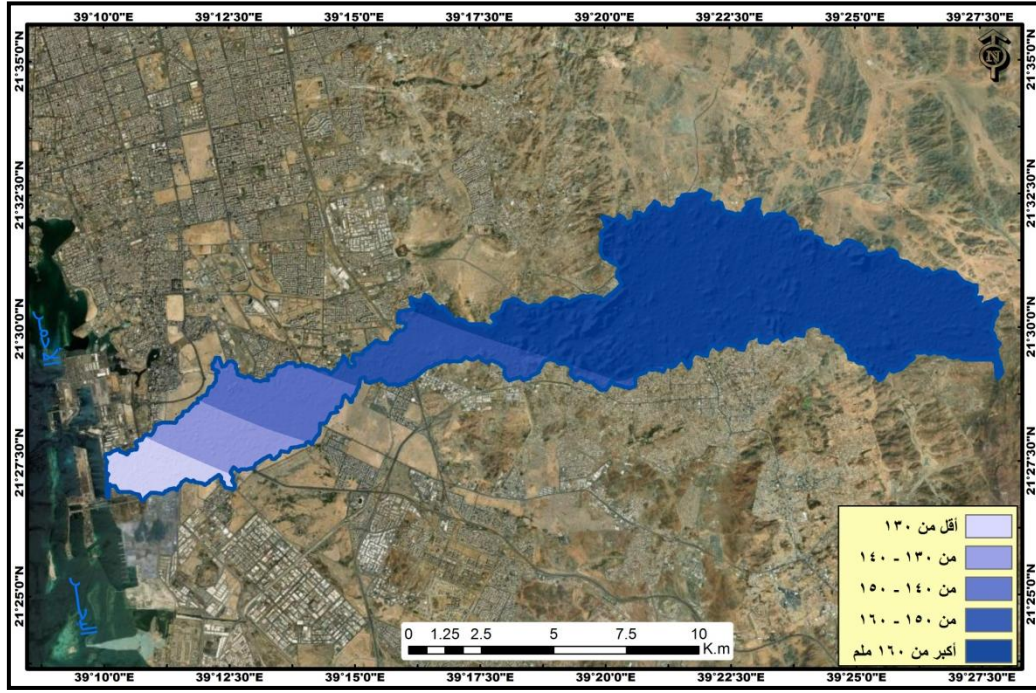
وتوضح نتائج تحليل عاصفة نوفمبر 2018 تراوح كمية الامطار التي تعرض لها الحوض ما بين 90.6 - 163.1 ملم وبمتوسط بلغ 137.7 ملم/24 ساعة، وتبين نتائج توزيع امطار هذه العاصفة (الشكل 6) ضعف مخاطرها على المنشآت السكنية في الحوض بسبب تركيز نطاقات الامطار الغزيرة وسط الحوض، وعليه تقع المنطقة التي تجاوزت كمية امطارها 155 ملم/24 ساعة جنوب وسط الحوض بمساحة 11.77 كم² بنسبة 12.45% من اجمالي مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تتراوح امطارها ما بين 140 - 155 ملم/ 24 ساعة شمال وسط الحوض بمساحة 34.33 كم² بنسبة 36.34% من اجمالي مساحة الحوض. وتغطي المنطقة التي تراوحت كمية امطارها ما بين 125 - 140 ملم/24 ساعة وسط أعلى ووسط أدنى الحوض، بمساحة 32.45 كم² بنسبة 35.23% من اجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة حيث الأمطار فيها ما بين 110 - 125 ملم/24 ساعة أدنى وأعلى وسط الحوض بمساحة بلغت 9.82 كم² بنسبة 10.4% من اجمالي مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تقل امطارها عن 110 ملم/24 ساعة أعلى الحوض بمساحة بلغت 6.1 كم² بنسبة 6.45% من اجمالي مساحة الحوض.



الشكل 6. عاصفة امطار (3 / 11 / 2018م)

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر، (GPM)، موقع ناسا، بيانات مناخ الأرض.

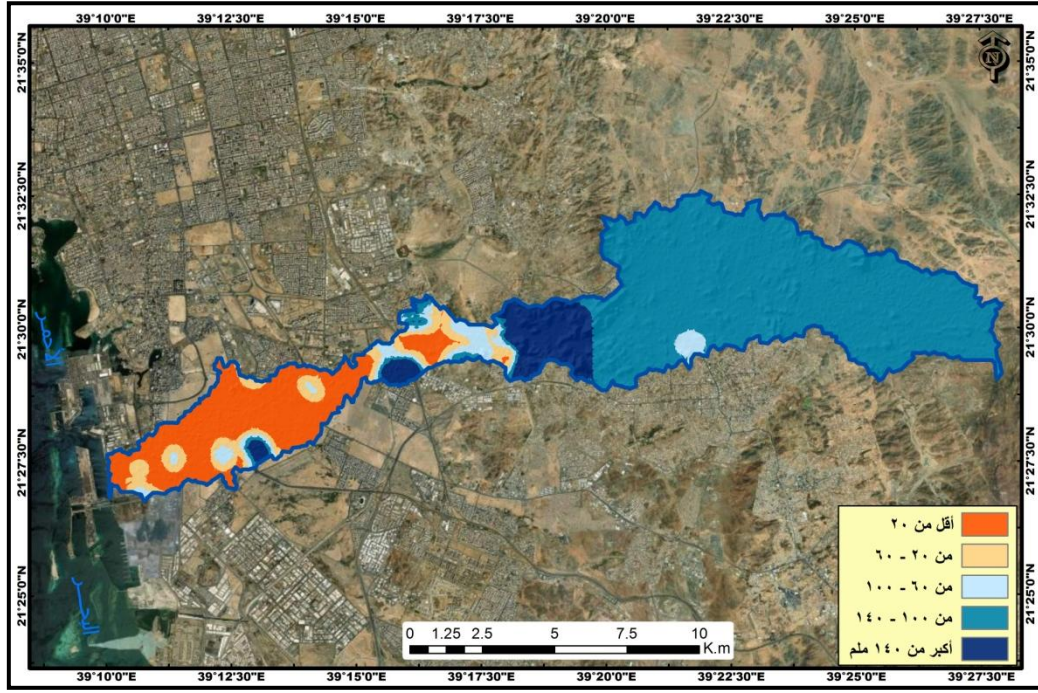
وتبين نتائج تحليل عاصفة نوفمبر 2022 م تراوح كمية الامطار التي تعرض لها الحوض ما بين 116.6 - 170.4 ملم بمتوسط بلغ 157.1 ملم/24 ساعة، وسوف تعتمد الدراسة في تقدير حجم ومخاطر الجريان في الحوض بناء على متوسط هذه العاصفة. وعليه تظهر نتائج تصنيف أمطار هذه العاصفة (الشكل 7) شدة مخاطرها على المنشآت السكنية والسكان في الحوض بسبب تركيز نطاق الأمطار الغزيرة حيث تتجاوز الكمية 160 ملم/24 ساعة بمساحة 64.27 كم² بنسبة 28.02% من اجمالي المساحة اعلى حوض وادي قوس. وتظهر المنطقة التي تتراوح كمية امطارها ما بين 160 - 150 ملم/ 24 ساعة وسط الحوض بمساحة بلغت 9.63 كم² بنسبة 10.19% من اجمالي مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تراوحت امطارها ما بين 140 - 150 ملم/ 24 ساعة وسط أدنى الحوض بمساحة بلغت 8.66 كم² بنسبة 9.16% من اجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة حيث كمية الأمطار ما بين 130 - 140 ملم/24 ساعة أدنى وسط الحوض بمساحة بلغت 6.86 كم² بنسبة 7.26% من اجمالي مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تقل امطارها عن 130 ملم/24 ساعة عند مخرج الحوض بمساحة بلغت 5.07 كم² بنسبة 5.37% من اجمالي مساحة الحوض.



الشكل 7. عاصفة أمطار (2022 /11 /24م)

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر، (GPM)، موقع ناسا، بيانات مناخ الأرض.

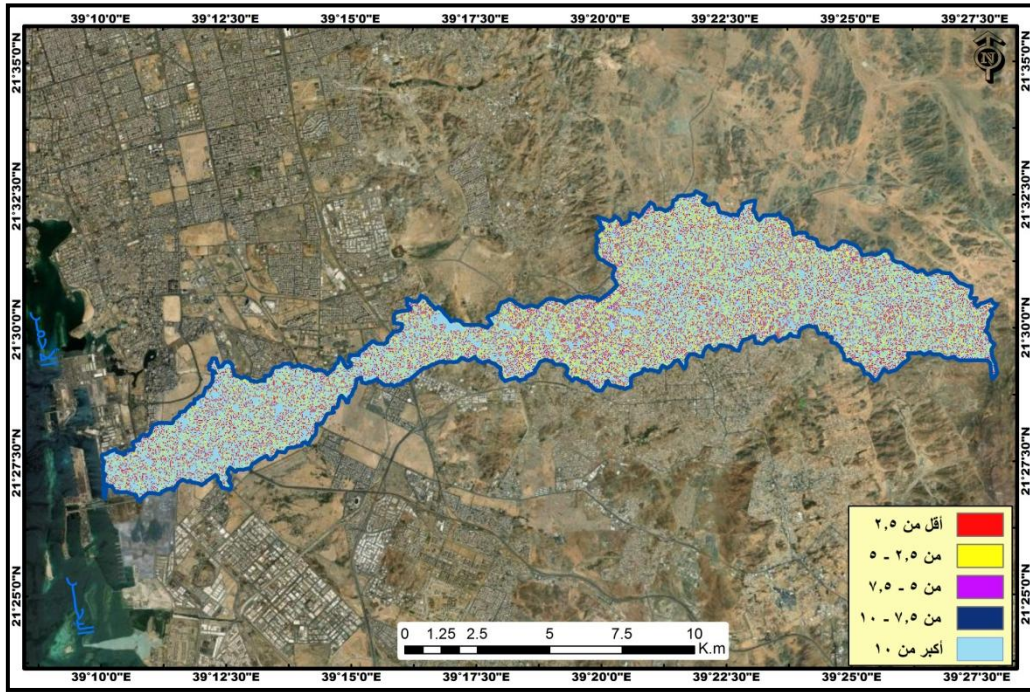
هـ) الرطوبة المسبقة للتربة: تعتبر رطوبة التربة المسبقة من أهم محددات استخلاص قيم ارقام منحني الجريان السطحي (CN)، فارتفاع الرطوبة تعني تقليل تسرب المياه وسرعة تولد الجريان السطحي وزيادة مخاطره، وعليه تظهر نتائج تحليل الرطوبة المسبقة للتربة قبل حدوث عاصفة 2022 بخمسة أيام، والتي ستعتمد الدراسة على متوسطها في تقدير الجريان السطحي ومخاطرة في الحوض، تراوحت الرطوبة المسبقة ما بين 0 - 254.8 ملم بمتوسط مكاني على مستوى الحوض بلغ 46.5 ملم، وتظهر نتائج تصنيف رطوبة التربة المسبقة (الشكل 8) شدة مخاطر الجريان السطحي على المنشآت السكنية ضمن حدود الحوض، بسبب تركيز انطقة الرطوبة العالية بمساحة كبيرة اعلى ووسط الحوض، وعليه تظهر المنطقة التي تجاوزت رطوبة تربتها 140 ملم وسط وجنوب الحوض بمساحة 8.32 كم² بنسبة 8.81% من اجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتراوح رطوبة تربتها ما بين 100 - 140 ملم أعلى الحوض بمساحة بلغت 58.1 كم² بنسبة 61.5% من اجمالي مساحة الحوض. وتبرز المنطقة التي تراوحت رطوبة تربتها ما بين 60 - 100 ملم جنوب ووسط أدنى الحوض بمساحة بلغت 4.38 كم² بنسبة 4.68% من اجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي تراوحت رطوبة تربتها ما بين 20 - 60 ملم تقع وسط وأدنى الحوض بمساحة بلغت 5.64 كم² بنسبة 5.97% من اجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي تقل رطوبة تربتها عن 20 ملم تقع أدنى الحوض بمساحة بلغت 18.03 كم² بنسبة 19.8% من اجمالي مساحة الحوض.



الشكل 8. الرطوبة المسبقة للتربة في الحوض (2022 /11 /23م)

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات رطوبة التربة نموذج (FLDAS)، موقع ناسا، بيانات مناخ الأرض. وكثافة التربة الظاهرية، المركز الدولي لمعلومات التربة، دقة مكانية 240م.

في المقابل توصلت نتائج تحليل مؤشر الرطوبة الطبوغرافية للحوض الى انه تراوحت قيمة المؤشر ما بين 1.54 حيث التضاريس شديدة الجفاف وتعمل على تأخر توليد الجريان، و 15.42 في المناطق التي تتسم برطوبة عالية للتضاريس، والتي تعمل على توليد الجريان السطحي بسرعة وتعزز من مخاطره بمتوسط مكاني للحوض بلغ 7.95، وتبين نتائج تصنيف مؤشر رطوبة التضاريس (الشكل 9) أن غالبية تضاريس الحوض تتسم برطوبة طبوغرافية تتجاوز الـ 10 وقد وصلت مساحتها 66.2 كم² بنسبة 70.07% من اجمالي المساحة. بينما تبلغ مساحة المنطقة التي تتراوح رطوبة تضاريسها ما بين 10 - 7.5 نحو 0.052 كم² بنسبة 0.05% من مساحة الحوض. ومساحة المنطقة التي تتراوح رطوبة تضاريسها ما بين 7.5 - 5 حوالي 1.02 كم² بنسبة 1.07% من المساحة. والمنطقة التي تراوحت رطوبة تضاريسها ما بين 5 - 2.5 حوالي 13.1 كم² بنسبة 13.86% من مساحة الحوض. بينما بلغت مساحة المنطقة التي تقل رطوبة تضاريسها عن 2.5 بنحو 14.12 كم² بنسبة 14.95% من اجمالي مساحة الحوض.



الشكل 9. مؤشر الرطوبة الطبوغرافية في الحوض.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على دالة (Topographic Wetness Index)، برنامج (QGIS). ونموذج ارتفاع رقمي للقمم (SRTM).

و) أرقام منحني الجريان السطحي: رقم منحني الجريان السطحي (CN) معلمة تجريبية تستخدم في علم المياه للتنبؤ بالجريان السطحي المباشر أو التسلسل من فائض هطول الأمطار، وهي طريقة تجريبية للجريان السطحي طورتها خدمة صيانة الموارد الطبيعية لوزارة الزراعة الأمريكية (USDA)، وكانت تعرف سابقاً بمصلحة صيانة التربة (SCS)، وتقدر فائض هطول الأمطار كدالة لعمق هطول الأمطار التراكمي ومجموعة التربة الهيدرولوجية واستخدام الأرض ورطوبة التربة السابقة، وتستخرج قيم (CN) كما يبين جدول (1) من جداول خاصة بمصلحة صيانة الموارد الطبيعية لوزارة الزراعة الأمريكية بناء على الحالة المعتدلة لرطوبة التربة والاعتماد على اغطية الارض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة.

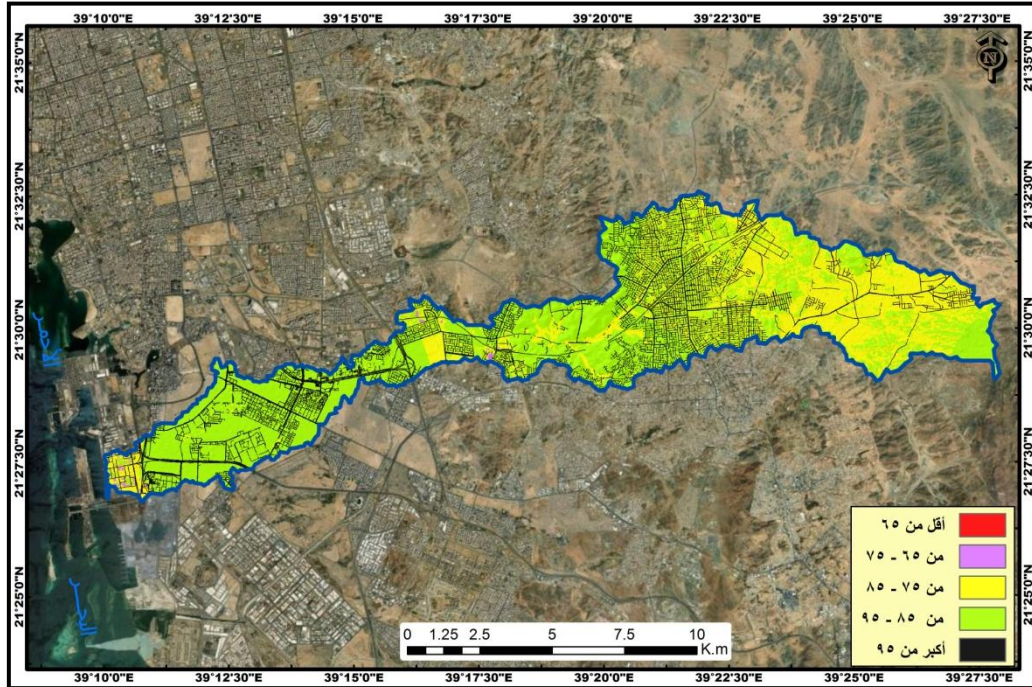
جدول 1: الأرقام المنحنية على مستوى الخلايا في الحوض.

المجموعة الهيدرولوجية للتربة				نوع اغطية واستعمالات الأرض
D	C	B	A	
98	98	98	98	الطرق
95	94	92	89	المباني
82	76	67	-	زراعة
88	85	77	63	غطاء نباتي
90	88	83	74	رواسب
94	91	86	77	صخور

المصدر (USDA, 1986).

وتبين نتائج تحليل توزيع قيم (CN) تراوحها ما بين 63 في المناطق التي تتسم بارتفاع معدل تسرب الامطار وقلة تولد الجريان، و 98 في المناطق التي تتسم بتحويل غالبية مياه الامطار الى جريان بمتوسط مكاني على مستوى الحوض بلغ 86.2. ويظهر الشكل (10) انخفاض مساحة قيمة الارقام المنحنية اقل من 85 والتي تبلغ مساحتها 27.66 بنسبة 29.28% من مساحة الحوض. وتتسع مساحة القيمة من 85 فأكبر لتصل مساحتها الى 66.75 بنسبة 70.72% من اجمالي مساحة الحوض. وتعكس هذه النتائج مدى خطورة الجريان السطحي على المنشآت العمرانية في الحوض. وتأتي

على مستوى القيم المفردة في المرتبة الأولى القيمة 83 بمساحة بلغت 23.55 كم² بنسبة 24.95% من اجمالي مساحة الحوض. وبعدها القيمة 98 التي تعتبر اكثرها في تحويل الامطار الى جريان سطحي بمساحة بلغت 15.67 كم² بنسبة 16.6% من اجمالي مساحة الحوض. وفي المرتبة الثالثة جاءت القيمة 90 التي تعزز من مخاطر الجريان سطحي بمساحة بلغت 11.37 كم² بنسبة 12.05% من اجمالي مساحة الحوض. وجاءت القيمة 63 التي تعتبر أقل القيم في توليد الجريان بمساحة بلغت 0.0042 كم² بنسبة 0.004% من اجمالي مساحة الحوض.

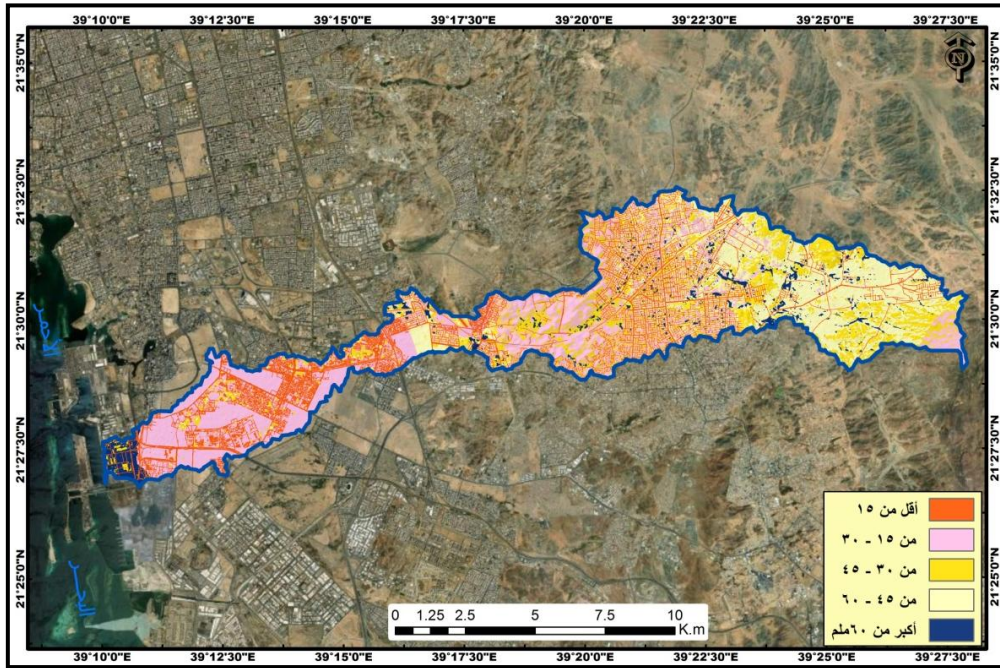


الشكل 10. توزيع الأرقام المنحنية للجريان في الحوض

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الخريطين (2، 4).

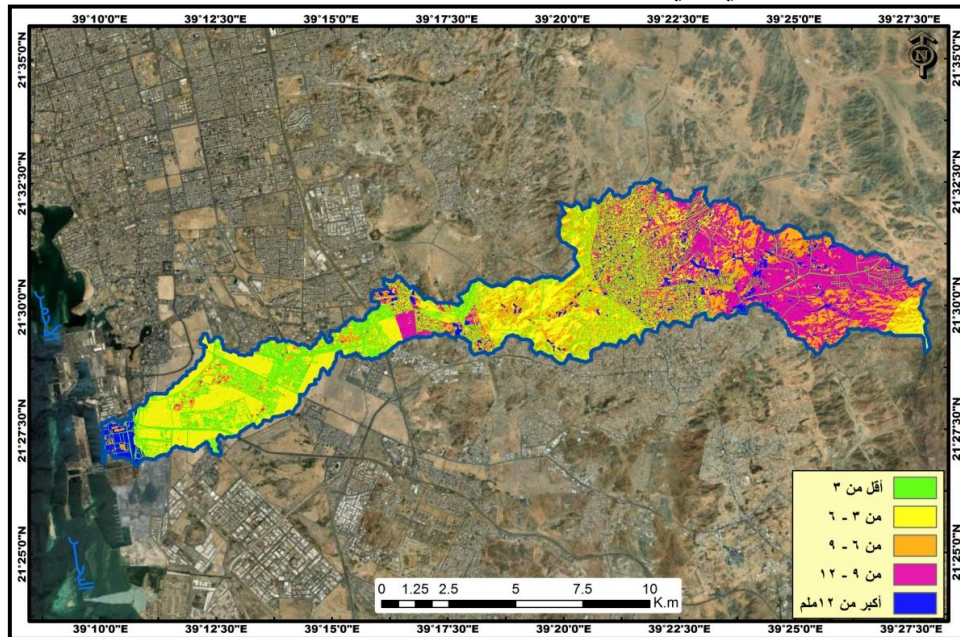
(ز) مؤشر احتفاظ التربة بالماء: تتصف علاقة امكانية التربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي بقيم (CN) بالعكسية، فكلما زادت قيم الارقام المنحنية حيث الطرق والمباني وغيرها تقل قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء والعكس صحيح، وتتراوح قيم قدرة تربة الحوض على الاحتفاظ بالماء ما بين 5.2 ملم بمناطق الطرق ضمن مختلف المجموعات الهيدرولوجية للتربة، و 149.2 ملم بمناطق انتشار الغطاء النباتي ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A) بمتوسط مكاني للحوض بلغ 44.87 ملم. وتتأثر قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بهطول الأمطار ونوع التربة واستخدام الأرض والتضاريس (Rao et al., 2010).

ويوضح الشكل (11) وقوع المناطق التي تتصف بقدرة عالية على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان أعلى الحوض حيث لا تزال الاغطية الطبيعية سائدة بصورة كبيرة، ونقل قدرة التربة على الاحتفاظ بالاتجاه نحو الاستعمالات البشرية للأرض بمدينة جدة، وعليه، فإن مساحة المنطقة التي تقل قدرتها على الاحتفاظ بالماء عن 15 ملم تبلغ 18.65 كم² بنسبة 19.74% من اجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي تتراوح قدرتها على الاحتفاظ بالماء ما بين 15 - 30 ملم نحو 30.12 كم² بنسبة 31.9% من اجمالي مساحة الحوض. أما المنطقة التي تتراوح قدرتها على الاحتفاظ بالماء بعد بداية الجريان ما بين 30 - 45 ملم فتبلغ 18 كم² بنسبة 19.07% من اجمالي مساحة الحوض. بينما تبلغ مساحة المنطقة التي تتراوح قدرتها على الاحتفاظ بالماء بين 45 - 60 ملم نحو 23.8 كم² بنسبة 25.24% من اجمالي مساحة الحوض. ومساحة المنطقة ذات القدرات التخزينية للمياه اعلى من 60 ملم نحو 3.82 كم² بنسبة 4.05% من اجمالي مساحة الحوض.



الشكل 11. مؤشر احتفاظ التربة بالماء بعد بدء الجريان في الحوض
المصدر: الباحثة بالاعتماد على معادلة امكانية احتفاظ التربة بالماء بعد بداية الجريان.

ح) المستخلصات الأولية: تعرف المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان في طريقة (NRCS-CN) بأنها جزء من عمق العاصفة الذي يبدأ الجريان السطحي بعده، وتتألف من اعتراض قطرات المطر والتسرب وتخزين المنخفضات السطحية، ويمكن حساب الاعتراض وتخزين المنخفضات باستخدام أغطية الارض وظروف السطح، وتحسب رياضياً بأنها تساوي خمس قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، وبالتالي يرتبط توزيعها طردياً مع تباين قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، ومما يؤكد ذلك ان المناطق التي تتصف بارتفاع قيم المستخلصات الأولية (الشكل 12) تقع أعلى الحوض حيث ترتفع امكانات التربة على الاحتفاظ بالماء، وتنخفض أدنى الحوض حيث تقل امكانيات التربة على الاحتفاظ بالماء، ويساهم نمط توزيعها من تقليل مخاطر السيول التي تأتي من أعلى الحوض.



الشكل (12) المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان في الحوض
المصدر: الباحثة بالاعتماد على معادلة المستخلصات الأولية قبل بداية الجريان.

ثانياً) تقييم مخاطر الجريان السطحي بنموذج (NRCS-CN) (جدول 2)

أ) تقدير عمق الجريان السطحي: اعتمدت الدراسة في تقدير الجريان السطحي ومخاطر على المتوسط المكاني لعاصفة (2022/11/24م) والذي بلغ 157.1 ملم. وقد أدى هذا الحدث الذي تم تسجيله على أنه أشد هطول للأمطار في تاريخ المدينة، إلى حدوث فيضانات مفاجئة واسعة النطاق (Sofia et al., 2024).

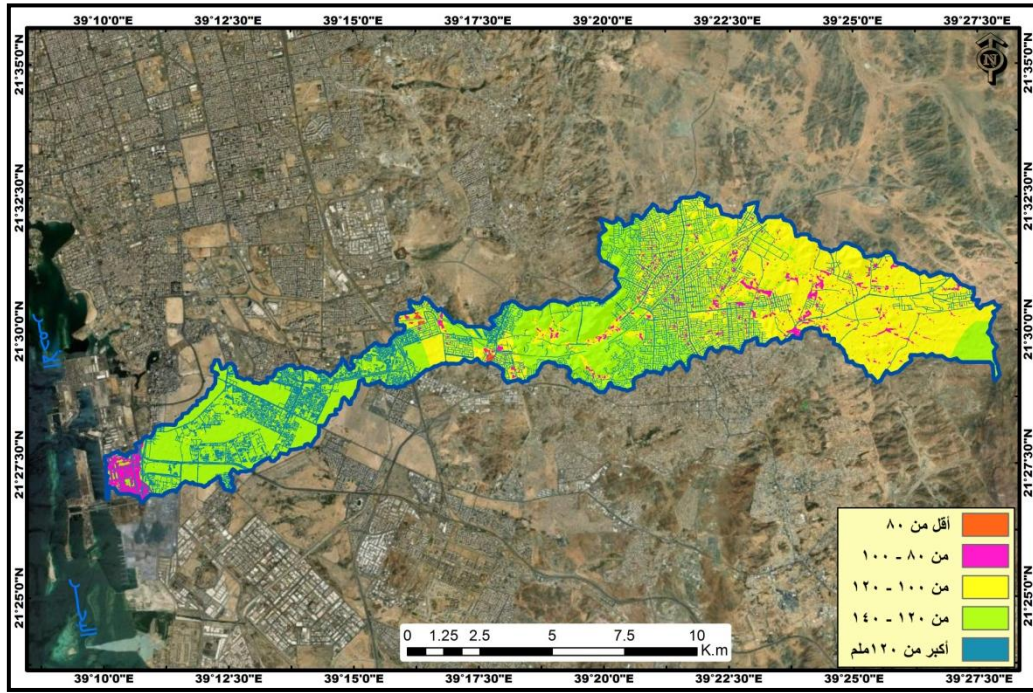
وبذلك توصلت نتائج تطبيق معادلة عمق الجريان حسب نموذج (NRCS-CN) تراوح عمق الجريان السطحي الناتج عن متوسط امطار هذه العاصفة بين 58.6 ملم بمناطق انتشار الغطاء النباتي ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، الى 151.05 ملم بمناطق تواجد الطرق ضمن مختلف المجموعات الهيدرولوجية للتربة، وبلغ المتوسط المكاني لعمق الجريان السطحي على مستوى الحوض 118.06 ملم، بما يعادل 75.15% من إجمالي متوسط كمية امطار العاصفة المطرية.

جدول 2: الخصائص الهيدرولوجية للحوض.

قيمة (CN)	امكانية التربة على الاحتفاظ بالماء (S)	المستخلصات الأولية (Ia)	عمق الجريان (Q)	عمق الجريان (QV)	ذروة التصريف (Qp)
63	149.18	29.84	58.59	246.08	9.74
67	125.1	25.03	67.84	7786.94	308.03
74	89.25	17.84865	84.87	19162.26	757.99
76	80.22	16.05	89.93	21320.96	843.38
77	75.87	15.18	92.49	300235.75	11876.2
82	55.76	11.16	105.61	28101.49	1111.59
83	52.03	10.4	108.29	2549567	100851.3
85	44.83	8.97	113.73	138129.3	5463.88
86	42.34	8.27	116.48	1254258	49613.75
88	34.64	6.93	122.03	702929.07	27805.25
89	31.4	6.27	124.84	32008.15	1266.122
90	28.23	5.65	127.67	1451680	57423.02
91	25.12	5.02	130.52	1071774	42395.35
92	22.09	4.42	133.39	742165.1	29357.28
94	16.22	3.25	139.19	689409.3	27270.45
95	13.37	2.68	142.13	421451.5	16671.04
98	5.19	1.04	151.05	2365398.93	93566.32

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الاشكال من (9، 10، 11، 12، 13).

ويوضح الشكل (13) وقوع المناطق التي تتصف بقدرة عالية على تحويل مياه الأمطار الى جريان أدنى ووسط أعلى حوض وادي قوس حيث ترتفع قيم الارقام المنحنية ونقل قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بمناطق انتشار الاستعمالات البشرية للأرض كالطرق والمباني، بينما تقع غالبية المناطق التي لديها قدرة منخفضة على تحويل مياه الأمطار الى جريان بمخرج وأعلى الحوض حيث تنخفض قيم الارقام المنحنية وترتفع معدلات التسرب وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بمناطق انتشار الغطاء النباتي والزراعي ضمن المجموعتين (A, B).



الشكل 13. عمق الجريان السطحي من متوسط أمطار عاصفة (2022 / 11 / 24).

المصدر: الباحثة بالاعتماد على معادلة عمق الجريان.

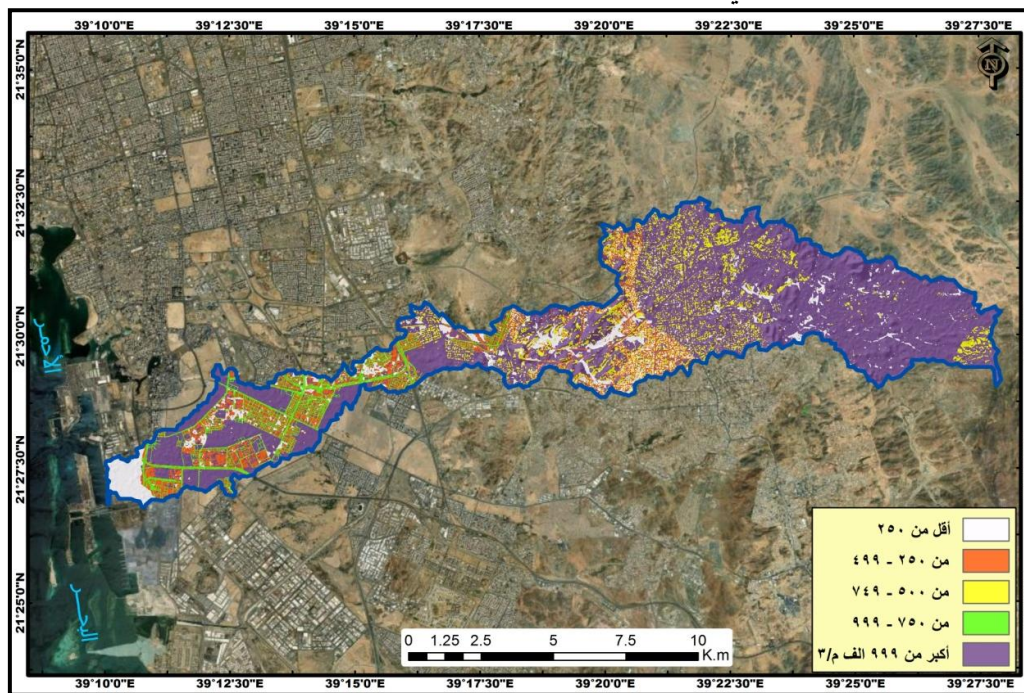
وتبلغ مساحة المنطقة التي يقل فيها عمق الجريان عن 80 ملم حوالي 0.119 كم² بنسبة 0.12% من إجمالي مساحة الحوض. ومساحة المنطقة التي يتراوح فيها عمق الجريان ما بين 80 - 100 ملم نحو 3.7 كم² بنسبة 3.93% من إجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي يتراوح فيها عمق الجريان ما بين 100 - 120 ملم تبلغ 35.8 كم² بنسبة 37.94% من إجمالي مساحة الحوض. وتصل مساحة المنطقة التي يتراوح فيها عمق الجريان ما بين 120 - 140 ملم نحو 36.12 كم² بنسبة 38.28% من إجمالي مساحة الحوض. وبلغت مساحة المنطقة التي يتجاوز فيها عمق الجريان 140 ملم نحو 18.65 كم² بنسبة 19.73% من إجمالي مساحة الحوض.

ب) حجم الجريان السطحي: اعتمدت الدراسة في تقدير حجم الجريان السطحي ومخاطره على المنشآت السكنية عند متوسط عاصفة (2022)، وبذلك توصلت نتائج تطبيق معادلة حجم الجريان الى تراوح حجم الجريان السطحي الناتج عن متوسط امطار هذه العاصفة ما بين 246.08 م³ بمناطق انتشار قيمة (CN) رقم 63، والتي تتركز بمناطق الغطاء النباتي ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، التي تتصف بقدرة عالية على تسريب وتخزين المياه، وتقلل من حجم الجريان السطحي، فضلا عن ذلك تتصف هذه القيمة بصغر مساحتها التي لا تتجاوز 0.0042 كم²، و 2365398.93 م³، بمناطق توزيع قيمة (CN) رقم 98، التي تمثل الطرق ضمن مختلف المجموعة الهيدرولوجية للتربة، التي تتسم بالصامتة وقلة تسريب وتخزين المياه، مما يتسبب في سرعة توليد وتضاعف حجم الجريان السطحي، وتبلغ مساحة هذا الرقم 15.66 كم²، وبلغ مجموع حجم الجريان السطحي 11795623.06 مليون م³، والمتوسط المكاني لحجم الجريان السطحي على مستوى الحوض 512853.18 مليون م³.

ويوضح الشكل (14) وقوع المنطقة التي يقل فيها حجم الجريان السطحي عن 250 الف م³، أدنى ووسط أعلى الحوض حيث قيم الارقام المنحنية (63، 67، 74، 76)، وجميعها تتسم بقدرة عالية للتربة على الاحتفاظ بالماء بمناطق انتشار الغطاء النباتي والزراعي والرواسب والعمران والطرق ضمن المجموعات الهيدرولوجية للتربة (A, B, C)، بمساحة بلغت 9.26 كم² بنسبة 9.82% من إجمالي مساحة الحوض، ويرجع انخفاض حجم الجريان بمناطق انتشار الغطاء النباتي

والزراعي والرواسب الى قدراته العالية على تسريب وتخزين مياه الامطار اما بمناطق وجود العمران والطرق فيرجع الى صغر مساحتها ضمن هذه المجموعات الهيدرولوجية للتربة. وتظهر المنطقة التي يتراوح فيها حجم الجريان السطحي بين 250 - 499 م³، بمناطق انتشار العمران والطرق ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (C, D)، ورغم ارتفاع قيمة الارقام المنحنية ضمن هذه الفئة (94، 95، 98)، إلا ان انخفاض حجم الجريان يرجع لصغر مساحة الأرقام ضمن المجموعتين والتي تبلغ 8.84 كم² بنسبة 9.36% من اجمالي مساحة الحوض.

وتبرز المنطقة التي يتراوح فيها حجم الجريان السطحي ما بين 500 - 749 م³، بمناطق انتشار الرواسب والمباني ضمن المجموعتين الهيدرولوجية للتربة (C,B)، حيث الارقام المنحنية (88، 92)، ويرجع اعتدال حجم الجريان السطحي رغم ارتفاع قيم الارقام المنحنية لمساحة الرقمين التي تمثل 9.8 كم² بنسبة 10.38% من اجمالي مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي يتراوح فيها حجم الجريان السطحي ما بين 750 - 999 م³، بمناطق وجود الطرق ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (D)، حيث ينتشر الرقم المنحني (98)، وبالتالي يرجع ارتفاع حجم الجريان بهذه الفئة رغم صغر مساحتها 5.22 كم² بنسبة 5.53% من اجمالي مساحة الحوض. وتغطي المنطقة التي يتجاوز حجم جريانها السطحي 999 م³، بمناطق وجود الصخور والطرق والرواسب ضمن المجموعات الهيدرولوجية للتربة (B, D)، ويرجع ارتفاع حجم الجريان بهذه الفئة رغم صغر بعض قيم الارقام المنحنية (83، 86، 90، 91، 98) الى المساحة الكبيرة 61.26 كم² بنسبة 64.92% من اجمالي مساحة الحوض.



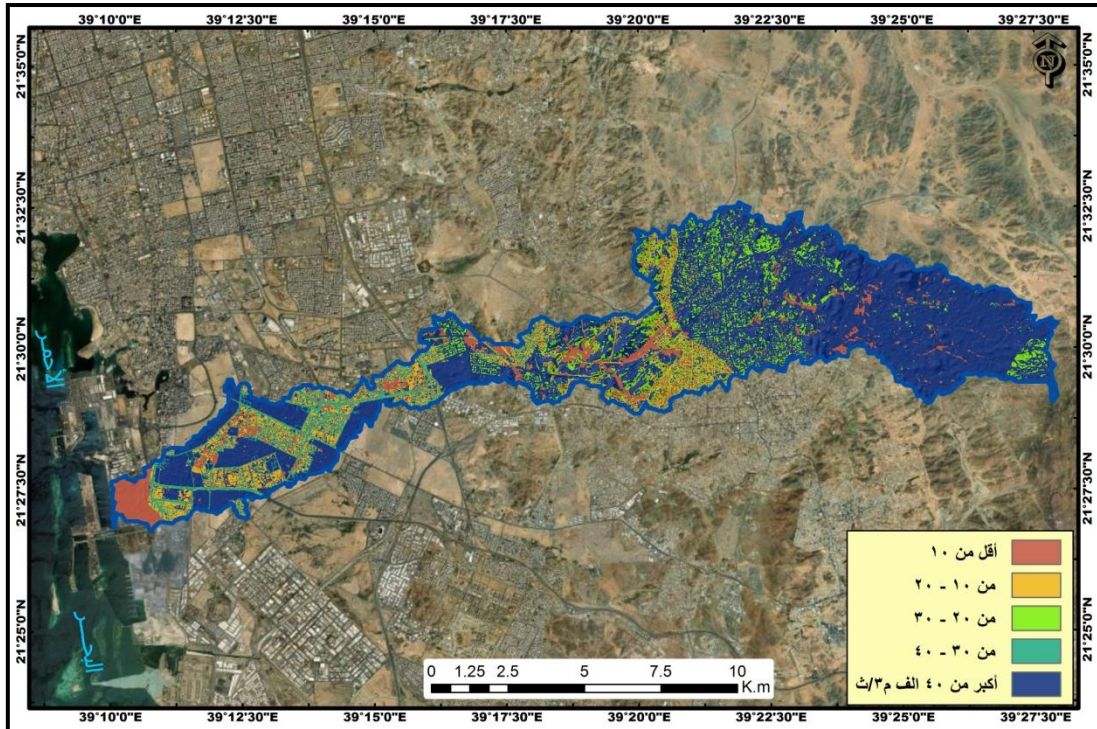
الشكل 14. حجم الجريان السطحي من متوسط أمطار عاصفة (2022 / 11 / 24).

المصدر: الباحثة بالاعتماد على معادلة حجم الجريان.

ج) ذروة تصريف الجريان السطحي: قبل حساب ذروة الجريان السطحي، كان لابد من حساب عدة معلمات تتدرج في تطبيق معادلة ذروة التصريف كزمن تركيز الجريان الذي تم حسابه بالاعتماد على متغيري طول المجري الرئيس 37740 م، وفارق ارتفاع مجرى القناة الرئيسة 220 م في الحوض، وعليه فقد بلغ زمن تركيز الجريان في الحوض 2.40 ساعة، كما حسبت معلمات أخرى تدخل في معادلة ذروة التصريف كزمن تدفق الذروة الذي بلغ 5.23 ساعة، والمسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله التي بلغت 22 كم، وفترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار وتعتمد على طبيعة الحوض وانحداره وقد بلغت 0.7 ساعة.

بناء على ذلك، توصلت نتائج تقدير مخاطر ذروة تصريف السيول على المنشآت السكنية في الجدول السابق (1)، تراوحت ذروة تدفق السيول في حوض وادي قوس ما بين 9.74 م³/ث بمناطق الغطاء النباتي ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، و 100851.3 م³/ث بمناطق الرواسب حيث المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B) بمتوسط مكاني على مستوى الحوض بلغ 20286.56 م³/ث.

ويظهر الشكل (15) وقوع المناطق التي تقل فيها ذروة تصريف السيول عن 10 ألف م³/ث، حيث توجد الأرقام المنحنية (63، 67، 74، 76، 82، 89، 98، 77، 85، 94) والتي تمثل كلاً من الغطاء النباتي ضمن مختلف المجموعات الهيدرولوجية للتربة (A)، والزراعة ضمن المجموعات الهيدرولوجية للتربة (B, C, D)، والرواسب ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، والعمران ضمن المجموعتين (A, C) والطرق والصخور ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، ويبلغ إجمالي ذروة التصريف بهذه الفئة 41129.22 ألف م³/ث.



الشكل 15. ذروة تصريف السيول من متوسط أمطار عاصفة (2022 / 11 / 24).

المصدر: الباحثة بالاعتماد على معادلة ذروة التصريف.

وتقع المناطق التي تتراوح فيها ذروة تصريف السيول ما بين 10 - 20 ألف م³/ث، حيث توجد الأرقام المنحنية (94، 95، 98) والتي تمثل مناطق انتشار الطرق ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (C)، والعمران والصخور ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (D)، ويبلغ إجمالي ذروة التصريف بهذه الفئة 50252.68 ألف م³/ث. وتبرز المناطق التي تتراوح فيها ذروة تصريف السيول ما بين 20 - 30 ألف م³/ث، حيث تنتشر الأرقام المنحنية (88، 92)، وتمثل القيمتان مناطق تطابق توزيع الرواسب ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (C)، والعمران ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B)، ويبلغ إجمالي ذروة تصريف السيول ضمن هذه الفئة 49775.82 ألف م³/ث.

وتغطي المناطق التي تتراوح فيها ذروة تصريف السيول ما بين 30 - 40 ألف م³/ث، مناطق رقم المنحني (98)، الذي يمثل مناطق تطابق توزيع الطرق مع المجموعة الهيدرولوجية للتربة (D)، ويبلغ إجمالي ذروة تصريف السيول بهذه الفئة 31179.02 ألف م³/ث. بينما تقع المناطق التي تتجاوز ذروة تصريف السيول فيها 40 ألف م³/ث، حيث توجد الأرقام المنحنية (83، 86، 90، 91، 98)، وتمثل هذه الأرقام مناطق تطابق توزيع الرواسب ضمن المجموعات

الهيدرولوجية للتربة (B, C)، والصخور مع المجموعات الهيدرولوجية للتربة (B, C)، والطرق ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B)، ويبلغ إجمالي ذروة تصريف السيول بهذه الفئة 294253.95 ألف م³/ث.

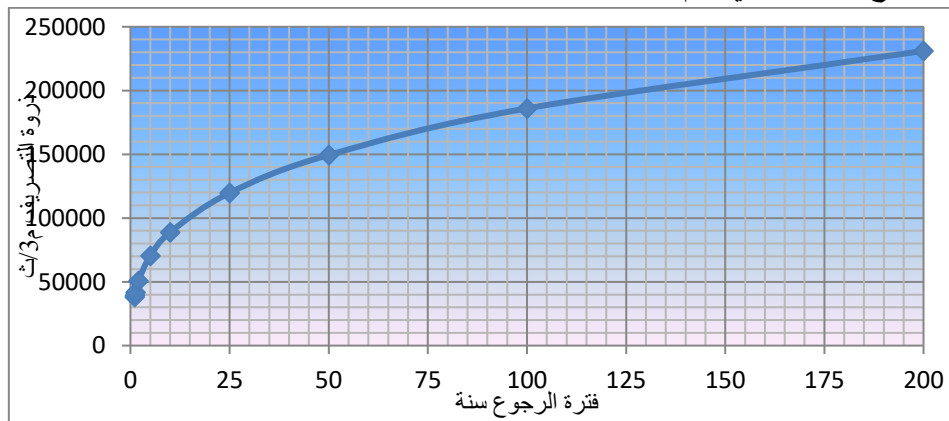
ويوضح الجدول (3) توقعات ذروة الفيضانات في الحوض لفترات رجوع مختلفة حسب منهجية جامبل (Gumbel Method) حيث يظهر الجدول امكانية تصاعد مخاطر ذروة التصريف على المنشآت السكنية والبنية التحتية والسكان في الحوض في ظل تحول اغطية الارض الطبيعية المنفذة لمياه الامطار الى أسطح مصمتة للمياه كالاستعمالات العمرانية والطرق وغيرها. وتبين نتائج معامل الارتباط عن وجود علاقة طردية تامة ذات دلالة احصائية عند مستوى (0.01)، مما يعني أن هذه العلاقة جوهريّة بنسبة ثقة تبلغ 99% بين متغيري فترات الرجوع وذروة التصريف في الحوض.

جدول 3: تقدير ذروة فيضان السيول حسب طريقة (جامبل) لفترات رجوع مختلفة.

i	فترة العودة (سنة)	نسبة الاحتمال (ty p)	التردد (K)	y = log (Q)	ذروة التصريف (m ³ /s)
1	1.05	95.2	-1.072	4.582	38169
2	1.11	90.1	-0.98	4.596	39427
3	1.25	80	-0.812	4.621	41831
4	2	50	-0.262	4.706	50772
5	5	20	0.666	4.848	70417
6	10	10	1.326	4.949	88870
7	25	4	2.172	5.078	119756
8	50	2	2.8	5.174	149443
9	100	1	3.421	5.27	185995
10	200	0.5	4.036	5.364	231070

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات ذروة التصريف في الجدول (2).

وتبين نتائج كامبل (الشكل 16) زيادة ذروة تصريف السيول في الحوض مع طول فترات الرجوع حيث من المتوقع ان ترتفع ذروة التصريف من 70417 م³/ث لفترة رجوع 5 سنوات عام 2027، باعتبار ان ذروة التصريف معتمدة على عاصفة حدث 2022، وسوف تزداد الذروة عام 2032 لفترة رجوع 10 سنوات الى 88870 م³/ث، ويحتمل ان ترتفع الى 119756 م³/ث لفترة رجوع 25 سنة أي عام 2047م، والى 149443 م³/ث خلال فترة رجوع 50 سنة أي عام 2072م، ويتوقع ان ترتفع الى 185995 م³/ث خلال فترة رجوع 100 سنة أي عام 2122م، كما يحتمل زيادتها الى 231070 م³/ث خلال فترة رجوع 200 سنة أي عام 2222.



الشكل 16. احتمالية ذروة تصريف السيول في الحوض لفترات رجوع مختلفة.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الجدول (2).

استنتاجات وتوصيات الدراسة

يعتبر حوض وادي قوس واحداً من عدة أحواض صرف رئيسة تسكب مياه الأمطار نحو العمران الحضري لمدينة جدة مما تسبب في تكرار أحداث الفيضانات المفاجئة في السنوات الأخيرة، ويعد متوسط قيم الارقام المنحنية (CN) والذي

يبلغ 86.2 من الأرقام العالية التي يمكن ان تترتب عليه فيضانات كبيرة في حالة العواصف الشديدة خلال مدة قصيرة، ورافق ذلك انخفاض متوسط قدرة التربة على تخزين المياه في الحوض بعد بدء الجريان عن المتوسط 50% حيث بلغت 44.87، وكذلك انخفاض المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان 8.97، وارتفاع متوسط عمق الجريان السطحي 118.06 ملم، بنسبة 75.15% من إجمالي امطار هذه العاصفة تتحول الى جريان سطحي، وارتفاع بمتوسط حجم جريان الحوض 512853.17 م^3 ، ومتوسط ذروة التصريف في الحوض $20286.56 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، واتجاه ذروة تصريف السيول في الحوض نحو الزيادة بين مدة وأخرى بسبب تغير أغطية واستعمالات الارض مما يضاعف من مخاطر الفيضانات مستقبلاً.

وبذلك توصي الدراسة بتوجيه التوسعات العمرانية في المدينة بعيدا عن مجاري الاودية ومصباتها، وإجراء المزيد من البحوث العلمية في مجال النمذجة الهيدرولوجية الحضرية، وإدارة الفيضانات والتحكم في مخاطرها، لما لذلك من أهمية في حماية سكان المدينة والبنية التحتية والمدنية فيها، وتوصي الدراسة بنمذجة ومحاكاة مخاطر الفيضانات في الحوض القائمة على القرار متعدد المعايير الذي يدمج متغيرات المناخ واستخدام الأرض في الحوض، وضرورة تبني بناء او توليد نماذج متعددة المعايير لحوض الدراسة، بما يعزز من نتائج هذه الدراسة ويحد من مخاطر الفيضانات، وتتي نماذج للتنبؤ بتغيرات الامطار ومخاطر الفيضانات في الحوض، بما يمكن السلطات من إصدار تحذيرات قبل حدوث الفيضانات بوقت طويل، يسمح للسكان باتخاذ تدابير احترازية، وللطوارئ بحشد الموارد بشكل فعال.

وتوصي الدراسة ببناء قنوات مناسبة تقلل من مخاطر تدفق ذروة الفيضانات، وتساعد على تصريف مياه السيول من مجاري الأودية نحو البحر، وإنشاء أنفاق في الجزء الأدنى من الحوض لتجنب مخاطر الفيضانات على الطرق، وصيانة وتنظيف قنوات تصريف السيول من تراكم الرواسب. ونظراً لإمكانات تكرار حوادث الفيضانات المفاجئة وسط وادنى حوض وادي قوس، توصي الدراسة بإنشاء محطات الأمطار اليومية وأنظمة الانذار المبكر لتحذر السكان من الابتعاد عن المناطق الخطرة قبل وصول الفيضانات المفاجئة اليها.

المصادر

- Abdulrazzak, M., Elfeki, A., Kamis, A., Kassab, M., Alamri, N., Chaabani, A. and Noor, K., 2019. Flash flood risk assessment in urban arid environment: Case study of Taibah and Islamic universities' campuses, Medina, Kingdom of Saudi Arabia. *Geomat. Nat. Hazards Risk*, 10, pp. 780–796. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1545705>.
- Ali, A.B. and Ameer, F., 2018. An Assessment of Jeddah's Hydraulic Protection and Management Systems of Flood. *Open Access Library Journal*, 5, 1-15. DOI: 10.4236/oalib.1104288.
- Carter, R.W., 1961. Magnitude and frequency of floods in suburban areas. *US Geological Survey Professional Paper*, 424, pp. 9–11. <https://www.scirp.org/reference/> .
- Ebrahimian, M., Nuruddin, A.A.B., Soom, M.A.B.M., Sood, A.M. and Neng, L.J., 2012. Runoff estimation in steep slope watershed with standard and slope-adjusted curve number methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(5), pp. 1191–1202. <https://www.pjoes.com/pdf>.
- Eniyew, S., Meshesha, D.T., Zeleke, G.A. and Wassie, S.B., 2024. Combining geospatial information and SCS-CN for surface runoff estimation in Rib watershed, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Geometrics, Natural hazards and Risk*, 15(1), pp. 1-23. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2338533> .
- Farran, M.M., Elfeki, A., Elhag, M. and Chaabani, A., 2021. A comparative study of the estimation methods for NRCS curve number of natural arid basins and the impact on

- flash flood predications. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (2), pp. 1–23. DOI:[10.1007/s12517-020-06341-3](https://doi.org/10.1007/s12517-020-06341-3).
- Ghanem, M.A.A.N. and Zaifoglu, H., 2024. A geospatial analysis of flood risk zones in Cyprus: insights from statistical and multi-criteria decision analysis methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, pp. 32875–32900. DOI: [10.1007/s11356-024-33391-x](https://doi.org/10.1007/s11356-024-33391-x).
- Gupta, L. and Dixit, J., 2022. Estimation of rainfall-induced surface runoff for the Assam region, India, using the GIS-based NRCS-CN method. *Journal of Maps*, 18(2), pp. 428–440. <https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2076624>.
- Hussain Shah, S. M., Yassin, M.A. Abba, S.I., 2023. Flood Risk and Vulnerability from a Changing Climate Perspective: An Overview Focusing on Flash Floods and Associated Hazards in Jeddah, *Water*, 15, 1-18. <https://doi.org/10.3390/w15203641>.
- Khalil, R., 2018. Flood Risk Code Mapping Using Multi-Criteria Assessment, *Journal of Geographic Information System*, 10, 686-698. DOI:[10.4236/jgis.2018.106035](https://doi.org/10.4236/jgis.2018.106035).
- Kumari, R., Mayoor, M., Mahapatra, S., Parhi, P.K. and Singh, H.P., 2019. Estimation of rainfall-runoff relationship and correlation of runoff with infiltration capacity and temperature over East Singhbhum District of Jharkhand. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(2), 461. DOI:[10.35940/ijrte.B3216.129219](https://doi.org/10.35940/ijrte.B3216.129219).
- Ledraa, T.A. and Al-Ghamdi, A.M., 2020. Planning and Management Issues and Challenges of Flash Flooding Disasters in Saudi Arabia: The Case of Riyadh City. *J. Archit. Plan*, 32, 155–171. DOI:[10.33948/JAP-KSU-32-1-6](https://doi.org/10.33948/JAP-KSU-32-1-6).
- Ministry of Agriculture and Water, 1986. Land Investment Management, Natural Resources Atlas, Riyadh.
- NRCS, 1997. Ponds-Planning, Design, Construction Agriculture Handbook No. 590. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, US Government Printing Office, Washington, DC, USA. <https://nrcspad.sc.egov.usda.gov/>.
- Raghunath, H.M., 2006. Hydrology: Principles, Analysis and Design. New Age International. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/>.
- Rao, K.N., Narendra, K. and Latha, P.S., 2010. An integrated study of geospatial information technologies for surface runoff estimation in an agricultural watershed, India. *J Indian Soc Remote Sens*. 38 (2), 255–267. DOI:[10.1007/s12524-010-0032-8](https://doi.org/10.1007/s12524-010-0032-8).
- Saran, S., Sterk, G., Aggarwal, S.P. and Dadhwal, V. K., 2021. Coupling remote sensing and GIS with KINEROS2 model for spatially distributed runoff modeling in a Himalayan watershed. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(5), 1121–1139. DOI:[10.1007/s12524-020-01295-1](https://doi.org/10.1007/s12524-020-01295-1).
- Salam, A.A., 2013. Population and Household Census, Kingdom of Saudi Arabia 2010: Facts and Figures. *International Journal of Humanities and Social Science*, 3, 258-263. <https://www.researchgate.net/publication/>.
- Sofia, G., Yang, Q., Shen, X., Mitu, M.F., Patlakas, P., Chaniotis, I., Kallos, A., Alomary, M.A., Alzahrani, S.S., Christidis, Z. and Emmanouil, A., 2024. Nationwide Flood Forecasting System for Saudi Arabia: Insights from the Jeddah 2022 Event. *Water*, 16, 1-26. <https://doi.org/10.3390/w16141939>.
- Zhang, W.Y., 2019. Application of NRCS-CN method for estimation of watershed runoff and disaster risk. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10 (1), 2220–2238.



التطور والتغير الجيومورفولوجي للمنحدرات والالتواءات النهرية في رافد الزاب الكبير بين الحدود العراقية التركية وسد ديرالوك

عامر محمود احمد العبيدي^{1*} ، حسين علي رشيد المزوري² ،
^{1,2} قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة الموصل، نينوى، العراق.

المخلص

تضمنت هذه الدراسة التغير والتطور الجيومورفولوجي للمنحدرات والالتواءات النهرية لنهر الزاب الكبير في منطقة الدراسة الواقعة في محافظة دهوك والممتدة ما بين الحدود العراقية التركية والى سد ديرالوك، وتم التركيز على التغير الحاصل في المنحدرات والالتواءات النهرية بين مدد زمنية ممتدة ما بين عام 1990 وعام 2020، وتم استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ومعطيات برنامج (Global Mapper)، واثبتت الدراسة ان هناك تغيرات وتطورات مورفومترية متباينة على طول المجرى النهري ولعبت العناصر المناخية دوراً مهماً في تغيير المظهر الارضي اذ ان تذبذب الامطار ما بين سنة واخرى أثر على معدلات المناسيب والتصاريف المائية وعمليات النحت النهري في مجرى رافد الزاب الكبير وعلى فاعلية التعرية للأكتاف النهرية، فضلاً عن التباين في درجات الحرارة حيث يؤثر سلباً على الرافد متمثلاً بالتبخر، كلها عوامل أدت الى حدوث تغيرات في الاشكال الارضية.

معلومات الارشافة

تاريخ الاستلام: 19- يوليو -2024

تاريخ المراجعة: 20- ديسمبر -2024

تاريخ القبول: 23- فبراير -2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل -2026

الكلمات المفتاحية:

تطور الشكل الأرضي،

تعرجات الأنهار،

نهر الزاب الكبير،

سد ديرالوك،

المراسلة:

الاسم: عامر محمود احمد العبيدي

Email:

Amer.mahmod@uomosul.edu.iq

Geomorphic Evolution and Changes of River Bends and Meanders in the Tributary of the Great Zab River Between the Iraqi-Turkish Borders and the Dereluk Dam

Amer Mahmoud Ahmed Al-Obaidi ^{1*} , Hussein Ali Rasheed AL-Mzuory ² 

^{1,2}Department of Geography, College of Education for Human Sciences, University of Mosul, Nineveh, Iraq.

Article information

Received: 19- Jul -2024

Revised: 20- Aug -2024

Accepted: 23- Sep -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Geomorphic Evolution,
River Bends,
Great Zab River,
Dereluk Dam,

Correspondence:

Name: Amer Mahmoud Ahmed

Email

Amer.mahmod@uomosul.edu.iq

ABSTRACT

This study addresses the changes and geomorphological evolution of the bends and meanders of the Greater Zab River in the study area situated in Dohuk Governorate, extending between the Iraqi-Turkish border and the Dereluk Dam. The focus of the study is on analyzing the changes in bends and meanders of the river over a period extending from 1990 to 2020. Geographic Information System technique and data from the Global Mapper program are employed. The study demonstrates varying morphometric changes and developments along the riverfront. Climatic elements played an important role in altering the landscape. The fluctuation of rainfall from one year to another affected water levels and discharge rates, as well as river erosion processes in the course of the Great Zab tributary and the activity of erosion on riverbanks. Furthermore, the variation in temperature negatively influences the tributary, particularly through evaporation. All these factors have contributed to landform changes.

DOI:10.33899/injes.v26i2.56112, ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

يعد رافد الزاب الكبير (الأعلى) من أهم وأكبر الروافد التي تصب في نهر دجلة في الأراضي العراقية وهو ذو ميزة جيومورفولوجية تكاد تكون فريدة مقارنةً بباقي روافد نهر دجلة التي تعمل على التغيير المستمر للمجرى في منطقة الدراسة، ويرجع السبب في ذلك لانعدام السدود المقامة على رافد الزاب الكبير باستثناء سد ديرالوك الذي تم إنجازه حديثاً. وتعد المنعطفات والالتواءات النهرية من أهم المظاهر الجغرافية المثيرة للاهتمام لكونها تحدث مع تغيير مسار النهر، ويعد تشكل الالتواءات النهرية عملية طبيعية تحدث على مر الزمن بفعل عوامل متضافرة مع بعضها البعض بما في ذلك كمية التصريف المائية والتراكيب الجيولوجية والمناخية والبيئية، حيث النشاط الجيومورفولوجي مستمر وعلى طول المجرى النهرية، فضلاً عن كون نهر الزاب الكبير يجري في أراضٍ شديدة التضرس وهذا ما ينشط عمليات النحت النهرية، فضلاً عن وجود العديد من الاودية الموسمية التي تلقي بانواع من الحمولات كرواسب. كل هذه العوامل والعمليات تعمل على وجود الكثير من المظاهر التعرية والترسيبية، والتي يمكن تحديد تغيراتها الحاصلة عن طريق المرئيات الفضائية لأجل الكشف عن اسباب النشأة والتطور والتغير لهذه المظاهر الارضية وأثرها في توزيع الانشطة البشرية بالقرب من المجرى النهرية.

تتمثل مشكلة البحث حول أثر العوامل الطبيعية والبشرية على مورفولوجية التعرجات النهرية فضلاً عن دور التركيب الجيولوجي في تشكيل المظهر الأرضي الطبيعي للرافد، وما هو دور التقنيات الحديثة في التحليل المورفومتري والجيومورفي للمنطقة المدروسة حيث تعتبر النمذجة الحاسوبية أداة قوية وفعالة في دعم قرار استثمار وتنمية الموارد المائية في مناطق متعددة وتوفر الوسائل لتسهيل اختيار الحل الأمثل للمشاكل البيئية (Bety and Mahmoud, 2021)

تستند فرضية البحث على ان للخصائص الطبيعية والبشرية دوراً مهماً في تشكيل التعرجات النهرية، وان للجانب الجيولوجي دوراً مؤثراً في سلوك النهر. كما افترض الباحثان إمكانية قياس التغيرات المورفولوجية لمجرى النهر باعتماد التقنيات الحديثة والمرئيات الفضائية على وجه الخصوص.

ان الهدف الاساس للبحث هو الكشف عن التغيرات والتطورات الجيومورفولوجية للمنحدرات والالتواءات النهرية وما ينتج عنها من تغير وتطور في المظهر الارضي، ومدى تأثيره على الانشطة البشرية وكيف يمكن ان نقيّم المظهر الارضي مع وضع المؤهلات اللازمة لمنطقة الدراسة. كما يهدف البحث حول المنحدرات النهرية إلى فهم عمليات التشكيل والتطور التي تحدث في المنحدرات النهرية. يشمل البحث:

- فهم الديناميكيات الهيدرولوجية من خلال دراسة كيفية تأثير تدفق المياه وتضاريس النهر على تشكيل وتطور المنحدرات.

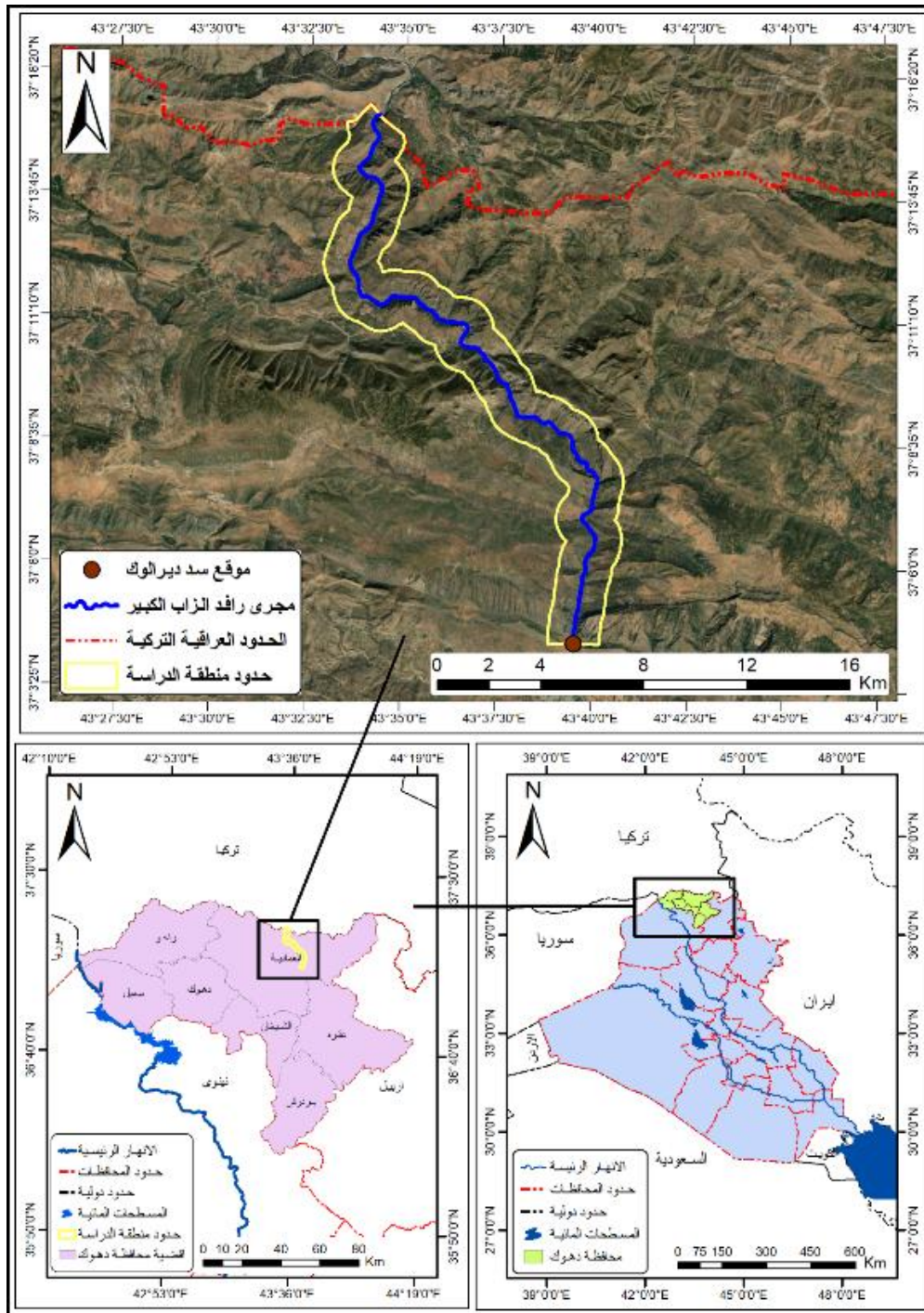
- تحليل التأثيرات البيئية بعد فحص مدى تأثير العوامل البيئية مثل التغيرات المناخية والتضاريس على استقرار المنحدرات والالتواءات النهرية.

- التعرف على التأثيرات الجيولوجية من خلال دراسة التكوينات الأرضية وأثرها في تشكيل المنحدرات والالتواءات النهرية.

- إدارة الموارد المائية وذلك بتحليل إمكانية استخدام المعرفة حول المنحدرات النهرية لتحسين إدارة الموارد المائية والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية.

موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة بين خطي طول ($43^{\circ} 32' 52''$ - $43^{\circ} 40' 47''$) شرقاً وبين دائرتي عرض ($37^{\circ} 07' 52''$ - $37^{\circ} 40' 23''$) شمالاً كما هو موضح في الخريطة (1) وبمساحتها البالغة (55.93 كم²) ضمن الحدود الادارية لمحافظة دهوك في شمالي العراق. تم الاعتماد في تحديد منطقة الدراسة على الحدود الادارية والطبيعية، حيث يحدها في اقصى الجهات الشمالية الحدود العراقية التركية وتتحدّر المنطقة نحو الجنوب في منطقة شديدة التضرس اذ يحدها جنوباً سد ديرالوك، اما حدودها الشرقية فقد ضمت العديد من المعالم الطبيعية متمثلة في حوض نهر فقير وجبل كاره وجبل بنية وجبل كوره زور، وحدودها الغربية شملت جبل زيبي وحوض وادي كاني ساسي وعين بونكي وجبل تورترين وجبل سيري اذ اعتبرت حداً طبيعياً. اما الامتداد الزمني للبحث فقد انحصر مابين عامي (1990-2020)، وكان الهدف من ذلك مراقبة التغيرات الجيومورفية التي ساهمت في تغير المنحدرات والالتواءات في المجرى النهرية.



خريطة 1. حدود منطقة الدراسة (المصدر: من عمل الباحث Esri, Maxar, Earthstar Geographic's, and the GIS User Community جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، شعبة GIS، خريطة العراق الإدارية لسنة 2012. ومخرجات برنامج ArcMap v10.8.1)

البيانات المستخدمة في البحث هي:

مرئيتان فضائيتان من القمر (Landsat 9-5) تم الحصول عليهما بتاريخ 2020-2-8 وتاريخ 1990-2-8 من موقع (USGS).

1. أنموذج الارتفاع الرقمي بدقة تمييزية (12.5) متر .
2. خارطة العراق الجيولوجية لسنة 2000 بمقياس 1/1000000، جمهورية العراق، وزارة الصناعة والمعادن، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين.

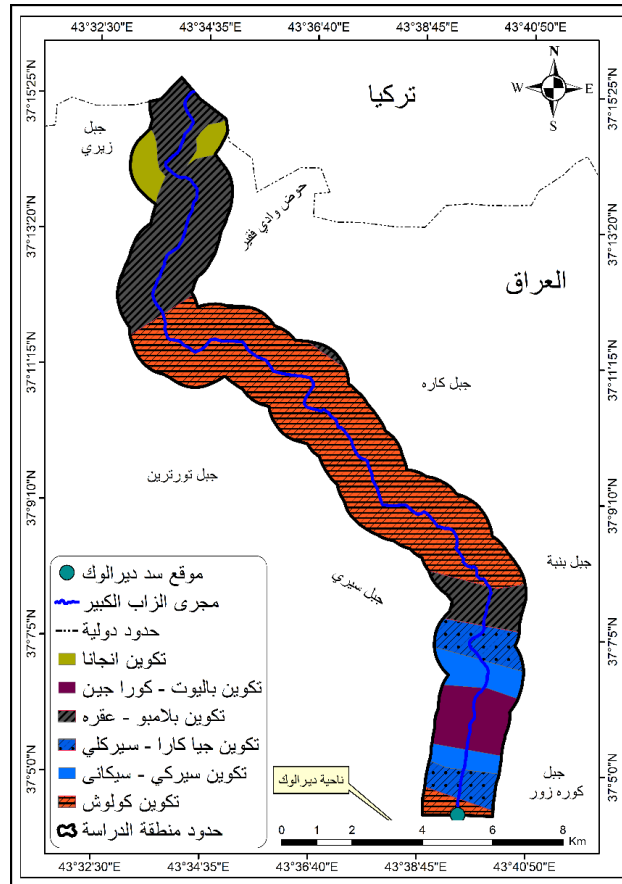
3. خارطة العراق الإدارية لسنة 2012، الجهاز المركزي للإحصاء، شعبة GIS.

جيولوجية منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة تكتونياً في نطاق الطيات العالية، وتلعب البنية الجيولوجية دوراً مهماً في مدى الاستجابة الهيدرولوجية لعمليات النحت والتعرية النهرية، لذلك تعتمد كمية الترسبات النهرية على حمولة النهر وكمية المياه الجارية، فتوجيه تدفق المياه في المجرى يتأثر بوجود العوائق كالصخور الصلبة والترسبات الكبيرة مما يؤدي الى انعطاف والتواء في المجرى النهري والذي يعتبر بداية نشوء المنحدرات والالتواءات النهرية (Joudeh, 2003). ولمعرفة اهم التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة يُنظر الى الخريطة (2) وجدول (1) وهي بإيجاز من الاقدم عمرا الى الاحدث كالاتي:

1. **تكوين انجانا:** يعود أصل هذا التكوين الى عصر المايوسين الأعلى، ويكون على شكل متدرج منتظم من الحبيبات الناعمة من الرمل الى الحبيبات الخشنة في الأعلى، ومن اهم مكوناته حجر المارل وحجر السلت وحجر الطين ذات اللون الرمادي او الأحمر (Al-Mzoury and Al-Omire, 2021) يعد أصغر تكوين مساحي في منطقة الدراسة بمساحة تبلغ (1.95 كم²) ونسبة مئوية تصل الى 3.49 %.

2. **تكوين باليوت - كورا جين:** يعود هذا التكوين الى العصر الترياسي الاعلى ويتكون من الحجر الجيري الرقيق وسمكه لا يتجاوز 50 متراً، فضلاً عن وجود صخور الدولوستون والصخر الزيتي الناعم بسمك يصل الى 35 متراً (Sissakian, 2013)، يشكل هذا التكوين نسبة ضئيلة 6.47% بمساحته البالغة (3.62 كم²) امتدت بنطاق ضيق بالقرب من جبل زيري وعند الحدود العراقية التركية.



خريطة 2. جيولوجية منطقة الدراسة (المصدر Republic of Iraq , State Establishment Of Geological Survey and Mining , Geological Map Of Kany Rash QUADRANGLE , Sheet NJ-38- 10 , Baghdad – Iraq , 1995 . ومخرجات برنامج ArcMap v10.8.1).

3. **تكوين بلامبو - عقرة:** يرجع الى العصر الطباشيري السفلي ويتكون من صخور جيرية ذات طبقات رقيقة يتداخل معها المارل الاخضر والصخور الزيتية الرقيقة فقط، يتراوح سمكها من 600-900 متراً، بلغت مساحة التكوين (15.37 كم²) بنسبة مساحية بلغت 27.48%، ويتوزع انتشاره في الجهات الشمالية من منطقة الدراسة.
4. **تكوين جيا كارا - سيركلي:** يحتوي هذا التكوين على احجار جيرية رقيقة وسجيل كلسي، ويعلو التكوين حجر جيري صلصالي يكون ممزوجاً مع سجيل، وتتكون الطبقات العليا من سجيل رملي، وشكلت مساحة التكوين (4.02 كم²) نسبة مساحية بلغت 7.20%.
5. **تكوين سيركي - سيكاني:** يعود هذا التكوين الى العصر الجوراسي المتوسط ويتكون من صخور جيرية وحجر جيري دولومائيتي تتداخل معه صخور غضارية، يتباين سمك التكوين ما بين (18 - 122) متراً (Al-Sayyab et al., 1982)، وتبلغ مساحته (3.05 كم²) وبنسبة مئوية بلغت 5.44%.
6. **تكوين كولوش:** تعود ترسبات هذا التكوين الى عصر الباليوسين ويمتد حتى نهاية عصر الايوسين الاسفل، يتكون من مجموعة من الصخور منها صخور السلت والسجيل والحجر الرملي والطيني بالإضافة الى حجر الصوان (Al-Brifkani et al., 2012)، بلغت مساحة هذا التكوين (27.92 كم²) بنسبة بلغت (49.91%) من مساحة منطقة الدراسة، وهي بهذه النسبة تكون اعلى وحدة مساحية أي انه التكوين السائد في منطقة الدراسة.

جدول 1: التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة (من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 2).

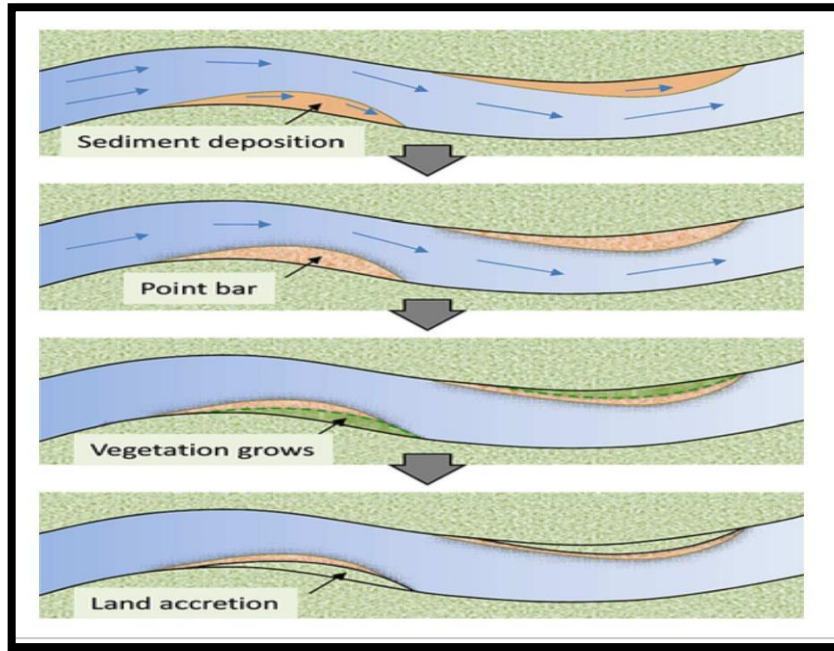
النسبة المئوية %	المساحة / كم ²	التكوين الجيولوجي
27.48	15.37	تكوين بلامبو - عقرة
6.47	3.62	تكوين باليوت - كورا جين
7.20	4.02	تكوين جيا كارا - سيركلي
5.44	3.05	تكوين سيركي - سيكاني
49.91	27.92	تكوين كولوش
3.49	1.95	تكوين انجانا
100	55.93	المجموع

التغيرات والتطورات في المنعطفات النهرية

تتشكل المنعطفات النهرية نتيجة لعدة عوامل، منها التآكل والترسيب (خريطة 1).

ويمكن تلخيص مراحل تكوين المنعطفات النهرية كالتالي (Joudeh, 2003):

1. **التآكل الأولي:** يبدأ بتآكل التربة والصخور على طول المجرى النهري بفعل التيار المائي والجاذبية الارضية.
2. **النحت النهري الجانبي:** يزداد حجم التآكل في الجهة الداخلية للمنعطف نتيجة للتآكل المستمر، مما يعزز عملية التعرية النهرية ويزيد من حجم المنعطف.
3. **الترسيب:** تتمثل المواد المنحلة والتي تم جلبها من الجهة الخارجية للمنعطف في ترسيب رواسب في الجهة الداخلية، مما يساهم في تثبيت وتشكيل المنعطف بشكل أكبر وهذه العمليات تتكرر بمرور الوقت، مما يؤدي إلى تكوين منعطفات نهرية طويلة ومعقدة.



شكل 1. تدرج التطور في الالتواءات والمنحدرات النهرية (Shimzu, Nelson, 2019)

التحليل المورفومتري للمجرى النهرى (طول، عرض، عمق)

يلعب المناخ دوراً مهماً في تشكيل المجرى النهرى، فالشتاء البارد والثلجي والصيف الطويل الدافئ والجاف هي السمات المناخية في كامل منطقة شمالي العراق (Bety, 2013). ان الدوران الثانوي وخاصة في الانحناءات المتعرجة يساعد على تحفيز التيار المائي بالترنح افقياً عبر القناة النهرية، وذلك عن طريق مزيج من قوتين الطرد المركزي للنهر وقوة التدرج بالضغط الجانبي للنهر، مما يؤدي التأثير الاول الى تراكم المياه المجاورة على الضفاف النهرية المتدفقة حول المنعطف ويسمى هذا التراكم ارتفاع المنسوب المائي، ومن ثم يؤدي الى انخفاض المنسوب المائي للنهر بشكل تدريجي وعلى جوانب القناة النهرية ويتم تحديد التغير النهرى عن طريق تغير المنسوب النهرى (Xie, 2021). يعاني رافد الزاب الكبير وعلى مدى عقود من الزمن من التجزئة النهرية، بمعنى ان النشاط النهرى يختلف ما بين منطقة واخرى وبشكل متزايد بسبب بناء سدود في داخل تركيا كسد اعالي الزاب شمال بلدة حكارى وسد سولوت الذي يقع في وادي بوبلاش وسد جالديران والذي يبعد 36 كم من طريق باشقلا - حكارى ويبلغ خزينه المائي (263) مليون م³ وسد حكارى الواقع بالقرب من طريق حكارى - جيكور وبخزن مائي بلغ (22) مليون م³ (Jaafar, 2013)، مما أثر سلباً على المناسيب المائية ومن ثم أثر في تنشيط العمليات الجيومورفولوجية.

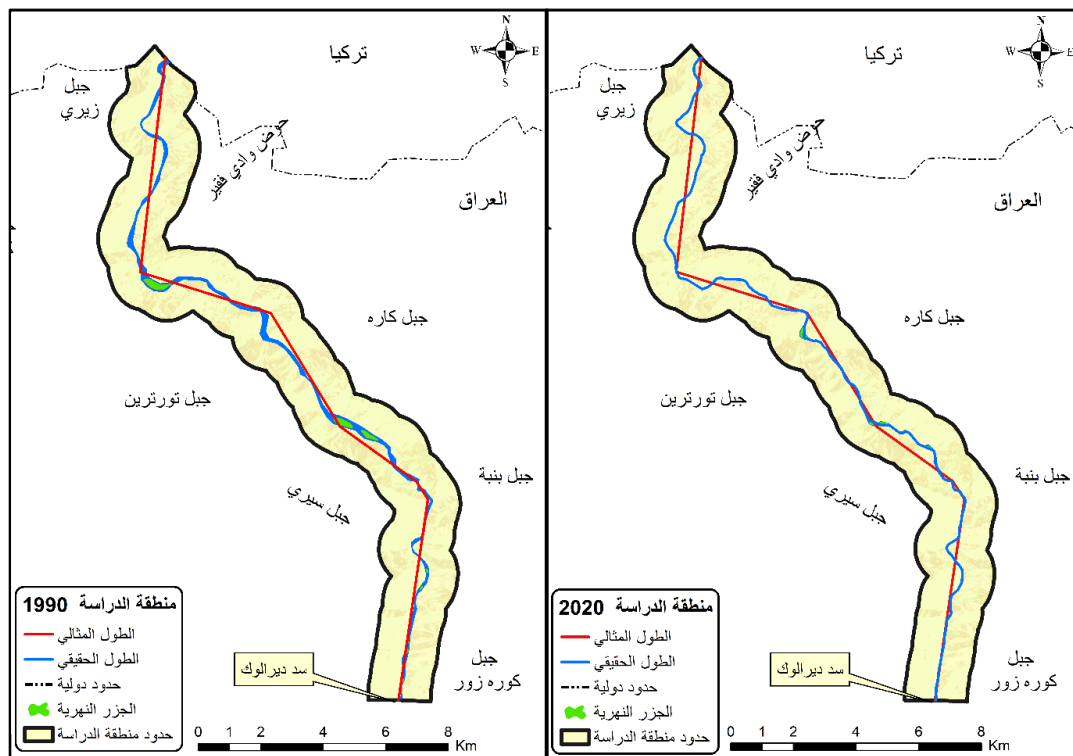
طول المجرى النهرى الحقيقي والمثالي خلال مدد زمنية مختلفة 1990-2020

خلال تحليل المرئية الفضائية للعام 1990 ومقارنتها مع المرئية الفضائية للعام 2020 واللذان تم الحصول عليهما من القمر (Landsat 9-5) بتاريخى 2020-2-8 و 1990-2-8 من موقع (USGS) تبين ان هناك تطور وتغير جيومورفولوجى، فالتطور هنا يشير للعمليات الطبيعية التي تشكل الأرض بشكل تدريجي على مر الزمن، اما التغير فهو التحولات الفعلية في هيكلية السطح الأرضى ويرتبط بالتأثيرات الطبيعية أو البشرية.

تلعب الظروف المناخية والمواقف الهيدرولوجية دوراً مهماً في تطور العمليات النهرية، مع الأخذ في الاعتبار خصائص الصخور، مما يؤدي في النهاية إلى تطوير وحدات مختلفة من أصل نهرى (Bety, 2013). فمن الواضح على الالتواءات والمنحدرات النهرية في اغلب الاجزاء النهرية للمجرى الرئيس أن بعض المواقع لم يطرأ عليها تغيير كبير في خصائصها

المورفومترية والمورفولوجية، وهذا يؤكد ان بعض الاجزاء في المجرى النهري اتخذت منعطفاتها والتواءاتها عمقاً عمودياً في صخور شديدة الصلابة، صعب على منعطفات والتواءات رافد الزاب الكبير ان تنحرف وتهاجر عن مجراه الرئيس، لذلك ناضل النهر في ارض جبلية وعرة ليشق مجراه نحو مصبه جنوباً.

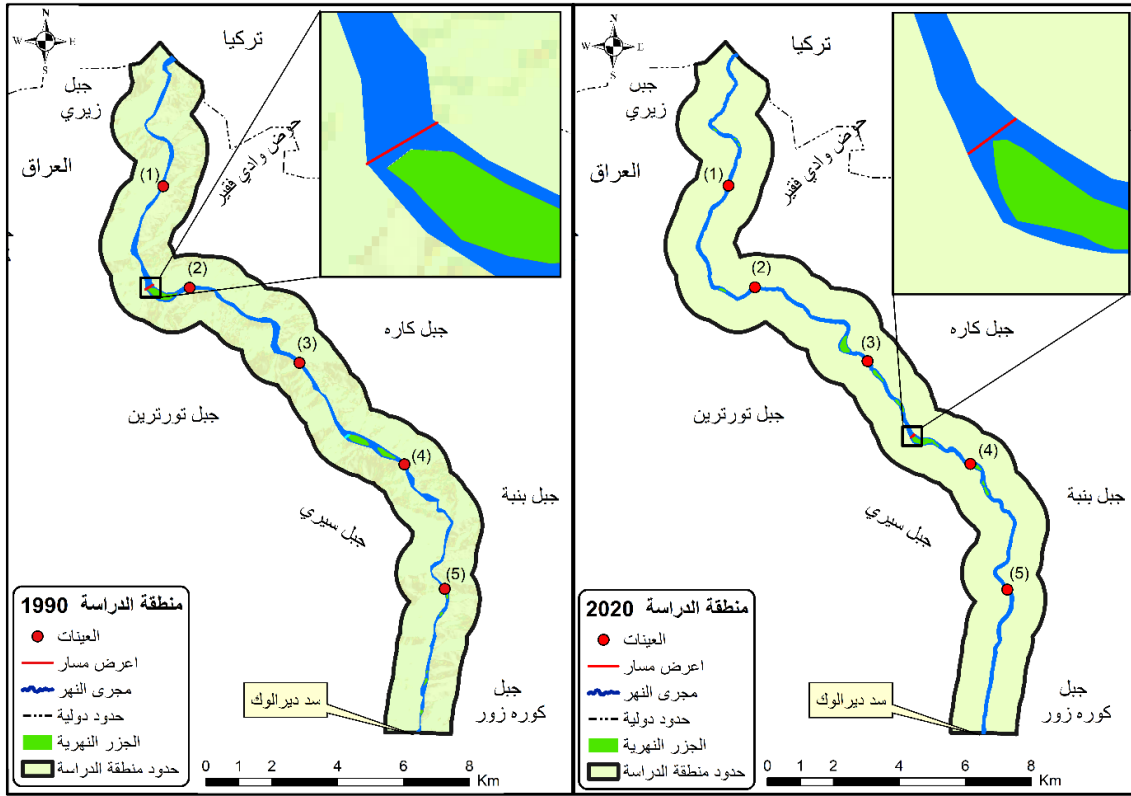
بلغ طول المجرى النهري الحقيقي لرافد الزاب الكبير المقاس بالاعتماد على خط التالوك من وسط النهر (29.60 كم)، وبلغ طوله المثالي (25.74 كم) في عام 1990 بنسبة تعرج بلغت (1.14 كم)، اما في عام 2020 فبلغ طوله الحقيقي (29.00 كم) وبطول مثالي بلغ (25.74 كم) بنسبة تعرج بلغت (1.12 كم)، لذلك تنطبق على النهر في منطقة الدراسة صفة الالتواء (الخريطة 3).



خريطة 3. الطول الحقيقي والطول المثالي لمجرى رافد الزاب الكبير لعامي (1990-2020) (المصدر: أُنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ، و مرئيتين فضائيتين من القمر (Landsat 9-5) تم الحصول عليهما بتاريخ 2020-2-8 و 1990-2-8 من موقع (USGS) ومخرجات برنامج (ArcMap v10.8.1).

بيانات عرض المجرى النهري الرئيس والمقاطع العرضية لمنطقة الدراسة لعامي 1990-2020

هناك تباين واضح في عرض النهر يشير إلى وجود تغيرات في عرض المجري النهري وعلى طول القناة النهرية ولكن بنسب متفاوتة من حيث تحليلها الافقي والعمودي، ويرجع سبب هذا التباين الى عوامل طبيعية تضاريسية ومناخية مجتمعة كالأمتار وتغير التدفقات المائية وقد يؤثر هذا التغير على الحياة النباتية والحيوانية، ويعود السبب في هذه التغيرات لعوامل بشرية ايضاً متمثلة بالتقيب عن الرمل والحصى، فضلا عن اقامة سد ديرالوك. تم اخذ العديد من العينات وعلى طول المجرى النهري باستخدام برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، وجميع القراءات سجلت تراجعاً ملحوظاً في عرض المجرى النهري للزاب الكبير وبفارق كبير، اذ تم تسجيل عرض نقطة بمقدار (264،00 متر) في عام 1990م، تناقصت الى (120،98 متر) في عام 2020م، وبفارق عرضي بلغ (143 متراً)، حيث سجل تغيراً في عرض المجرى النهري بشكل كبير (الجدول 2 والخريطة 4).



الخريطة 4. عينات عرض المجرى النهرية في منطقة الدراسة لعامي (1990 - 2020) (المصدر: أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ، ومرئيتين فضائيتين من القمر (LandSat 9-5) التي تم التقاطهما بتاريخ 2020-2-8 و 1990-2-8 من موقع (USGS) ومخرجات برنامج (ArcMap v10.8.1).

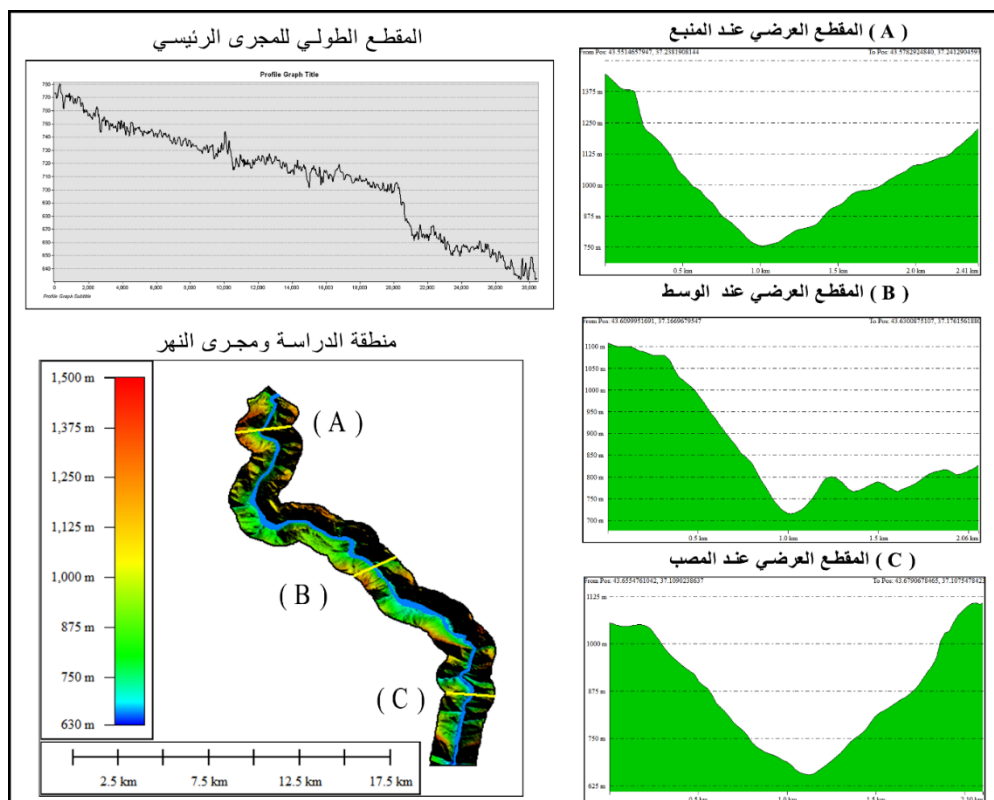
جدول 2: عينات عرض المجرى بالأمتار في منطقة الدراسة

2020	1990	العينات
48.96	130.52	1
27.97	110.07	2
23.99	109.01	3
49.71	118.28	4
46.88	100.25	5
120.98	264.01	أعرض نقطة

تم تقسيم المجرى النهرية الى ثلاث مقاطع بناءً على طبيعة التضاريس والخصائص الهيدرولوجية للنهر، وتم تحليل عرض المجرى واكتافه النهرية ووضع نتائج التغيرات العرضية في جدول (3) وخريطة (5) وكالاتي:

أ- المقطع الاول والذي أطلق عليه نقطة البداية: من خلال معطيات برنامج (Global Mapper) بلغ الطول الافقي للمقطع (2.405 كم)، تبين ان اعلى نقطه في المقطع العرضي بلغت (1444.692 متر) عن مستوى الاراضي المجاورة، بالقرب من دخوله الاراض العراقية-التركية، اما أدنى نقطة انخفاض فبلغت (755.09 متر)، وبفارق ارتفاع بلغ (689.59 متر)، وسجل انحدارا عاما بلغ (5.18 درجة)، واعلى انحدار له كان (69.88 درجة).

ب- المقطع الثاني والذي أطلق عليه نقطة الوسط: بلغ طول الخط المستقيم العرضي (2.055 كم)، سجل تباين واضح ما بين أعرق وأدنى نقطة، فكان ارتفاع اعلى نقطة (1107.9 متر)، وانخفض نقطة سجلت (715.4 متراً)، وبفارق بلغ (392.5 متراً)، وبانحدار عام بلغ (7.77 درجة)، وتم تسجيل اعلى انحدار سجل (40.16 درجة).



خريطة 5. عرض المجرى النهري بالأمتار في ثلاث مقاطع لرأفد الزاب الكبير لعام 2020 (المصدر: أنموذج الارتفاع الرقمي بدقة تمييزية (30) متر من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكي USGS برنامج ArcMap v10.8.1 و برنامج Global Mapper 23.1).

ت- المقطع الثالث والذي اطلق عليه نقطة النهاية: بلغ طول المقطع المدروس (2.103 كم)، وسجل اعلى ارتفاع بمقدار (1108,29 متراً)، وادنى ارتفاع بلغ (715,4 متراً)، وبفارق طولي بلغ (392.8 متراً)، وسجل انحدار عام بلغ (1.43 درجة) وسجل اعلى انحدار بمقدار (61.90 درجة)، ومن خلال تحليل بيانات المقاطع الثلاثة تبين ان هناك تنشيط في عملية النحت والتعرية النهريّة مع قلة الانحدار العام، تدريجياً كلما تقدمنا جنوباً ويرجع السبب لتغير التضاريس والجريان في مناطق اكثر اتساعاً وانبساطاً وقل انخفاضاً، اذ تبين من خلال تحليل المقاطع المدروسة ان منطقة الدراسة تمتاز بوجود بعض الانحدارات الشديدة، وتم تأكيد ذلك من خلال وجود تقارب في خطوط الكنتور وذلك لصغر المساحة الافقية بين خطوطها (Al-Dulaimi, 2001).

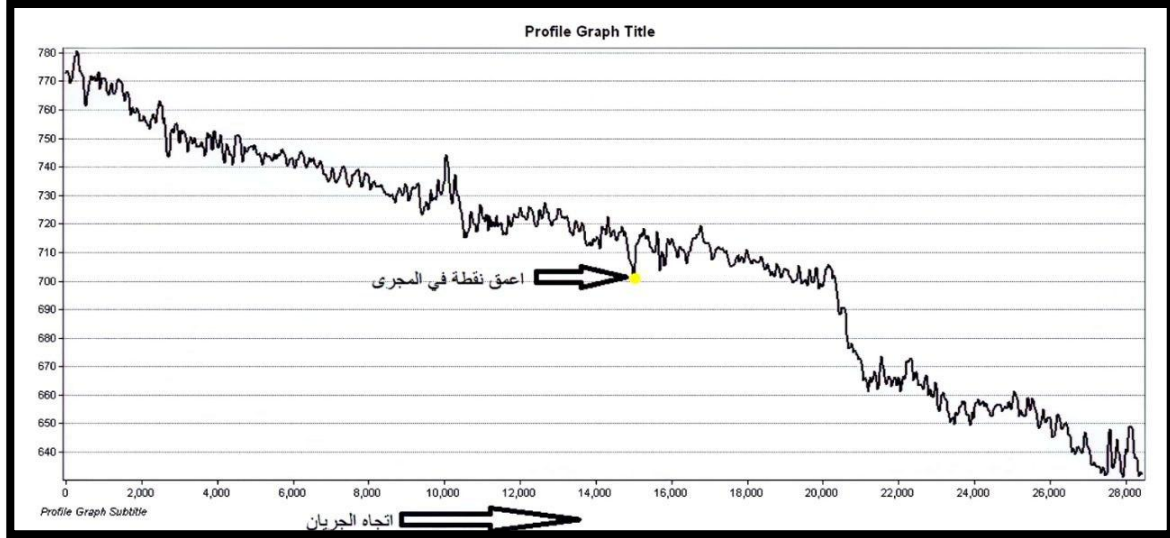
جدول 3. تفاصيل المقاطع العرضية المدروسة.

ت	تفاصيل المقاطع	المقطع الأول	المقطع الثاني	المقطع الثالث
1	مسافة عرض الخط المستقيم (كم)	2,405	2,055	2,103
2	اعلى تضرس في المقطع(متر)	1444,692	1107,9	1108,2
3	أدنى تضرس في المقطع(متر)	755,097	715,4	715,4
4	الفرق بين التضرسين (متر)	689,595	392,5	392,8
5	الانحدار العام(درجة)	5,18	7,77	1,43
6	اعلى انحدار (درجة)	69,88	40,16	61,90

قياس عمق المجرى النهري وتحليل العمق على طول المجرى النهري في عام 2020

هناك تباين في مجرى رافد الزاب الكبير ما بين منطقة واخرى وعلى طول امتداد النهر (الشكل 2)، ويرجع ذلك لوجود معوقات تواجه النهر قد تكون ظاهرة للعيان كالجزر النهريّة او قد تكون مغمورة ترتبط بطبيعة التركيب الجيولوجي للمجرى

المائي، وتتضافر الجهود مجتمعة من اجل احداث تغير وتطور للعمق النهري وبشكل متباين، تم تسجيل اعلى نقطة (780 متراً) عن مستوى سطح البحر في المجرى البالغ طوله (28 كم) في بداية دخوله الاراضي العراقية ولمسافة (500 متراً)، وسجل عند وسط النهر ارتفاعا بلغ (744 متراً) عند مسافة (10 كم)، اما ادنى ارتفاع لقاع المجرى النهري سجل (630 متراً) عند مسافة (28 كم) بالقرب من سد ديرالوك، هذا حسب معطيات نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM-12,5m)، اما اعرق نقطه في المجرى النهري فقد كانت عند مسافة (14,5 كم) اي عند المنتصف وسجل عمق (20 متراً) عن مستوى الاراضي المجاورة للنهر .



الشكل 2. يبين عمق وسط المجرى النهري لرافد الزاب الكبير (المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) من موقع USGS ومخرجات برنامج ArcMap v10.8.1).

التطورات والتغيرات المورفومترية للمنحدرات والالتواءات ومناطق الاستقامة النهرية خلال مدد زمنية مختلفة 1990-2020

1- تحليل مورفولوجية المنحدرات النهرية بين عامي 1990-2020

أ- تغير المنحدرات والالتواءات النهرية في منطقة الدراسة: يعتبر تغير المنحدرات النهرية من الظواهر الجيومورفية الأكثر تغيراً في الأبعاد المورفومترية للمجرى النهري لرافد الزاب الكبير وان التغير والتطور الحاصل فيها هو نتاج لتنشيط عمليتي النحت والارساب النهري في القناة النهرية، وتكتمل عملية تشكيل المنعطف والالتواء النهري خلال مرحلة الشباب والشيخوخة النهرية (Mahsoob, 2021).

ب- معيار دالة التعرج: هي عملية حسابية يتم تطبيقها عملياً لمعرفة نوع التعرج في الجزء الثانوي من المجرى النهري الرئيس ومن خلال تحليل ناتج المعادلة التي جاء بها (Smith and Stop, 1978) يمكن معرفة نوعه إذا كان منعطفاً او التواءاً او مستقيماً وهذا نص المعادلة:

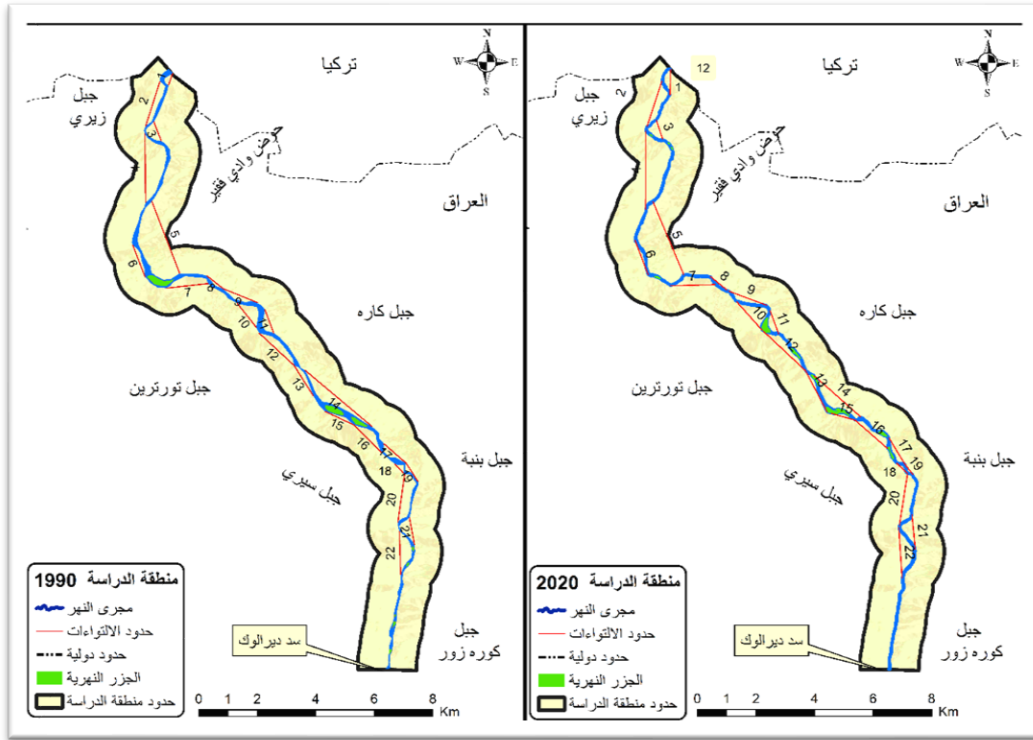
$$\text{دالة التعرج} = \frac{\text{الطول الحقيقي}}{\text{الطول المثالي}}$$

فاذا كان ناتج المعادلة اقل من 1.1 فان المجرى مستقيم، اما إذا كان ما بين (1.1-1.4) فإن المجرى ملتو، وإذا كان الناتج (1.5) فاكثر فهو منعطف (Smith and Stop, 1978).

يتبين من خلال تطبيق المعادلة ان المنعطف يكون أكبر من الالتواء حسب ناتج المعادلة. وطبقت معادلة دالة الانعطاف على كل تعرج في مجرى رافد الزاب الكبير وذلك لمعرفة حقائق المجرى النهري والاستعانة بالمرئيات الفضائية لعامي (1990-2020) وخلال مدة زمنية بلغت (30 عاما)، وذلك من اجل بيان صفة التطور والتغير الحاصل في كل تعرج نهري (الخريطة 6 والجدول 4).

الخريطة

6.



الالتواءات والمنعطفات ومناطق الاستقامة النهرية في منطقة الدراسة (المصدر: أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومرئيتين فضائيتين من القمر (LandSat 9-5) التي تم التقاطهما بتاريخ 2020-2-8 وتاريخ 1990-2-8 من موقع (USGS) ومخرجات برنامج ArcMap (v10.8.1).

2- تحليل نسبة التعرج في المجرى النهري الرئيس للمنحطات والالتواءات ومناطق الاستقامة النهرية لعامي 1990 و2020:

تم اعطاء ارقام لكل تعرج نهري ما بين مدد الدراسة وهناك تطابق بالأرقام من حيث العدد والمكان لكل تعرج خلال عامي (1990 و2020) فضلا عن تسميتها وبحسب قربها وقرب موجة الانعطافات للتعرجات للمناطق الجبلية (الخريطة 6 وجدول 4) حيث وضعت النتائج كالآتي:

أ- هناك تباين واضح في حجم التعرج الذي يحمل الرقم (1) والذي يسمى بمنعطف وادي فقير 1 (1)، فقد بلغ (1.58 كم) في عام 1990 وتتنطبق عليه صفة المنعطف هنا، ثم تناقص الى (1.19 كم) في عام 2020، وهو بذلك يحمل صفة الالتواء ويرجع سبب هذا التناقص في ناتج دالة التعرج الى التغير الحاصل في طول موجة الانعطاف، اذ كان طولها (432.25 متراً) في عام 1990 ثم ازدادت الى (879.59 متراً) عام 2020 وبفارق طولي بلغ (447.34 متراً) في موجة الانعطاف.

ب- وجود زيادة نسبية في التواء رقم (2) والذي يسمى بالتواء جبل زيري 1 وبلغت نسبة تعرجه (1.13 كم) عام 1990، ثم ارتفع الى (1.21 كم) في عام 2020، وبذلك بقت عليهما صفة الالتواء.

ت- سجل المنعطف رقم (3) والمسمى منعطف وادي فقير 2، ونسبة تعرجه بلغت (1.59 كم) في عام 1990، وازداد الى (1.69 كم) عام 2020 وبقي المنعطف محافظاً على صفته خلال مدد الدراسة وهي صفة المنعطف.

الجدول 4: الانعطافات والانواءات والمدى لسنة 1990 - 2020.

الانعطافات والانواءات والمدى لسنة 2020						الانعطافات والانواءات والمدى لسنة 1990					
النوع	قيمة الانعطاف والانواء	قيمة المدى / متر	الطول الحقيقي / متر	الطول المثالي / متر	ت	النوع	قيمة الانعطاف والانواء	قيمة المدى / متر	الطول الحقيقي / متر	الطول المثالي / متر	ت
التواء	1.19	241.53	1046.16	879.59	1	انعطاف	1.58	225.31	682.61	432.25	1
التواء	1.21	393.21	1975.26	1630.89	2	التواء	1.13	248.67	1796.33	1591.51	2
انعطاف	1.69	434.83	1158.27	687.01	3	انعطاف	1.59	367.16	1095.77	691.29	3
التواء	1.30	910.12	3483.75	2676.15	4	التواء	1.25	737.14	2938.89	2345.70	4
انعطاف	1.55	1081.92	4174.77	2701.01	5	انعطاف	1.51	960.05	3999.18	2642.25	5
مستقيم	1.03	118.93	1319.84	1279.09	6	مستقيم	1.04	141.41	1194.64	1145.53	6
التواء	1.18	349.32	1794.26	1524.33	7	التواء	1.17	341.17	1678.82	1437.35	7
مستقيم	1.03	84.79	735.49	717.18	8	مستقيم	1.03	88.64	729.15	706.62	8
مستقيم	1.02	215.11	1391.48	1364.24	9	مستقيم	1.06	185.48	1343.09	1267.62	9
التواء	1.48	627.91	1919.45	1298.85	10	التواء	1.35	450.89	1387.03	1025.18	10
التواء	1.29	273.66	1100.55	854.34	11	التواء	1.24	270.65	1052.87	851.44	11
التواء	1.11	290.87	2191.08	1970.95	12	مستقيم	1.07	262.08	1733.76	1620.54	12
مستقيم	1.03	143.76	1642.66	1589.81	13	مستقيم	1.04	148.74	1275.11	1225.48	13
التواء	1.17	447.95	2466.88	2115.42	14	مستقيم	1.05	447.56	3123.99	2963.05	14
مستقيم	0.89	125.14	896.49	1002.48	15	مستقيم	1.02	111.59	1096.04	1070.54	15
التواء	1.18	288.44	1724.29	1467.11	16	التواء	1.12	300.28	1471.24	1318.98	16
التواء	1.13	185.88	1172.72	1034.93	17	التواء	1.17	221.03	1169.01	1001.74	17
التواء	1.14	115.54	583.59	511.95	18	التواء	1.37	192.60	571.08	418.23	18
مستقيم	1.07	107.14	493.06	462.29	19	التواء	1.13	149.78	869.49	769.72	19
التواء	1.20	339.69	2135.88	1781.79	20	التواء	1.29	441.12	2121.11	1643.39	20
التواء	1.33	442.87	1572.57	1182.82	21	انعطاف	1.50	403.81	1409.31	936.43	21
التواء	1.20	459.57	2087.27	1735.21	22	التواء	1.18	407.54	1731.65	1469.09	22
		7678.17	37065.77	30467.45				7102.69	34470.17	28573.94	مجموع

ث- الصفة الناتجة للتعرج رقم (4) هي الالتواء والمسمى باسم التواء جبل زيري 2، بلغت دالته (1.25 كم) في عام 1990 وارتفعت الى (1.30 كم) عام 2020.

ج- من خلال تطبيق معادلة (Smith) تبين ان تعرج رقم (5) والذي يطلق عليه تسمية منعطف وادي فقير 3، ويحمل صفة المنعطف في عام 1990 بدالة تعرج بلغت (1.51 كم) بينما ازدادت الى (1.55 كم) في عام 2020 وبقي محافظاً على صفته كمنعطف خلال 30 عاماً.

ح- شهدت نسبة التعرج اختلافاً طفيفاً في تعرج رقم (6) والمسمى بتعرج جبل زيري 3، حيث بلغت دالة التعرج (1.04 كم) في سنة 1990، بينما بلغت (1.03 كم) في سنة 2020 ويطلق على هذا الجزء صفة المجرى المستقيم.

خ- تبين ان التواء رقم (7) ويطلق عليه تسمية التواء جبل تورترين 1 قد سجل ثباتاً في دالة تعرجه بلغ (1.17 كم) في عام 1990، بينما بلغ (1.18 كم) في عام 2020، وبذلك فان صفته هي مجرى ملتوٍ خلال مدد الدراسة.

د- سجل المقطع النهري رقم (8) ويطلق عليه تسمية تعرج جبل كاره 1 دالة تعرج بلغت (1.03 كم) في عام 1990، وسجل ثباتاً نسبياً في دالة التعرج بلغت (1.03 كم) في عام 2020، اتصف النهر هنا بصفة المجرى المستقيم والثبات في ضفاف النهر، وهذا يدل على ضعف عملية النحت النهري لكون الصخور في هذا الجزء شديدة الصلابة.

ذ- ثبت عملياً من خلال تطبيق معادلة دالة التعرج، ان الجزء النهري رقم (9) والمسمى بتعرج جبل كاره 2، بلغت الدالة (1.06 كم) في عام 1990 و (1.02 كم) في عام 2020، لذلك تبين ان صفة المجرى هو نهر مستقيم هنا حسب معطيات دالة التعرج.

ر- شكلت دالة التعرج في الالتواء رقم (10) والمسمى بالتواء جبل تورترين 2، قيمة وصلت الى (1.35 كم) في عام 1990 وازدادت الي (1.48 كم) في عام 2020، والصفة المكتسبة في المنطقتين هي صفة الالتواء النهري.

ز- بلغت دالة التعرج في التواء رقم (11) والذي يطلق عليه التواء جبل كاره 4 (1.24 كم) في عام 1990، اما في عام 2020 فقد بلغت (1.29 كم) وبفارق طفيف بلغ (0.05 كم)، وبذلك ينطبق عليه صفة الالتواء.

س- سجل المنعطف رقم (12) والمسمى بالتواء جبل تورترين 3 تغييراً واضحاً في دالة تعرجه والبالغة (1.07 كم) في سنة 1990، وبذلك تكون نسبته اقل من (1.1 كم) والذي يعتبر خطأً مستقيماً حسب التصنيف المعتمد، ولكن تنشيط العمل الجيومورفي طور المجرى النهري هنا الى ملتو بقيمة (1.11 كم) في عام 2020.

ش- ان التعرج رقم (13) يطلق عليه تسمية التواء جبل سييري 1، ويتبين نظرياً انه ذو شكل ملتو ولكن عند تطبيق دالة التعرج تبين أنه ذو شكل مستقيم في عام 1990، وسجل دالة تعرج بلغت (1.04 كم)، اما في عام 2020 فسجل النهر في هذا الجزء دالة تعرج بلغت (1.03 كم) وهي صفة الاستقامة ايضاً.

ص- شهد المنعطف الذي يحمل رقم (14) وهو التواء جبل بنبة 1 تغييراً ملحوظاً وذلك بسبب زيادة الطول الحقيقي ما بين مدد الدراسة، فكانت قيمته (1.05 كم) في عام 1990 واعتبر هذا الجزء خطأً مستقيماً ولكن تغير مجراه وتحول الى التواء في عام 2020. ومن خلال تحليل الخريطة نظرياً تبين ان النهر اندفع غرباً في هذا الجزء وسجل دالة تعرج بلغت (1.17 كم) (الخريطة 6).

ض- سجل التعرج رقم (15) والمسمى بتعرج جبل سييري 1 تغييراً في دالة تعرجه بلغت (1.02 كم) في عام 1990، بينما انخفضت الدالة الى (0.89 كم) في عام 2020، وبذلك تبين ان هذا الجزء هو مجرى مستقيم.

ط- تبين في التواء رقم (16) والذي تمت تسميته بالتواء جبل سييري 2 ان دالة التعرج سجلت (1.12 كم) في عام 1990، وسجل (1.18 كم) في عام 2020، وحدث تغير خفيف حيث اندفع المجرى شرقاً في عام 2020 بفارق بلغ 253 متراً في طوله الحقيقي وكانت صفته الالتواء.

ظ- بلغت دالة تعرج الالتواء رقم (17) وهو التواء جبل بنبة 2 (1.17 كم) في عام 1990، بينما بلغ تعرجه (1.13 كم) في عام 2020 وبفارق (0.04 كم) (خريطة 6).

ع- سجل التواء رقم (18) ويطلق عليه تسمية التواء جبل سييري 4 تناقصاً واضحاً في دالة تعرجه فكانت فكانت (1.37 كم) عام 1990، بينما بلغ (1.14 كم) في عام 2020 وبفارق تعرجي بلغ (0.23 كم).

غ- يلاحظ في التواء رقم (19) ويسمى بالتواء جبل بنبة 3 ان هناك تحولاً من صفة الالتواء الى صفة المستقيم، اذ سجل دالة تعرج (1.13 كم) في عام 1990 تناقصت الى (1.07 كم) في عام 2020.

ف- شهدت دالة التعرج ثباتاً ملحوظاً في التواء رقم (20) ويسمى بالتواء جبل سييري 5، فقد بلغت (1.29 كم) في عام 1990، ثم (1.20 كم) في عام 2020 (الجدول 4).

ق- شهدت دالة التعرج تناقصاً واضحاً في تعرج رقم (20) ويطلق عليه تسمية منعطف جبل كوره زور فقد بلغت (1.50 كم) في عام 1990 فشكّل النهر في هذا الجزء منعطفاً نهرياً واضحاً في هذه السنة، ثم تناقص على مرور الزمن الى

(1.33 كم) عام 2020 واصبحت صفتها في هذا المقطع ملتوياً، ويرجع سبب هذا التباين الى هجرة المجرى النهري وانحرافه باتجاه الجنوب، اذ سجل فارقاً في طوله المثالي بلغ (246 متراً) في عام 2020.

ك- سجل التواء رقم (22) والذي يطلق عليه التواء ديرالوك دالة تعرج بلغت (1.18 كم) في عام 1990، وقد سجل المجرى النهري في هذا الجزء ثباتاً نسبياً في دالة تعرجه بلغت (1.20 كم) في عام 2020.

3- تغير اعداد الالتواءات والمنحدرات النهرية خلال مدد الدراسة بين عامي 1990-2020:

حصل تطور وتغير في اعداد المنحدرات والالتواءات ومناطق الاستقامة في مجرى رافد الزاب الكبير خلال عامي 1990-2020 في منطقة الدراسة. ان عملية التغير تكون أسرع من عملية التطور للنهر، وبصورة عامة فأن العمليات الجيومورفولوجية النهرية تكون بطيئة في المناطق التي تمتاز بكونها ذات تركيب جيولوجي معقد ومن صخور شديدة الصلابة اذ يضعف هنا عامل النحت النهري لكون تركيبها المعدني يحتوي على معادن قوية ومقاومة للتآكل ويحتاج الى مدة زمنية طويلة قد تمتد الى مئات السنين.

من الجدير بالذكر ان هنالك استثناءات وبالأخص في الانهار التي تمتاز بوجود نشاط فيضاني متكرر والتي تكون ذات مناسيب مائية عالية، اذ تحدث تغيرات بصورة فجائية مما يساعد على تكوين تغيرات في الضفاف النهرية وفي تكوين المنحدرات والالتواءات النهرية بمدة زمنية قصيرة في مجاري الانهار الرئيسية , Hazarika, Kumar Das and Borah (2015).

ولوحظ انه هناك تباين واضح في اعداد المنحدرات والالتواءات ومناطق الاستقامة وحدث تغير مورفولوجي في شكلها، فبلغ عدد الالتواءات النهرية (11) التواء في عام 1990، والمنحدرات بلغ عددها (4) منحدرات في عام 1990، اما عدد المجاري المستقيمة فقد بلغ عددها (7) مناطق بشكل مستقيم بسبب تقارب طولها الحقيقي مع طولها المثالي.

اما في عام 2020 فقد بلغ عدد المنحدرات (2)، والالتواءات بلغ عددها (14) التواء، اما مناطق الاستقامة فقد بلغ عددها (6) مناطق، وبذلك شكّل مجموع التعرجات النهرية (22) تعرجاً على طول المجرى النهري الرئيس لرافد الزاب الكبير (الاعلى) (خريطة 6).

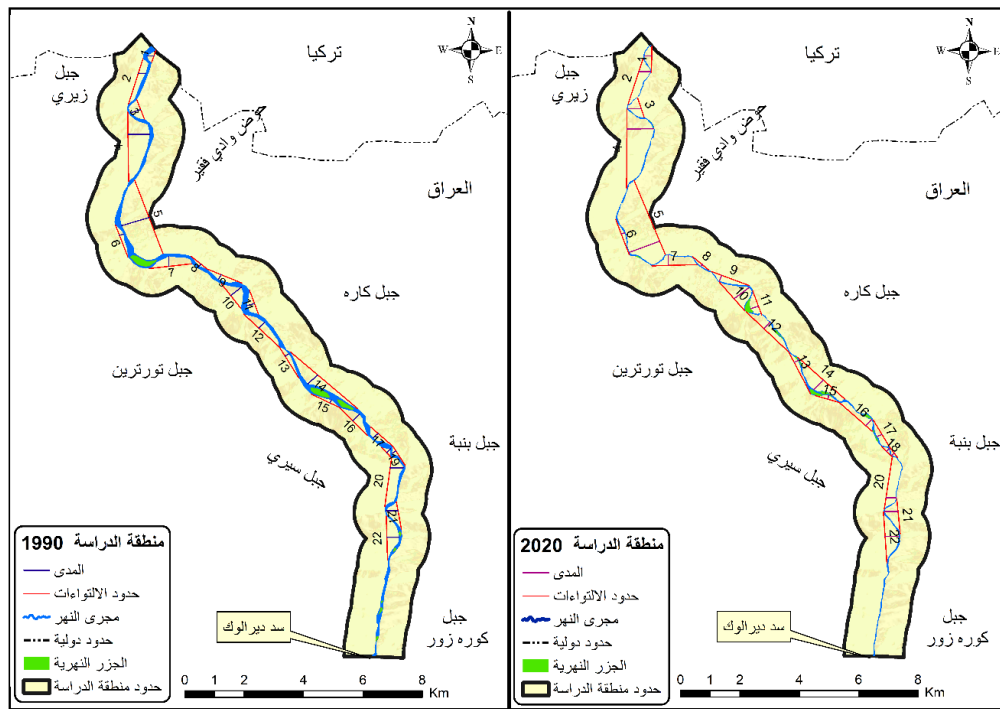
تبين من خلال تحليل النتائج المدرجة في الجدول (4) حدوث تغير وثبات في بعض الاجزاء النهرية ، فالتعرجات التي تحمل الرقم (3،5) بقيت محافظة على صفتها النهرية كمنحدرات لمدة 30 عاما ، اما التعرجات التي تحمل الارقام (2،4،7،10،11،16،17،18،20،22) فتغيرت اطوالها الحقيقية والمثالية ولكن بقيت صفة الالتواء عليها خلال عامي (1990-2020)، اما التعرجات التي تحمل الارقام (6،8،9،13،15) فتبين ان مجاريها بقيت تحمل صفة المجرى المستقيم، وفي التعرجات التي تحمل الرقمين (12،14) تطورت الصفة من مجرى مستقيم الى ملتوٍ، اما تعرج رقم (21) فقد حدث تغير جيومورفي واضح في شكل قناته النهرية فتحول من صفة المنعطف الحاد الى التواء، اما التعرج رقم (19) فتغير من صفة الالتواء الى صفة الاستقامة النهرية.

4- تغير طول المدى في الالتواءات والمنحدرات النهرية في عامي 1990-2020:

يعرف طول المدى في الالتواءات والمنحدرات النهرية بأنه المسافة التي تربط بين نقطتين، حيث يربط منتصف المنعطف او الالتواء مع منتصف طول موجة الانعطاف ويتعامد عليها بشكل مستقيم (Hashem, 2014). كشفت الدراسة الحالية ان طول المدى يتغير في اجزاء القناة النهرية ووهذا التغير، يشير إلى التغيرات التي تحدث في الشكل النهري ويمكن أن يكون ذلك نتيجة لعمليات التعرية من نحت ونقل وترسيب او لعوامل بشرية، حيث يتغير مسار النهر بمرور الوقت مما يؤثر على طول المدى الإجمالي للمنعطف.

نستنتج من المعطيات المعتمدة على بيانات الاقمار الصناعية ومرئياتها الفضائية لعامي 1990م-2020م، وبعد اعتماد برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، ينظر الخريطة (7)، من اجل تقييم ومتابعة التطور والتغير والكشف عن ديناميكية الرافد، أطلق على المياه الجارية مكائن الارض والتي سماها (Strahler) لأنها تعد أكثر العوامل تأثيراً على سطح الارض، لكونها تعمل على مهمتين رئيسيتين وهما الاولى تصريف المياه من سطح الارض والثانية تقوم بعمليات جيومورفولوجية (العبيدي، 2021).

ومن خلال تحليل البيانات الواردة تبين ان هناك فارق طولي في طول موجة المدى وعلى طول الامتداد النهري للزاب الكبير فسجل مجموعة اطوال للمدى (7،102 متر) في عام 1990 م وارتفع الى 7،678 متر) في عام 2020 وبفارق طولي بلغ (576 متر)، ويرجع سبب ذلك لعوامل طبيعية وبشرية متمثلة في انخفاض التصاريف المائية بسبب قلة التساقط والتغير المناخي واقامة السدود في تركيا والتتقيب على الرمل والحصى، مما ادى الى تغير المنعطفات والالتواءات النهريّة في المجرى الرئيس واثّر على زيادة او نقص في طول المدى في العديد من الاجزاء النهريّة.



الخريطة (7) المدى وموجة الانعطاف في منطقة الدراسة خلال مدد الدراسة 1990-2020. المصدر: أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومرئيين فضائيتين من القمر (Landsat 9-5) التي تم التقاطهما بتاريخ 2020-2-8 و تاريخ 1990-2-8 من موقع (USGS). ومخرجات برنامج ArcMap v10.8.1

ويمكن تلخيص ما تبين من الجدول (4) فيما يأتي:

1- تم تسجيل اطول مدى في مجرى رافد الزاب الكبير في المنعطف الذي يحمل الرقم (5) منعطف وادي فقير، حيث سجل طول مدى بلغ (960.05 متراً) في عام 1990م، وبقي هذا المنعطف محافظاً على أكبر طول مدى حتى عام 2020م وبلغ طول مداه (1081.92 متراً).

2- سجل الالتواء رقم (8) التواء جبل كاره 1، أدنى مدى طولي وبلغ (88،48 متراً) في عام 1990م، اما في عام 2020م، سجل ايضاً الالتواء نفسه أدنى طول وبلغ (84.79 متر) حيث بقي محافظاً على طولته وبفارق طفيف بلغ (3.69 متراً) في طول المدى.

3- اما الالتواء رقم (14) فسجل ثباتاً في طول مداه بلغ (447 متراً) خلال عامي (1990-2020).

5 - تغير طول موجة الانعطاف او الطول المثالي للتعرج في الالتواءات والمنحدرات النهرية في عامي (1990- و2020)

يمكن تلخيص معطيات الجدول (4) بما يأتي:

1. نستنتج مما سبق ان تعرجات منطقة الدراسة وعلى طول المجرى النهري شهدت العديد من التطورات والتغيرات المورفومترية، خلال السنوات الماضية، فبلغ مجموع اطوالها (28.5 كم) في عام 1990م، ثم ازداد الى (30.4 كم) في عام 2020م، وبفارق طولي بلغ (1.9 كم) وسبب هذا التغير هو الزيادة الحاصلة بالطول الحقيقي الاجمالي في عام 2020 وبمقدار (2,590 كم).
2. سجل الجزء رقم (14) التواء جبل بنبة 1، اطول موجة انعطاف خلال عام 1990م وقد سجل (2963.03 متر)، بينما تناقصت طول موجة انعطافه الى (2115,45 متر) في عام 2020م وبفارق طولي بلغ (847,63 متر) ويعود سبب هذا التطور الى النقص الحاصل في طوله الحقيقي في هذا الجزء وانعكس سلباً على تغير موجة الانعطاف.
3. اما المنعطف الذي يحمل رقم (5) منعطف وادي فقير 3، فقد سجل اطول موجة انعطاف في عام 2020م وبلغ طولها (2701.01 متر).
4. تم تسجيل أقصر موجة انعطاف في التواء رقم (18) التواء جبل سيدي 4، وسجل (418.23 متراً) وذلك في عام 1990 .
5. شهد تسجيل أقصر موجة انعطاف لعام 2020 في الجزء الذي يحمل الرقم (19) منعطف جبل بنبة 3، وبلغ طول موجة الانعطاف (462.29 متراً).
6. سجلت دالة الانعطاف اطوالاً شبه مستقره في بعض الاجزاء مثل منعطف رقم (3) منعطف وادي فقير 2، والتواء رقم (11) التواء جبل كاره 4، وتعرج رقم (15) تعرج جبل سيدي 2، والتواء رقم (17) التواء جبل بنبة 2 (جدول 4) ، ويعود سبب هذا الثبات للعديد من الاسباب منها ثبات سرعة المياه في هذا الجزء وثبات في العمق، فضلاً عن وجود عوائق تمنع من تغير المجرى النهري، كالصخور الصلبة التي تعطي ثبات للمجرى و يؤدي ذلك الى استقرار في موجة الانعطاف.

اهم الاستثمارات على رافد الزاب الاعلى:

يبلغ الايراد السنوي لرافد الزاب الكبير لسنة 2017، (7.25 مليار م/3) وتناقص الى (6.84 مليار م³/م) وذلك في عام 2018 ، يعد سد ديرالوك من اهم المشاريع الاستثمارية في منطقة الدراسة وتعد محطة كهرباء ديرالوك من اهم المشاريع، وهو الاول من نوعية على رافد الزاب الكبير، يقع السد في ناحية ديرالوك التابعة ادارياً لقضاء العمادية ، ويعتمد توليد الطاقة الكهربائية على كمية الايراد المائي السنوي ومناسيب الرافد ، بلغت كلفة استثمار المحطة (151 مليار دولار) وبلغت طاقتها الانتاجية (37.6 ميغا واط) لغرض تزويد مدينتي العمادية وبادينان بالكهرباء (Directorate of Agricultural Statistics, 2018) .

الاستنتاجات

1- بينت الدراسة ان هناك تغير مستمر في مورفومترية التعرجات النهرية، حسب نتائج دالة التعرج، حيث اثبتت الدراسة وجود تباين في الالتواءات والمنحدرات فسجل (11) التواء و(4) منعطف في عام 1990، اما في عام 2020 فقد سجل (14) التواء و(2) منعطف.

2- تغير طول النهر خلال مدة الدراسة، فكان طوله (29,6 كم) عام 1990م وتناقص الى، (29 كم) عام 2020.

- 3- تم قياس عمق المجرى النهري وعلى طول المجرى وتبين ان هناك تباين بالعمق ما بين منطقة واخرى اذ سجل أعمق نقطة عند الحدود وبعمق (780) متراً عن مستوى سطح البحر وبلغ أدنى عمق (630) متراً عن مستوى سطح البحر بالقرب من سد ديرالوك.
- 4- تم التأكيد من خلال قيم المدى ان هناك تفاوت في مجموع اطوال المدى وهذا يدل على تنشيط العمل الجيومورفولوجي، فكان مجموع اطوال المدى (7.102 متراً) عام 1990، اما في عام 2020 فارتفع الى (7.678 متر) وبفارق طولي بلغ (576 متراً).
- 5- يجري النهر في منطقة شديدة التضرس الامر الذي ساعد على حدوث التغيرات في مجراه.
- 6- ان للعامل البشري دور مهم في تغير نظام النهر، خلال الاستثمار الزراعي او اقامة السدود مثل سد ديرالوك لغرض توليد الطاقة الكهربائية والاستفادة منه في الري ومياه الشرب.
- 7- بقي النهر محافظاً على التواءه ويحمل صفة النهر الملتوي على طول مدد الدراسة.
- 8- يعد رافد الزاب الكبير هنا نهراً ناضجاً بالنسبة لمعظم مساره، لكونه اتسم بنسبة من الثبات تقريباً في اخاديد عميقة.

References

- Al-Brifkani, M.J., Al-Matloubi, A.H. and Al-Asadi, Y.M., 2012, Fold Study in Cretaceous and Tertiary Formations in the Bekher Anticline Through Contour Maps, Iraqi National Journal of Earth Sciences, Vol. 12, No. 1. <https://doi.org/10.33899/earth.2012.36259>
- Al-Dulaimi, K.H., 2001, Applied Geomorphology, Hashemite Kingdom of Jordan, Amman.
- Al-Mzoury, H.A. and Al-Omere, S.H., 2021, Geometry and Morphometry of the Heshkaro Valley Basin in Northern Iraq Using Contemporary Techniques, Proceedings of the Third Annual Scientific Conference of the Geography Department / College of Basic Education - Al-Mustansiriyah University, May 24-25. <https://doi.org/10.35950/cbej.v3iSI.5612>
- Al-Obaidi, A.M., 2021, Geomorphology of the Confluence of the Greater Zab Tributary with the Tigris River, MSc Thesis, College of Education for Humanities, University of Mosul. (In Arabic)
- Al-Sayab, S.A., 1982, Geology of Iraq, Ministry of Higher Education, University of Mosul. (In Arabic)
- Azhar Kh. S.B, Abdulhaq N.M, 2021, Hydro-Geomorphological Modeling of Kani-Pan Sub Basin in Sulaimani City Using Spatial Information Technology, Tikrit Journal of Pure Science Vol. 26. <http://dx.doi.org/10.25130/tjps.26.2021.064>
- Bety, A.K.H.S. Urban Geomorphology of Sulaymaniyah City, Using Remote Sensing and GIS Techniques, Kurdistan Region, Iraq. Unpublished PhD Thesis, University of Sulaimani, Sulaymaniyah, Iraq, July 2013; 253 P. (In Arabic)
- Directorate of Agricultural Statistics, 2018, Water Resources Report, Republic of Iraq, Ministry of Planning. (In Arabic)
- Hashim, I.N., 2014, Changes in the Shatt al-Arab Course, Unpublished MSc Thesis, College of Arts, University of Baghdad, Iraq. (In Arabic)
- Jafar, A.T., Ali Talib, 2013, Topography of the Tigris River and Its Natural and Human Challenges, Diyala Journal, Issue 60. <https://doi.org/10.57592/djhr.v1i60.818>
- Joudeh, H.J., 2003. Geomorphology: The Science of Landforms. Dar Al-Maaref Al-Jami'iya, Egypt, First Edition. (In Arabic)

- Mahsoub, M.S., 2001, *Geology of Landforms*, Dar Al-Fikr Al-Arabi, Cairo. (In Arabic)
- Nabajit, K.D., Borah, H.A. and Suranjana, B., 2015, Assessing land use changes driven by river dynamics in chronically flood affected Upper Brahmaputra plains, India, using RS-GIS techniques, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.001>
- Republic of Iraq, State Establishment of Geological Survey and Mining, 1995. *Geological Map of Kanyrash QUADRANGLE, Sheet NJ-38-(10)*, Baghdad – Iraq.
- Shimizu, Y., Nelson, J., 2019, Advances in computational morphodynamics using the International River Interface Cooperative (IRIC) software. Volume 45, Issue 1.
<https://doi.org/10.1002/esp.4653>
- Sissakian, V.K., 2013, *Geomorphology and Morphometry of the Greater Zab River Basin, North of Iraq*, *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, Vol 9, No 3.
- Smith, D.I., Stopp, P., 1978, *The River Basin*, first published, Cambridge University Press, London.
- Xie, Q., 2021, *Field Measurements and Predictions of River Flow, Sediment Transport and Morphological Changes*. Division of Fluid & Experimental Mechanics Department of Engineering Sciences and Mathematics Lulea University of Technology 97187-Luleå, Sweden.



تقدير حجم الجريان السطحي في حوض وادي الأمغر جنوب غربي بادية المثنى باستخدام طريقة SCS-CN

حيدر مزهر عبدعون^{1*}، صفاء عبدالامير الاسدي²

^{2,1} قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة البصرة، البصرة، العراق.

الملخص

يعد حوض وادي الأمغر أحد الاحواض التي تقع في الجزء الجنوبي الغربي من بادية المثنى التي تتصف بالجفاف الشديد ويعود ذلك الى ندرة الامطار الذي تسقط على اجزاء الحوض والاراضي المجاورة اذ يعتمد وجود المياه ضمن اجزاء الحوض على كمية الامطار التي تتساقط خلال فصل الشتاء وايضا يعتمد على انسياب المياه التي تدخل الى الحوض من الاجزاء الشمالية نتيجة عملية الانحدار. وان جزءاً من هذه المياه لا تستطيع تكوين جريان سطحي بسبب طبيعة التربة السائدة التي تعمل على التقليل من تكوين جريان سطحي، ولكن هذا لا يعني عدم وجود الجريان اذ ان المنطقة التي تقع أسفل الطبقة الرملية هي طبقة صماء قليلة النفاذية تسمح بتكوين جريان سطحي وان التربة ايضا في الحوض ليست تربة مفككة جدا بل توجد فيها نسبة عالية من الصخور والاحجار. ومن اجل ذلك تم الاعتماد على كمية الامطار والتي بلغت 113.9 ملم لفترة الدراسة الممتدة من 2000-2023 لذلك تم الاعتماد على نموذج SCS-CN لتقدير حجم الجريان السطحي وذلك بسبب موثوقية هذا النموذج باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS للحصول على بيانات أكثر دقة. أظهرت النتائج ان الحوض قادر على توليد جريان سطحي اذ ترتفع قيم CN فيه بمساحة 1018.03 كم² بنسبة 57.23% من مساحة الحوض اي ان اكثر من نصف مساحة الحوض قادرة على توليد جريان سطحي.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 28- نوفمبر - 2024

تاريخ المراجعة: 03- يناير - 2025

تاريخ القبول: 12- فبراير - 2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01-ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

الجريان السطحي،

SCS-CN،

الأمغر،

المياه،

المراسلة:

الاسم: حيدر مزهر عبدعون

Email: gaky.gon1991@gmail.com

Estimation of Surface Runoff Volume in Wadi Al-Amghar Basin, Southwestern of Al-Muthanna Desert, Using the SCS-CN Method.

Haider M. Al-Kafari ^{1*} , Safaa A.R AL-Asadi ²

^{1,2} Department of Geography, College of Education for Human Sciences, University of Basrah, Basrah, Iraq.

Article information

Received: 28- Nov -2024

Revised: 03 -Jan -2025

Accepted: 12- Feb -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

Surface runoff,
SCS-CN,
Al-Amghar,
Water,

Correspondence:

Name: Haider M. Al-Kafari

Email :

gaky.gon1991@gmail.com

ABSTRACT

Wadi Al-Amghar Basin, located in the southwestern part of Al-Muthanna desert, is characterized by extreme aridity due to the scarcity of rainfall over the basin and its surrounding lands. The availability of water in the basin depends on the amount of rainfall during the winter season, as well as the inflow of water into the basin from the northern parts due to the slope gradient. However, part of this water fails to generate surface runoff due to the nature of the prevailing soil, which reduces the formation of surface runoff. Nevertheless, this does not negate the existence of runoff, as the layer beneath the sandy surface is an impermeable layer with low permeability, which allows for the formation of surface runoff. Additionally, the soil in the basin is not entirely loose; it contains a high proportion of rocks and stones. For this reason, the study relied on the amount of rainfall, which was measured at 113.9 mm during the study period extending from 2000 to 2023. The Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) model is employed to estimate the volume of surface runoff due to its reliability, utilizing Geographic Information Systems (GIS) for more accurate data. The results reveal that the basin is capable of generating surface runoff with high CN values covering an area of 1,018.03 km², representing 57.23% of the basin's total area. This indicates that more than half of the basin's area has the potential to generate surface runoff.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56085](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56085), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

تعد طريقة (Soil Conservation Service Curve Number, SCSN-CN) واحدة من اهم الطرق لتقدير حجم الجريان السطحي في جميع الظروف المناخية والظروف البيئية المختلفة (Burlando and Rosso, 1996; Abdulla, 2011). توجد العديد من طرق الجريان السطحي الا انها ليست بمثل دقة هذا النموذج بسبب الاعتماد على قوانين رياضية خاضعة للفحص المسبق وشموليتها في عملية التطبيق وقدرتها على التأقلم مع الظروف المناخية المختلفة، على العكس من بعض الطرائق التي يعتمد فيها قياس الجريان على محددات مختلفة حيث لا تنطبق مع جميع هذه البيانات (Abdalla *et al.*, 2021, Al-Ghobari *et al.*, 2022). تعد الوديان منطقةً او حيزاً جغرافياً يعمل على تجميع المياه اذ تلعب هذه الوديان دوراً رئيساً في الحفاظ على الموارد الطبيعية وطرائق تنميتها. يمكن من خلال قياس حجم الجريان التعرف على المخاطر الهيدرولوجية التي يمكن ان يتعرض لها الحوض خاصة في المناطق التي تستلم كمية امطار غزيرة وايضا ما ينتج عن الامطار من عملية زحف للتربة وكذلك الاثار الجيومورفولوجية التي تصيب الحوض، لذلك من الضروري دراسة هذه الاحواض لما لها من اثار مباشر ترتبط بحياة الانسان ومعرفة طرق الاستفادة القصوى من المياه التي تتساب

على السطح. كان الهدف من استخدام هذه الدراسة هو للاستعانة بطريقة SCS-CN في التعرف على الخصائص الهيدرولوجية للحوض النهري من خلال تقدير حجم الجريان السطحي ووضع بعض الخطط التي تتماشى مع هيدرولوجية الحوض للاستفادة القصوى من المياه (Adnan *et al.*, 2021; Stettler, 2016). وتستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع جدا من قبل الباحثين المختصين بالدراسات الهيدرولوجية نظرا لقدرتها العالية على تطوير الاحواض وخاصة قدرتها على ابراز دور التربة من خلال النفاذية ومدى وملاءمتها لعملية الجريان (Satheeshkumar *et al.*, 2017). لذلك سعت هذه الدراسة الى معرفة هذه الخصائص اذ كان المبرر الرئيس لمثل هذه الدراسة هو انتقاء وجود دراسة هيدرولوجية تخص حوض وادي الأمغر.

الاساليب وطرائق العمل

في الورقة البحثية الحالية اعتمدت بيانات الاقمار الصناعية مثل استخدام خرائط الغطاء الارضي وخرائط الانحدار والقيام بالعمل الحقلّي للحصول على عينات التربة من الحوض بالإضافة الى الحصول على الخرائط الطبوغرافية وصور الاقمار الصناعية بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي لاندسات 8 للحصول على بيانات متكاملة عن منطقة الدراسة بالإضافة الى انه تمت الاستعانة بالبيانات المناخية لستة محطات يقع نصفها بالجانب العراقي والنصف الاخر ضمن حدود المملكة العربية السعودية وذلك للحصول على بيانات مناخية تغطي منطقة الدراسة بشي من التفصيل.

موقع منطقة الدراسة

يقع حوض وادي الأمغر في جنوب غربي بادية المثنى في العراق. تم تحديد الموقع الفلكي للحوض بالاستعانة ببرنامج (Arc10.8) ضمن دائرتي العرض $29^{\circ} 42' 21''$ شمالا و $28^{\circ} 56' 37''$ شمالا وخطي الطول $45^{\circ} 9' 60''$ شرقا و $45^{\circ} 43' 50''$ شرقا. تمت الاستعانة بصور الاقمار لتحديد مساحة الحوض التي بلغت 1778.76 كم^2 ، ويمتد الحوض ضمن الحدود الادارية لمحافظة المثنى بمساحة 1504.55 كم^2 وبنسبة 84.5% من مساحة حوض وادي الأمغر الاجمالية، ويمتد داخل حدود المملكة العربية السعودية بمساحة 274.21 كم^2 وبنسبة 15.5% من مساحة الحوض الاجمالية (الشكل 1).

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

أولاً: البنية الجيولوجية

تعد دراسة التراكيب الجيولوجية مفتاحاً للتعرف على الاشكال الجيومورفولوجية التي تعمل بدورها على التأثير على الجوانب الهيدرولوجية في أي منطقة (Lutgens *et al.*, 2000) (الشكل 2)، ويوضح الجدول (1) الازمنة الجيولوجية التي تغطي منطقة الدراسة.

تغطي ترسبات العصر الثلاثي (الباليوجين والنيوجين) الجزء الاعظم من التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة بمساحة $1699,45 \text{ كم}^2$ او ما يعادل $95,54\%$ من مجموع التكوينات التي تظهر في الحوض، وفيما يلي تقسيم لأهم التكوينات التي تبرز ضمن المنطقة:

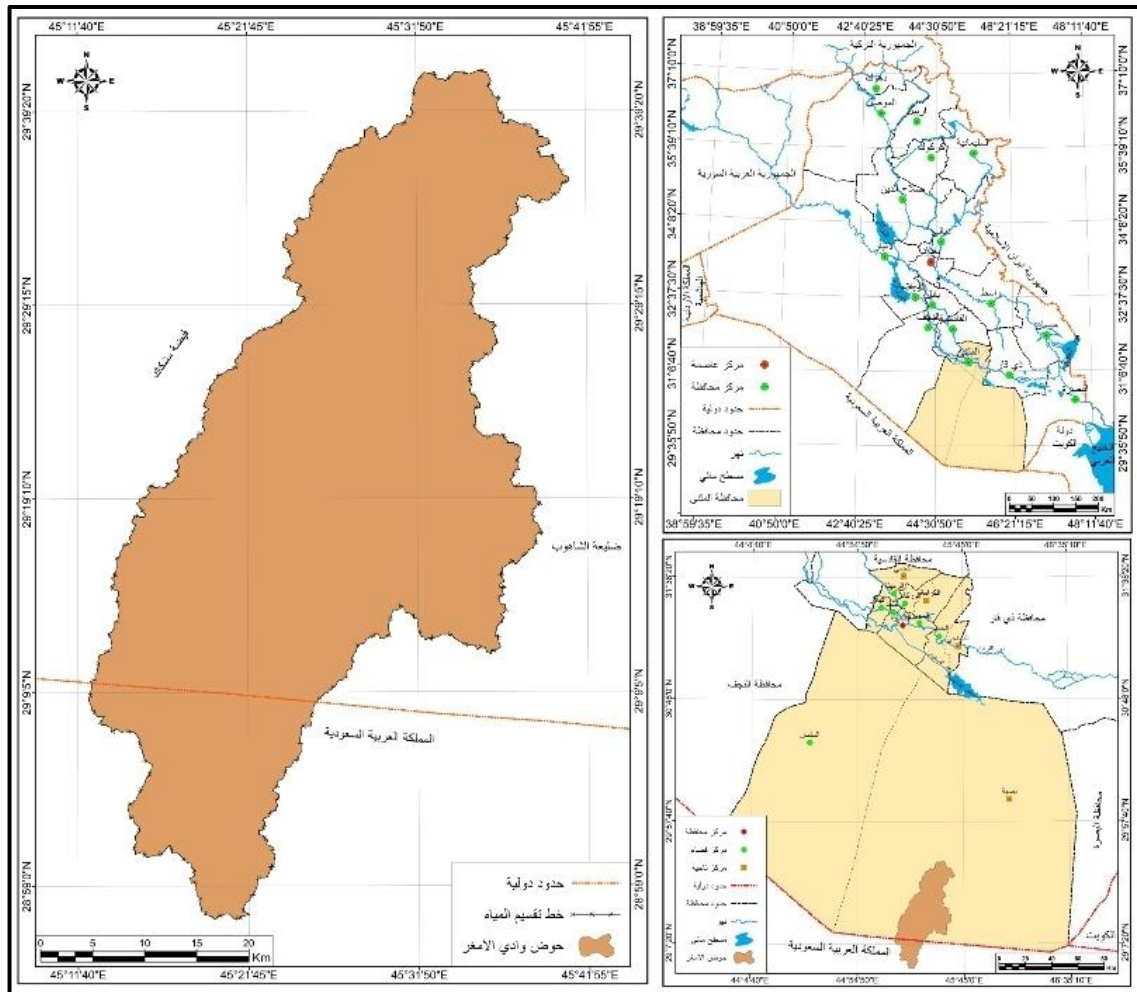
أ- تكوين دبدبة (البليستوسين)

يتميز هذا التكوين بصخوره الاساسية المكونة من الرواسب الرملية اذ تكون ذات نسيج خشن الى متوسط، وتبرز ايضا على شكل حصى اذ تظهر على السطح بالإضافة الى الطين والطمى. يعد تكوين دبدبة من اوسع

التكوينات الجيولوجية انتشارا في الحوض اذ يمتد من اقصى الشمال والشمال الغربي الى الجنوب والجنوب الشرقي، ويمتد الى داخل حدود المملكة العربية السعودية، وتبلغ مساحته 1236.31 كم² ليشكل بذلك 69.5% من مساحة منطقة الدراسة (جدول 1).

الجدول 1: التكوينات الجيولوجية في حوض وادي الأمغر.

الزمن الجيولوجي	التكوين الجيولوجي	المساحة كم ²	النسبة المئوية %
ترسبات العصر الثلاثي	تكوين دبدبة	1236.31	69.5
ترسبات العصر الرباعي	تكوين دمام الأوسط	356.54	20.04
	تكوين دمام الأعلى	103.11	5.8
ترسبات العصر الرباعي	تكوين زهرة	3.49	0.2
	ترسبات ملء المنخفضات	52.84	2.97
	ترسبات ملء الوديان	26.47	1.49
المجموع		1778.7	100



الشكل 1. موقع حوض وادي الأمغر في محافظة المثنى، العراق.

ب- تكوين دمام (الايوسين الاسفل)

يتميز بصخوره الاساسية والمتمثلة بالدولومايت والحجر الجيري ويعد هذا الحجر المكون الرئيس لهذا التكوين اذ يتميز بطبيعة بيضاء الى رمادية، اما مساميته فتكون متنوعة ما بين المتوسطة الى العالية ومن الممكن الاستدلال على هذا التكوين بكثرة الكهوف والتشققات والفجوات (Khalaf, 2011) وينقسم الى قسمين:

تكوين دمام الاوسط (الايوسين الاوسط)

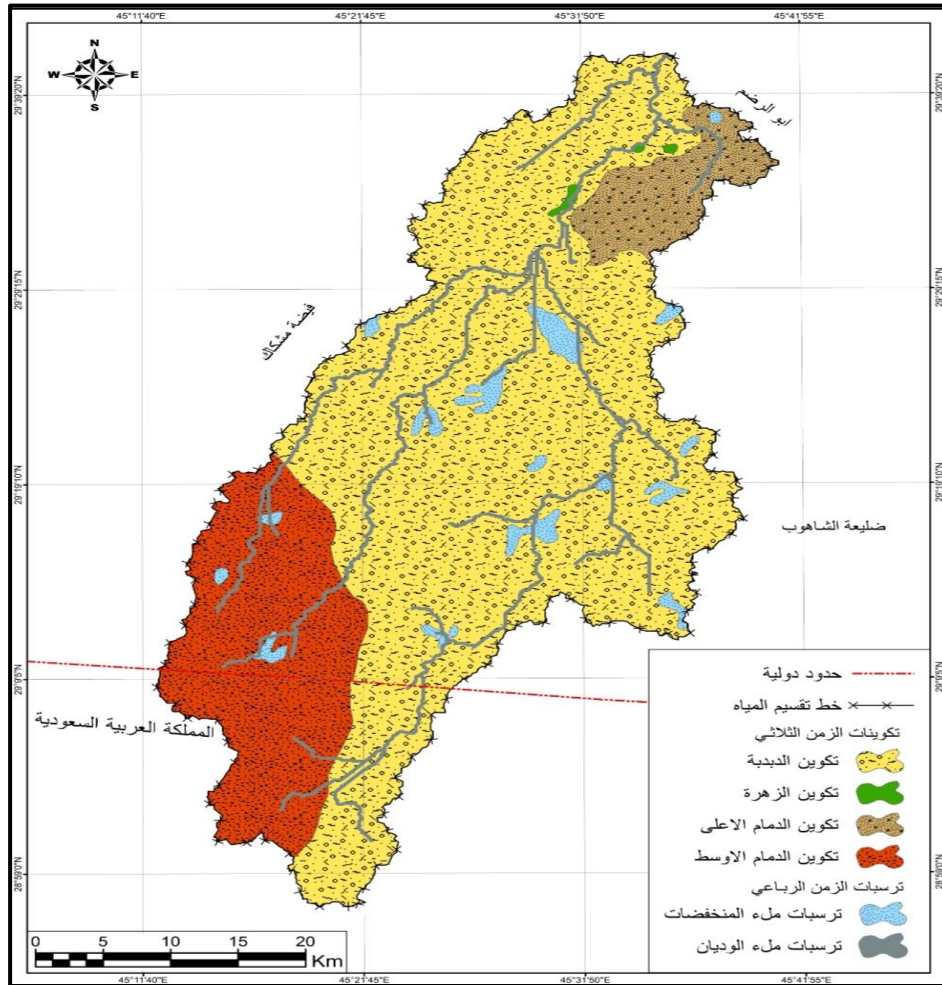
يغطي هذا التكوين الاجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية من منطقة الدراسة اذ يشغل هذا التكوين مساحة تقدر بـ 356.54 كم² وهو بذلك يشكل 20.04% من مساحة منطقة الدراسة. يتألف هذا التكوين من حجر الكلس الدولومايتي الطباشيري والذي يبلغ سمكه 50-60 م (Dikran, 1995)

تكوين دمام الاعلى (الايوسين المتأخر)

ينتشر هذا التكوين في الاجزاء الشمالية الشرقية من منطقة الدراسة ويشكل مساحة تقدر بـ 103.11 كم² ونسبة تقدر بـ 5.8% من اجمالي مساحة منطقة الدراسة ويتميز هذا التكوين بوجود رواسب الرمل التي تتألف من الحجر الجيري معاد التبلور مع الحجر الكلسي صلب ويبلغ سمك هذا التكوين 7-12م. (Hamza, 2019)

ج- تكوين زهرة (العصر الطباشيري المبكر)

يتميز هذا التكوين بصخوره الاساسية المتكونة من الرمال (الحجر الرملي) والصخور الطينية والسجيل الكربوني، اما نسيجه الصخري فيكون حبيبياً خشناً الى متوسط. يظهر هذا التكوين في منطقة الدراسة في الاجزاء الشمالية وبشكل تكوينات منفصلة عن بعضها البعض اذ يعد هذا التكوين من اقل التكوينات انتشارا في منطقة الدراسة والذي يظهر بمساحة 3.49 كم² وهو بذلك يشكل 0.2% من مجموع مساحة الحوض.



الشكل 2. التكوينات الجيولوجية في حوض وادي الأمغر.

تغطي ترسبات الزمن الرباعي (البلاستوسين، الهولوسين) مساحة 79.31 كم² او ما يعادل 4.46% من مجموع التكوينات التي تظهر في منطقة الدراسة (جدول 1)، وهذه الترسبات هي:

أ- ترسبات ملء المنخفضات (الهولوسين)

تظهر هذه الرواسب في اجزاء متفرقة من منطقة الدراسة اذ تشكل مساحة 52.84 كم² بنسبة 2.97% من ترسبات حوض الأمغر. اذ تتكون هذه الترسبات من الطين والغرين والرمل (Stettler, 2016)

ب- ترسبات ملء الوديان (الهولوسين)

تأخذ بالظهور في منطقة الدراسة على امتداد المجاري النهرية الرئيسية والمراتب النهرية وتشكل مساحة صغيرة من منطقة الدراسة تقدر بـ 26.47 كم² بنسبة 1.49% من المساحة الكلية للحوض (Al-Asadi, 2012).

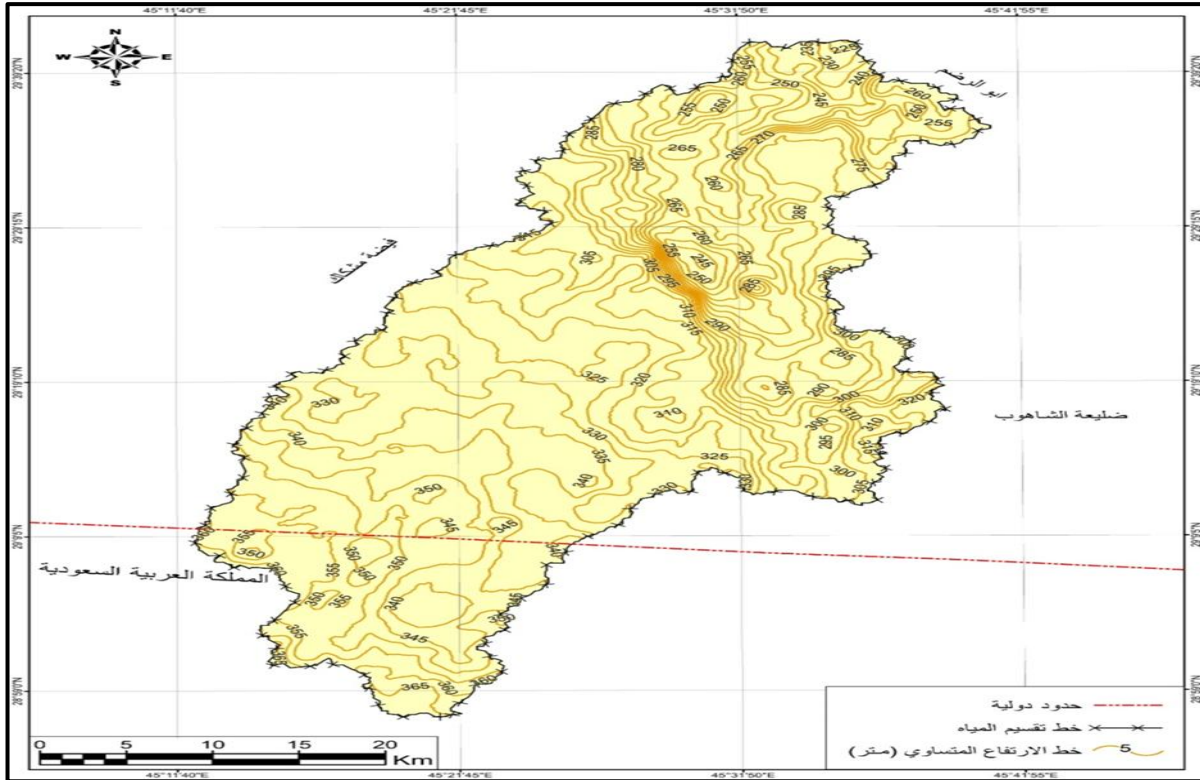
ثانياً: السطح (التضاريس)

تلعب طبوغرافية اي منطقة (التضاريس) دوراً مهماً في سير العمليات الهيدرولوجية، ومن خلال العمليات الجيومورفولوجية والتي تبرز من خلالها الاشكال الارضية الناتجة عن فعل هذا العمليات (المورفوتكتونية والمورفومناخية) يتحدد نوع العمليات الهيدرولوجية وطريقة سيرها (Jaton, 1980). ان وجود هذه الاشكال يساهم في بيان الخصائص الهيدرولوجية اذ ان حجم الجريان السطحي يتحدد وفق انحدار المنطقة ونوع العملية الجيومورفولوجية، لذلك يزداد الجريان السطحي بزيادة الانحدار وقلة الضائعات المائية بسبب سرعة التيار المائي. تلعب العمليات المورفومناخية دوراً في بيان حجم الجريان المائي من خلال عمليات التجوية والتعرية وما ينتج عنها من اشكال ارضية (Wilson, 2000).

خطوط الارتفاع المتساوي (الكنطور)

تعد هذه الخطوط من اهم الطرائق التي تعتمد عليها الدراسات الجغرافية المختلفة (Philip, 2019) اذ ان جميع الدراسات الطبيعية تعمل على الاستعانة بها اذ تعد من الوسائل المهمة في الدراسات الجيومورفولوجية، والسبب في ذلك هو تحديد الارتفاع عن مستوى سطح الأرض ضمن منطقة الدراسة. (Al-Miyali, 2022)

يظهر تضرس كبير في الاجزاء العليا من وسط الحوض في هذه المنطقة اذ يظهر لدينا وفق الخارطة (3) تزامم خطوط الكنتور والتي تدل على عدم انبساط الحوض وكثرة التضرس، على العكس من الجزء السفلي من الحوض الذي تدل الخطوط الكنتورية فيه على انبساط الحوض وذلك بسبب تباعدها عن بعضها البعض، لذلك يقل التضرس عند المنبع ويزداد عند المصب (Goyal, 2016).



الشكل 3. خطوط الكنتور في حوض وادي الأغر.

ثالثاً: المناخ

يعد المناخ واحداً من أهم العوامل المحددة لكمية المياه الموجودة في منطقة الدراسة، إذ إن موقع العراق ضمن البيئة الجافة جعل منه منطقة تتصف بالجفاف لفترة طويلة من السنة، ويتحدد المناخ بعدد من المتغيرات أهمها درجة الحرارة إذ يتصف الحوض ومن خلال المحطات الستة (البصرة، الناصرية، السماوة، حفر الباطن، رفح، القيصومة) التي تحيط بالحوض بالارتفاع العام في درجات الحرارة خاصة في فصل الصيف، إذ يتباين معدل درجة الحرارة ما بين 27 و 24.4°؛ أما بالنسبة للفصول، فيسجل فصل الصيف أعلى القيم وتتراوح ما بين 39.1 و 34.6°، وفصل الشتاء فيه أدنى معدل لدرجات الحرارة ما بين 14.2 و 12.7°، ويعود سبب الارتفاع في درجات الحرارة في هذه المحطات إلى كبر زاوية أشعة الشمس وطول النهار. بالنسبة للأمطار فيندم وجودها في فصل الصيف ويزداد في فصل الشتاء إذ تتباين الكمية ما بين 79.4 و 45.9 ملم؛ أما المجموع السنوي للمحطات فيتباين ما بين 127.3 و 99 ملم. وأخيراً، ترتفع كمية المياه المتبخرة نتيجة ارتفاع درجات الحرارة، فقد تراوحت نسبة التبخر ما بين 3050-3839 ملم (جدول 2).

رابعاً: التربة

إن لدراسة التربة ومعرفتها أهمية كبيرة في الدراسات الهيدرولوجية إذ تتحكم التربة بكمية المياه السطحية والجوفية التي تتساقط على التربة. وتتحدد كمية المياه الموجودة في أي منطقة على نوعية التربة وقدرتها على الاحتفاظ بالمياه من عدمه. فالتربة منخفضة المسامية وأسفلها طبقة صخرية تساهم في زيادة كمية الجريان السطحي من خلال عدم السماح لهذه المياه بالتسرب نحو القشرة الأرضية (Blum, 2005). أما التربة ذات المسامية العالية فتساهم في عملية تزويد المياه الجوفية من خلال تسرب المياه إلى الخزانات الجوفية، وبالتالي

ينخفض الجريان السطحي في مثل هذا النوع من التربة ويرتفع حجم المياه الجوفية، لذلك تمت الاستعانة بـ 15 عينة للتربة جمعت من منطقة الدراسة وتم تحليلها مختبرياً لتوضيح خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

جدول 2: المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة (درجة سليزية) والامطار والتبخر (ملم) في محطات الدراسة للفترة (2000-2023).

		المحطات					
		حفرة الباطن	رفحاء	النصرة	الناصرية	السماوة	الفصول
14.2	13.6	12.7	14.2	14.2	13.9	المعدل	درجة الحرارة
58	54	45.9	79.4	55.8	46.2	المجموع	الامطار
334.4	312.3	320.4	246.8	300.9	288.5	المجموع	التبخر
26.5	25.9	24.2	26	26.3	26.6	المعدل	درجة الحرارة
30	29	30.1	22.3	32.1	32	المجموع	الامطار
907.6	873.8	901.6	727.4	949.5	911.1	المجموع	التبخر
36.9	35.9	34.6	38.4	39.1	38.3	المعدل	درجة الحرارة
0	0	0	0	0	0	المجموع	الامطار
1337.3	1645.5	1553	1427.8	1714.6	1715	المجموع	التبخر
27.6	26.6	25.8	27.9	28.3	27.5	المعدل	درجة الحرارة
28	29	23	25.6	28.4	34.8	المجموع	الامطار
513.3	679.9	807.4	648.1	874.5	824	المجموع	التبخر
26.3	25.6	24.4	26.6	27	26.6	درجة حرارة	المعدل السنوي
116	112	99	127.3	116.3	113	الامطار	المجموع السنوي
3092.6	3511.5	3582.4	3050.1	3839.5	3738.6	التبخر	المجموع السنوي

نسيج التربة

يعرف نسيج التربة بأنه التوافق النسبي لذرات التربة (الرمل، الغرين، الحصى) والتي لا يزيد حجمها عن (2 ملم) والتي تعد الدليل لمدى نعومة التربة وخشونتها (Al-Shamrani, 1996).

ولغرض التعرف على خصائص التربة في منطقة الدراسة، تم استخراج النسب المئوية لمفصولات التربة اعتماداً على التحليلات المخبرية التي اجريت في مختبر يوساينس العلمي في محافظة القادسية (الجدول 3) إذ يتضح ارتفاع كمية الرمل في منطقة الدراسة بنسبة 68,66% من نسجة التربة في منطقة الدراسة، اما الغرين فقد سجل 23.27% من نسجة التربة، أما الطين فقد سجل أدنى المعدلات بالنسبة لمفصولات التربة بمعدل 8.07% ويعود سبب انخفاض معدل الغرين والطين في مفصولات التربة في منطقة الدراسة الى جفاف المنطقة وندرة التساقط المطري والغطاء النباتي، كل هذا العوامل جعلت من منطقة الدراسة منطقة مكشوفة لعب بها العامل المناخي من الجفاف والرياح السائدة دوراً فاعلاً في نقل وتطاير حبيبات التربة وندرة المواد العضوية مما جعل من المنطقة منطقة رملية بامتياز .

المحتوى الرطوبي للتربة

يقصد بها كمية الرطوبة الموجودة داخل مسامات التربة خلال وقت معين ويمكن حسابها على اساس الوزن الجاف لتلك التربة (Hassan, 2003) ان الرطوبة الموجودة داخل التربة تحدد كمية المياه على السطح فبوجود هذا الرطوبة تعمل على تماسك حبيبات التربة وبالتالي تمنع عملية ترشيع المياه الى داخل القشرة الارضية (Singh, 2014) وهذا الرطوبة تظهر في منطقة الدراسة في موسم تساقط الامطار فتزداد رطوبة التربة ونتيجة لذلك يزداد حجم الجريان السطحي تم اخذ العينات خلال موسم تساقط الامطار . ومن خلال الجدول (3) يتضح انخفاض معدل المحتوى الرطوبي والذي سجل 25,2% وهذا دليل على ان التربة في منطقة الدراسة هي

تربة مفككة يرتفع فيها نسبة الرمل والذي يسجل 68,66% اذ تنخفض نسبة المحتوى الرطوبي بوجود التربة ذات النسجة الخشنة.

جدول 3: الموقع الجغرافي والخصائص الفيزيائية لعينات التربة في حوض وادي الأمغر .

العينات	العمق/سم	دائرة العرض	خط الطول	طين %	غرين %	رمل %	نسجة التربة	المحتوى الرطوبي للتربة %
S1	30-0	29 38'50"	45 38'18"	6	27	67	مزيجية رملية	17
S2	30-0	29 38'30"	45 33'44"	4	18	78	رملية مزيجية	21
S3	30-0	29 33'44"	45 32'49"	11	37	52	مزيجية	9
S4	30-0	29 32'20"	45 26'58"	1	9	90	رملية	23
S5	30-0	29 27'47"	45 35'43"	2	16	82	رملية مزيجية	34
S6	30-0	29 24'50"	45 24'58"	4	8	88	رملية	29
S7	30-0	29 27'25"	45 29'42"	4	60	36	مزيجية غرينية	41
S8	30-0	29 23'10"	45 14,32"	21	22	57	مزيجية طينية رملية	26
S9	30-0	29 17'58"	45 36'65"	18	30	52	مزيجية	11
S10	30-0	29 19'46"	45 29'12"	5	10	85	رملية مزيجية	8
S11	30-0	29 16'11"	45 24'21"	4	28	68	مزيجية رملية	19
S12	30-0	29 20'90"	45 20'59"	33	31	36	مزيجية طينية	22
S13	30-0	29 13'30"	45 34'18"	1	7	92	رملية	33
S14	30-0	29 11'35"	45 24'11"	2	20	78	رملية مزيجية	37
S15	30-0	29 11'55"	45 17'25"	5	26	69	مزيجية رملية	48
المعدل				8.07	23.27	68,66		25,2

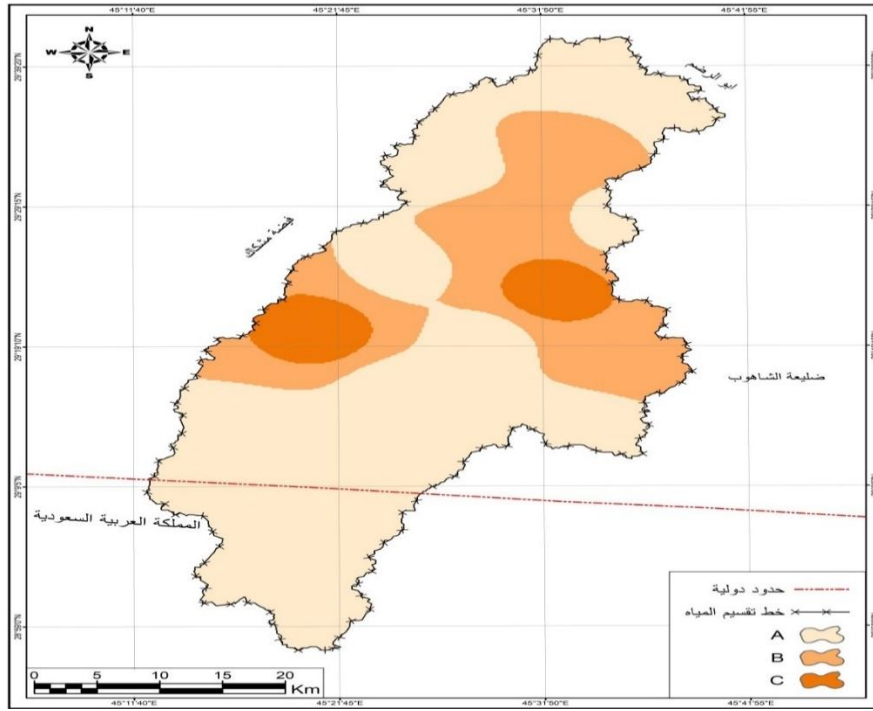
بناء نموذج (Soil Conservation Service) SCS-CN

وهي احدى اهم الطرائق المستخدمة في قياس حجم الجريان السطحي والتي تتعامل مع متغيرات عديدة تتمثل بالاستعمالات الارضية ونوع التربة والغطاء النباتي وكمية الامطار المتساقطة (Al-Ghobari et al., 2020; Kumar, 2013). طورت هذه الطريقة من قبل ادارة صيانة التربة للإدارة الزراعية في الولايات المتحدة الامريكية (Soil Conservation Service)، وقد تم الاعتماد عليها وذلك بسبب مميزاتها العديدة والتي تتمثل بدقة نتائجها وقدرتها على دراسة الاحواض ذات المساحات المختلفة. وتتطلب عملية تطبيق هذا النموذج استخدام العديد من المعادلات المختلفة من اجل للحصول على أفضل النتائج لتقدير حجم الجريان السطحي (Satheeshkumar, 2017; Mthethwa, 2020).

متطلبات طريقة استخلاص (CN)

1-المجموعات الهيدرولوجية لتربة الحوض

تعد خصائص التربة هي احدى اهم العوامل التي تحدد مدى قدرة الحوض على تقدير حجم الجريان (Ningaraju et al., 2016)، لذلك قامت صيانة التربة الامريكية بأعداد جدول يوضح مدى قدرة كل نوع من انواع التربة على الاحتفاظ بالمياه ومدى قابليتها على الترشيح اذ تم تصنيفها وفق اربعة مجاميع (A-B-C-D). بنيت هذا المجموعات اعتمادا على الخصائص الفيزيائية للتربة والمتمثلة بنسيج التربة والنسب المئوية لهذ النسجة (الرمل-الغرين-الطين) (USDA, 2009).



الشكل 4. اصناف التربة في حوض وادي الأمغر.

أ-المجموعة الهيدرولوجية (A): يوضح الجدول (4) انتشار التربة (A) بشكل واسع في الاجزاء الشمالية ممتدة نحو جنوب الحوض اذ تشغل مساحة 1166.33 كم² وهي بذلك تشكل حوالي 65.57% من مساحة الحوض الاجمالية، ان سبب انتشار هذه التربة بشكل كبير يعود الى طبيعية التربة ذات النسيج الخشن (الرملية). جدول (4) والشكل (4) يوضحان ذلك بالاعتماد على (Arc.10.8).

جدول 4: الترب الهيدرولوجية في منطقة الدراسة

النسبة المئوية%	مساحة الحوض/كم ²	نوع التربة
65.57	1166.33	A
27.45	488.35	B
6.98	124.08	C
100	1778.76	المجموع

ب-المجموعة الهيدرولوجية (B): توجد هذه المجموعة في الاجزاء الغربية من الحوض وبعض الاجزاء الشرقية ممتدة نحو الشمال اذ تشكل مساحة 488.35 كم² بنسبة 27.45% من اجمالي مساحة الحوض.

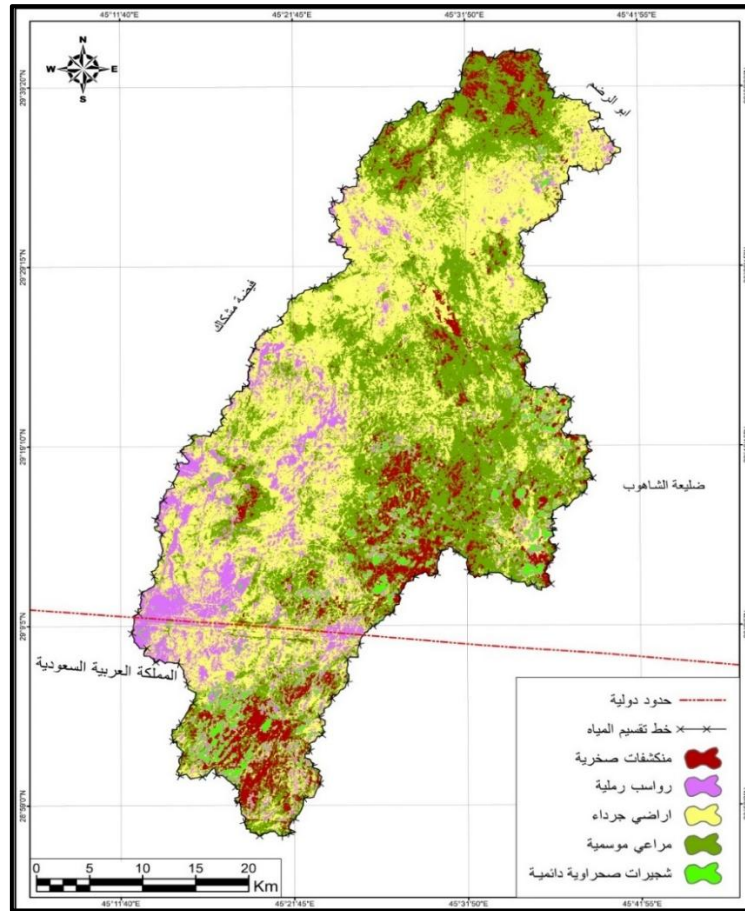
ج-المجموعة الهيدرولوجية (C): يقتصر انتشارها في اجزاء محدودة على شكل بقع صغيرة المساحة اذ توجد ضمن المجموعة (B) في الاجزاء الشرقية والغربية.

2-تصنيف الغطاء الارضي

تصنف اراضي منطقة الدراسة الى مجموعة من الغطاءات الارضية وفق استعمالات الارض التي تؤثر على كمية الجريان المائي (Mohammadi, 2021) اذ يوضح الجدول (5) انواع الاستعمالات التي تغطي منطقة الدراسة بالإضافة الى مساحة كل نوع من الاستعمال. تشكل الاراضي الجرداء أكبر الغطاءات الارضية ظهوراً بنسبة 41.68% من مساحة الحوض الاجمالية، بينما سجلت الشجيرات الصحراوية أدنى الغطاءات الارضية بنسبة 2.49% من اجمالي مساحة الغطاءات الارضية (جدول 5 والشكل 5) بالاعتماد على (Arc.10.8).

جدول 5: استعمالات الارض في منطقة الدراسة.

النسبة المئوية %	مساحة الحوض كم ²	نوع الاستعمال
2.49	44.36	شجيرات صحراوية دائمية
11.62	206.48	رواسب رملية
41.68	741.47	اراضي جرداء
35.59	633.11	مراعي موسمية
8.62	153.34	منكشفات صخرية
100	1778.76	المجموع



الشكل 5. اصناف الغطاء الارضي (استعمالات الارض) في حوض وادي الأغر.

ثانياً: -الحالة المسبقة لرطوبة التربة Antecedent Soil Moisture Condition (AMC)

من اجل الحصول على قيم CN، لابد من معرفة الحالة المسبقة للتربة (AMC) وهو مؤشر للمحتوى الرطوبي قبل بدء العاصفة المطرية التي تعد من أبرز المتطلبات للحصول على قيم CN اذ تحدد هذه الحالة قدرة التربة على حدوث الجريان السطحي، لذلك قام المختصون بتطوير طريقة SCS للحصول على قيم CN فتم تقسيم التربة في هذه الحالة الى ثلاثة اقسام (جدول 6) بالاعتماد على (Al-Asadi, 2023).

جدول 6: الحالة المسبقة للتربة وفق تصنيف SCS-CN.

مؤشر الجريان السطحي	نوع التربة	مجموع هطول الامطار لخمس ايام متتالية ملم	الحالة المسبقة لرطوبة التربة
ضعيف	التربة جافة (محتوى الرطوبة عند نقطه الذبول)	أقل من 35	AMC I
متوسط	متوسط الرطوبة	35-52.5	AMC II
عالي جدا	التربة مشبعة عمليا من الامطار	أكثر من 52.5	AMC III

استخلاص الارقام المنحنية CN لحوض وادي الأمغر

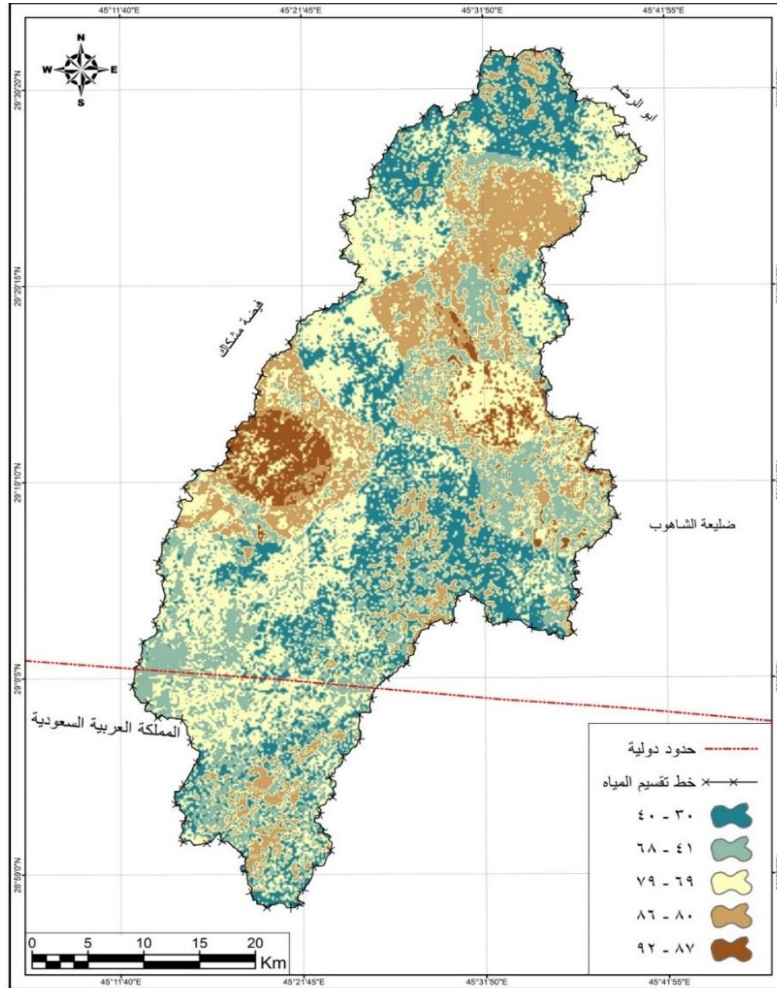
بعد الحصول على البيانات الهيدرولوجية للتربة والغطاء الارضي نقوم بعملية دمج هاتين الطبقتين في برنامج (Arc GIS 10.8) ووفق الجدول (7) بالاعتماد على (Chow *et al.*, 1988) المعد من قبل SCS لاشتقاق قيم CN. اذ ان هذه القيم تتراوح ما بين (30-92) وقد تم تصنيف هذه القيم الى خمس فئات وذلك للحصول على بيانات اكثر دقة اذ تمثل الفئة الثالثة (69-79) (الجدول 8) بالاعتماد على (Arc.10.8) اكبر فئة ظهور بمساحة 550.84 كم² وبنسبة 30.97% من مساحة الحوض وبسبب اقتراب القيم من 100 جعل هذه الفئة قادرة على احداث جريان سطحي، ويمكن ان يعود السبب في ذلك لقلة نفاذية التربة وايضا انحدار المنطقة الذي يتصف بالانبساط اذ تم قياس الانحدار من خلال معرفة اعلى وادنى نقطة في الحوض مقسومة على طول الحوض فظهر ان نسبة التضرس في الحوض بلغت (1.85) مما ساعد على زيادة توليد الجريان السطحي اذ تنتشر هذا الفئة في الاجزاء الشمالية الشرقية (الشكل 6). تقع هذه المنطقة ضمن الحوض الثالث والذي يتميز بدرجة انحدار (3.68 م/كم) مما ساعد على بدء الجريان، وكذلك يظهر وجودها في الاجزاء الغربية عند منطقة خط تقسيم المياه والذي يتميز بالانحدار الداخلي نحو الحوض. اما الفئة الاولى (30-40) والتي مساحتها 403.56 كم² بنسبة 22.69% من اجمالي مساحة الحوض، وتعد هذا الفئة من اقل الفئات قدرة على توليد الجريان السطحي ويعود السبب في ذلك لزيادة نفاذية التربة وضالتها التي حالت بينها وبين توليد جريان سطحي الا بشكل بسيط جدا، وتنتشر هذا الفئة في الاجزاء الشمالية الغربية والاجزاء الجنوبية الشرقية من الحوض، بينما سجلت الفئة الثانية (41-68) بمساحة 357.17 كم² بنسبة 20.08% من مساحة الحوض الكلية. هذه الفئة هي اكثر قدرة على توليد جريان سطحي من الفئة الاولى ويعود السبب في ذلك الى ارتفاع قيم CN مقارنة بالفئة الاولى، وتنتشر هذه الفئة في الاجزاء الشرقية والغربية من الحوض. اما الفئة الرابعة فتترواح قيم CN فيها ما بين (80-86) بمساحة 387.80 كم² بنسبة 21.8% من مساحة الحوض اذ تسجل هذا الفئة المرتبة الثالثة من حيث المساحة في منطقة الدراسة وتقع ضمن اجزاء مجموعة الترب (B) وتتميز بقدرتها العالية على توليد الجريان السطحي اذ ينتشر في الاجزاء الشمالية الشرقية والاجزاء الجنوبية من الحوض وربما يعود سبب ارتفاع قدرة هذه الفئة على الجريان خاصة في الاجزاء الشمالية الشرقية الى تقارب خطوط الكنتور من بعضها البعض مما زاد من عملية الانحدار. اما الفئة الخامسة (87-92) والتي تعد اصغر الفئات ظهوراً في منطقة الدراسة بمساحة 79.39 كم² بنسبة 4.46% من مساحة الحوض، وبالرغم من صغر مساحة هذه الفئة الا انها أكثر قدرة على توليد جريان سطحي، لكن صغر مساحتها قلل من كمية الجريان السطحي ضمن مساحة الحوض الاجمالية.

جدول 7: اشتقاق رقم المنحني CN وفق طريقة SCS.

مجاميع الترب الهيدرولوجية				وصف استخدام الارض
D	C	B	A	
91	88	81	72	بدون معالجة حماية التربة
81	78	71	62	معالجة حماية التربة
89	86	79	68	ظروف فقيرة
80	74	61	39	ظروف غنية جدا
78	71	58	30	ظروف جيدة
83	77	66	45	جناح خفيف - غطاء قليل
77	70	55	25	غطاء سميك وغني
80	74	61	39	ظروف جيدة: الغطاء العشبي 75% او اكثر
84	79	69	49	ظروف متوسطة: الغطاء العشبي 50-75%
95	94	92	89	المناطق التجارية والمهنية 85% غير نفاذة
93	91	88	81	المقاطعات الصناعية 72% غير نفاذة
				معدل غير نفاذ
92	90	85	77	معدل حجم القطعة
				معدل غير نفاذ
				8-1 فاكتر

87	83	75	61	38	1-4فاكتر
86	81	72	57	30	1-3فاكتر
85	80	70	54	25	1-2فاكتر
84	79	68	51	20	1فاكتر
98	98	98	98		قطع اراضى لوقوف السيارات معبدة-سطوح بممرات... الخ
98	98	98	98		معبدة مع ارصفة وجاري تصريف الامطار
91	89	85	76		طرق غير معبدة حصوية
89	87	82	72		طرق متروكة

الشوارع والطرق



الشكل 6. توزيع فئات قيم (CN) في حوض وادي الأمغر.

جدول 8: فئات قيم CN لحوض وادي الأمغر.

النسبة %	المساحة كم ²	قيم CN	الفئات
22.69	403.56	40-30	الفئة الأولى
20.08	357.17	68-41	الفئة الثانية
30.97	550.84	79-69	الفئة الثالثة
21.8	387.80	86-80	الفئة الرابعة
4.46	79.39	92-87	الفئة الخامسة
100	1778.76		المجموع

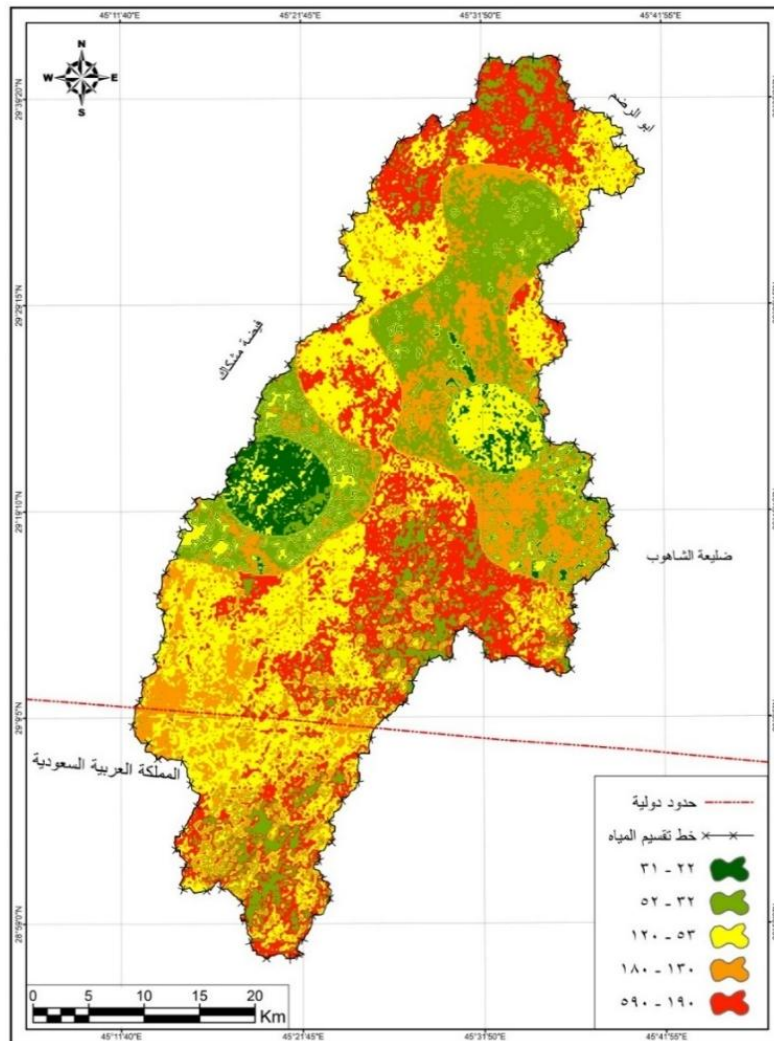
حساب معامل الامكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي (S)

يشير معامل (S) الى مدى قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه بعد بدء الجريان السطحي وتوقف عملية التسرب اذ تشير الى الحدود القصوى للتربة للاحتفاظ بالمياه (Ponce and Hawkins, 1996) وتتحدد القدرة على الاحتفاظ بالمياه على طبيعة التربة ومدى نسجتها وسمكها وطبيعة المواد الكيميائية التي تحتويها التربة من

مواد عضوية ومواد لاحمة وكذلك الخصائص الفيزيائية المتمثلة بتكوين التربة من الرمل والغرين والطين بالإضافة الى الاستخدامات التي تغطي التربة. وتشير قيم (S) التي تقترب من الصفر الى ضعف امكانية التربة على الاحتفاظ بالمياه (Williams *et al.*, 2012) مما يؤدي الى زيادة فرصة حدوث الجريان السطحي، بينما تدل القيم العالية على ارتفاع قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه مما يؤدي الى انخفاض امكانية حدوث الجريان السطحي. يتم احتساب قيمة (S) وفق المعادلة الاتية (Soulis , 2021)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

ومن ثم استخراجها ضمن برنامج (Arc GIS 10.8) اذ يلاحظ من الجدول (9) والشكل (7) بالاعتماد على (Arc.10.8) ان قيم (S) قسمت الى خمس فئات وتتراوح القيم ما بين 22 ملم وهي الاقل قدرة على الاحتفاظ بالمياه مما يعني انها قادرة على توليد جريان سطحي ضمن مساحة الحوض، والقيمة الاعلى التي سجلت لمعامل (S) هي 590 ملم وهذا يعني احتفاظها بالمياه وعدم قدرتها على توليد جريان سطحي. اما بالنسبة للفئات فسجلت الفئة الثالثة (53-120) القيم الاكبر مساحةً بلغت 716.58 كم² بنسبة 40.29% من مساحة الحوض الاجمالية وهذا يعني قدرة زيادة امكانية احتفاظ التربة بالمياه مما يؤدي الى ضعف توليد الجريان السطحي.



الشكل 7. فئات توزيع قيم(S) بالمليمتر في حوض وادي الأمغر.

جدول 9: توزيع قيم (S) في حوض وادي الأغر

النسبة %	المساحة/كم ²	S	الفئات
3.4	60.52	31-22	الفئة الأولى
15.51	275.86	52-32	الفئة الثانية
40.29	716.58	120-53	الفئة الثالثة
8.47	150.64	180-130	الفئة الرابعة
32.33	575.16	590-190	الفئة الخامسة
100	1778.76	المجموع	

أما الفئة الخامسة (290-590) فتسجل المرتبة الثانية من حيث المساحة بـ 575.16 كم² بنسبة 32.33% من مساحة الحوض. تظهر هذا الفئة في الأجزاء الشمالية الشرقية من الحوض. أما الفئة الرابعة (130-180) فإنها تشكل مساحة تقدر بـ 150.64 كم² بنسبة 8.47% من مساحة الحوض ويظهر انتشارها في الأجزاء الشمالية الشرقية وأجزاء متفرقة في جميع أجزاء الحوض. أما الفئة التي تدل على ضعف امكانية الاحتفاظ بالمياه والتي من خلالها تزداد فرصة حدوث جريان سطحي فهي الفئة الثانية (32-52) بمساحة 275.86 كم² بنسبة 15.51% من مساحة الحوض والذي يتناغم وجودها مع التربة (B) والفئة الأولى (22-31) بمساحة 60.52 كم² بنسبة 3.4% من مساحة الحوض الاجمالية وكما يتناغم وجودها مع مجموعة التربة (C) إذ ان هاتين الفئتين هما القادرتان على توليد جريان سطحي ضمن مساحة الحوض ويظهر تركيزهما في الأجزاء الشرقية والغربية من الحوض مع خط تقسيم المياه.

حساب معامل الاستخلاص الأولي (Ia)

يقصد بـ (Ia) بأنه يمثل المياه المفقودة الناتجة عن مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي، إذ ان هناك نسبة من هذه المياه تتعرض الى عملية التبخر نتيجة ارتفاع درجات الحرارة والتسرب نتيجة النفاذية العالية للتربة او نتيجة عملية الاعتراض من قبل النباتات او المياه المتسربة (Vojtek and Vojteková, 2016) نتيجة وجود الصدوع او نتيجة عمليات جيولوجية او وجود برك او مسطحات مائية عند المنخفضات إذ تعمل جميع هذه العوامل على وجود فواقد مائية تعمل على انخفاض حركة المياه السطحية، إذ تعد (Ia) من اهم العوامل التي تحدد كمية الجريان السطحي ويرتبط (Ia) بعلاقة قوية بين التربة والاستعمالات الارضية وهناك علاقة ما بين (S و Ia) إذ تعد قيمة (Ia) هي خمس قيمة (S) وتستخرج وفق المعادلة الآتية (Asish et al., 2022):

$$Ia = 0.2 S$$

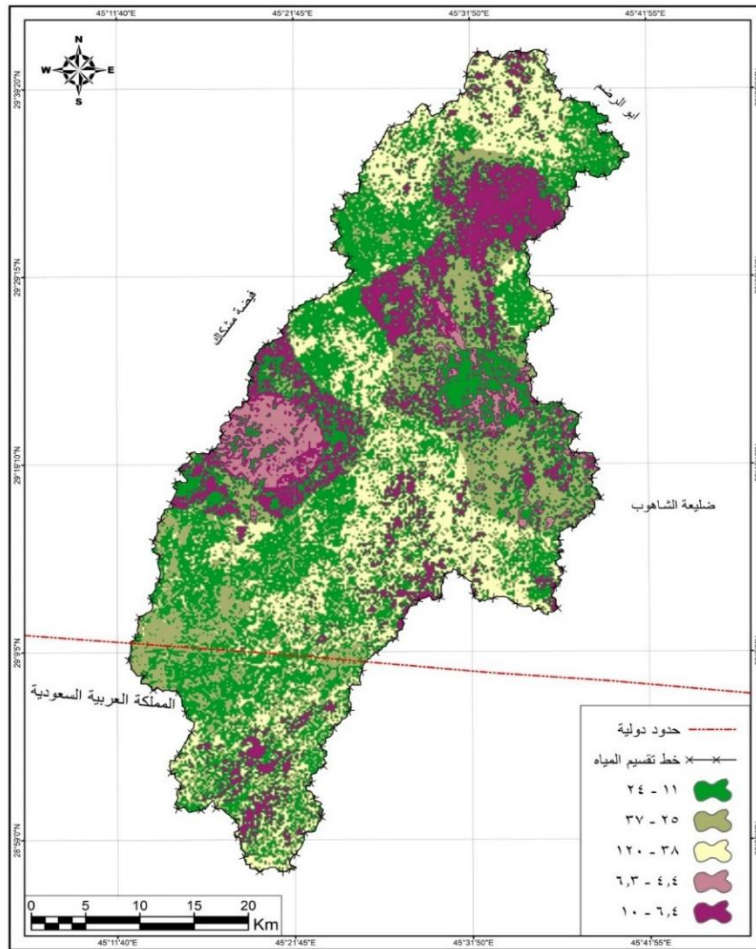
S=الامكانية القصوى للاحتفاظ بالمياه بعد بدء الجريان السطحي

جدول 10: قيم (Ia) في حوض وادي الأغر.

النسبة %	المساحة/كم ²	Ia	الفئات
4.46	79.39	6.3-4.4	الفئة الأولى
21.8	387.80	10-6.4	الفئة الثانية
32.93	585.78	24-11	الفئة الثالثة
18.12	322.23	37-25	الفئة الرابعة
22.69	403.56	120-38	الفئة الخامسة
100	1778.76	المجموع	

تمثل القيمة (50.8 ملم) الحد الفاصل في وجود جريان سطحي إذ ان القيمة التي تقل عن (50.8) وباقترابها من الصفر يعني قلة وانخفاض كمية المياه المفقودة، وهذا يعني ارتفاع احتمالية توليد جريان سطحي

بسبب ان كمية المياه المتساقطة تفوق قدرة الترب او الاستعمالات الارضية على فقدان المياه (Kimeli, 2017)، اما ابتعاد قيمة (Ia) عن (50.8 ملم) نحو الاعلى فيدل على ارتفاع كمية الفاقد المائي وبالتالي انخفاض كمية المياه وتراجع امكانية توليد جريان سطحي بسبب هذه الفواقد التي تفوق قدرة المياه المتساقطة على توليد الجريان. ويتم استخلاص قيم (Ia) وفق برنامج (Arc GIS 10.8) اذ يلاحظ من الجدول (10) والشكل (8) بالاعتماد على (Arc.10.8) تقسيم منطقة الدراسة الى خمس فئات اذ تتراوح القيم ما بين (4.4-120 ملم) وتشكل الفئة الثالثة (11-24 ملم) اكبر مساحة بلغت 585.78 كم² بنسبة 32.93% من مساحة الحوض والتي تظهر في منطقة الدراسة في الاجزاء الشمالية الشرقية والجنوبية الغربية. اما الفئة الثانية (6.4-10 ملم) والتي تظهر بمساحة 387.80 كم² بنسبة 21.8% من مساحة الحوض والتي تظهر في الاجزاء الشرقية والغربية والتي يتناغم وجودها مع التربة ضمن المجموعة (B)، اما الفئة الرابعة (25-37 ملم) بمساحة 322.23 كم² بنسبة 18.12% من مساحة الاجمالية. اما الفئة الاولى (4,4-6,3 ملم) فهي من اكثر الفئات قدرة على توليد جريان سطحي نتيجة انخفاض كمية المياه المفقودة اذ تسجل هذه الفئة 79.39 كم² بنسبة 4.46% من مساحة الحوض الاجمالية والتي يظهر وجودها ضمن التربة (C). ان جميع الفئات السابقة لها القدرة على تكوين جريان سطحي بسبب قلة الفاقد المائي فيها ولكن تختلف مدى استجابتها لتوليد جريان سطحي. اما الفئة الخامسة (38-120 ملم) فيستطيع جزء منها توليد جريان سطحي حتى يصل الى الحد المقرر وهو (50.8 ملم) وتشكل هذا الفئة مساحة 403.56 كم² بنسبة 22.69% من مساحة الحوض، وهذا يعني ان اكثر من 80% من مساحة الحوض قادرة على توليد جريان سطحي بسبب قلة الفاقد المائي بعد تساقط الامطار وقبل بدء الجريان.



الشكل 8. توزيع قيم (Ia) في حوض وادي الأمغر.

قياس عمق الجريان السطحي السنوي (Q)

هو مقدار المياه التي تولد الجريان السطحي أثناء تساقط الأمطار من خلال الاعتماد على قيم (CN-Ia-) (S) والاستعانة بالمعدل السنوي للأمطار في المحطات الست التي تحيط بمنطقة الدراسة والتي تم توضيحها في الشكل (9)، إذ تم الاعتماد على المعادلة الآتية لاستخراج عمق الجريان السطحي (2017) (Satheeshkumar,):

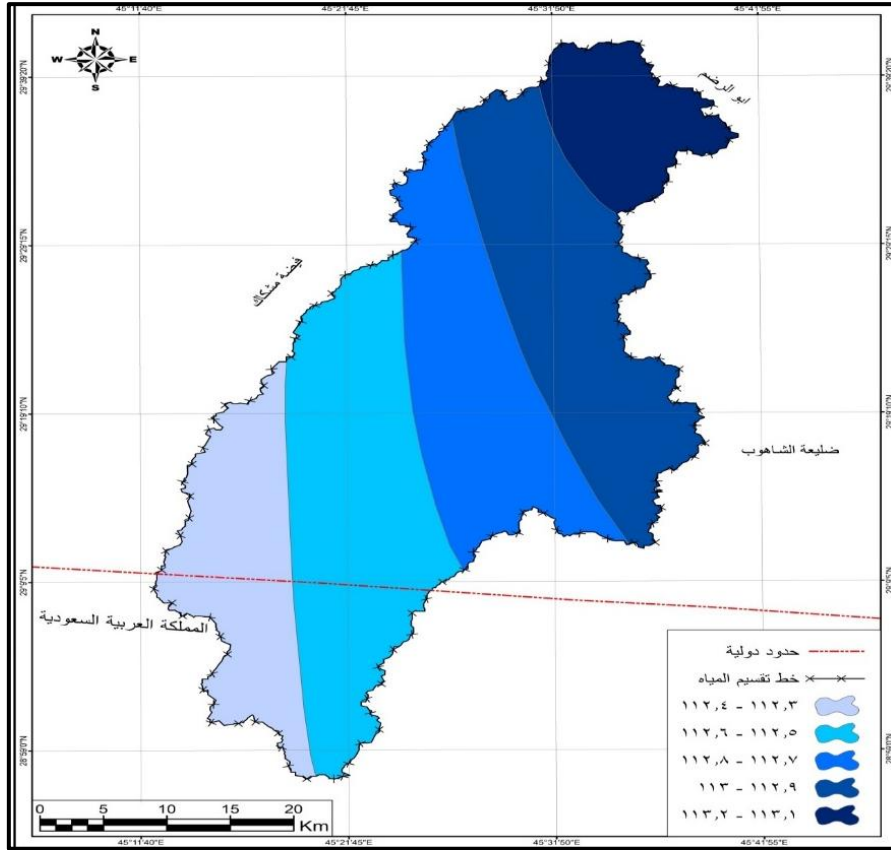
$$Q = \frac{(P - Ia)2}{P + 0.8S}$$

حيث ان: Q=عمق الجريان السطحي (البوصة)؛ P=كمية الأمطار المتساقطة؛ Ia=الاعتراض الأولي قبل بدء الجريان السطحي؛ S=التجمع السطحي بعد بدء الجريان السطحي.

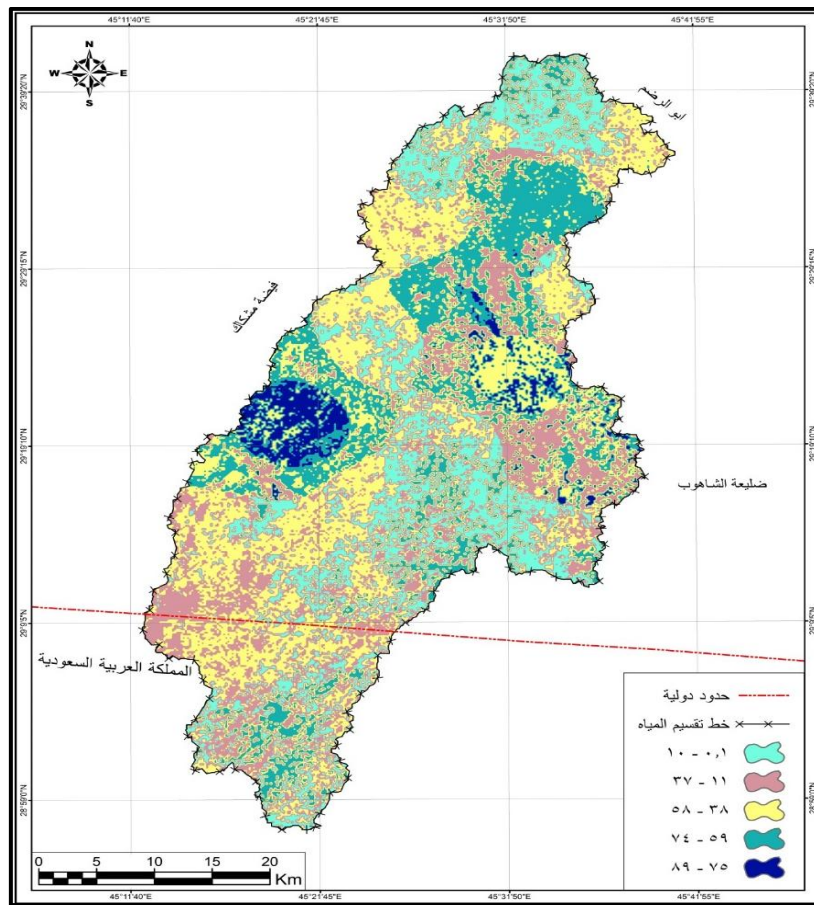
ومن خلال ادخال هذه المعطيات ضمن برنامج (Arc GIS 10.8) بالاستعانة بـ Spatial Analyst، تم احتساب الجريان السطحي إذ يوضح الجدول (11) والشكل (10) تراوح قيم عمق الجريان السطحي ما بين (0-89) ملم إذ يلاحظ ان الفئة الثالثة (38-58) تسجل مساحة 550.84 كم² بنسبة 30.97% من مساحة الحوض الاجمالية، إذ تسجل هذه القيمة كأعلى عمق للجريان السطحي وتتوزع هذا الفئة في الاجزاء الشمالية الشرقية والجنوبية الغربية من الحوض، بينما تسجل الفئة الاولى (0.1-10) ثاني اعلى عمق للجريان بمساحة 403.56 كم² بنسبة 22.61% من مساحة الحوض الاجمالية وتظهر في الاجزاء الشمالية والشرقية من الحوض، بينما سجلت الفئة الرابعة (59-74) مساحة 387.80 كم² بنسبة 21.8% من مساحة الحوض. اما الفئة الثانية (11-37) فقد سجلت مساحة 307.17 كم² بنسبة 20.08% من مساحة الحوض. واخيراً سجلت الفئة الخامسة (75-89) كأصغر الفئات مساحة بلغت 79.39 كم² بنسبة 4.46% من مساحة الحوض، الا ان هذا الفئة هي من اكبر الفئات عمقاً للجريان، ويرتبط وجود هذه الفئة مع التربة الهيدرولوجية صنف (C) وان هذا التفاوت بين القيم ضمن الفئات المختلفة يشير الى وجود تباين في قيم أعماق الجريان بين اجزاء الحوض المختلفة.

جدول 11: قيم (Q) في حوض وادي الأغر.

النسبة %	المساحة كم	Q	الفئات
22.69	403.56	10-0	الفئة الاولى
20.08	357.17	37-11	الفئة الثانية
30.97	550.84	58-38	الفئة الثالثة
21.8	387.80	74-59	الفئة الرابعة
4.46	79.39	89-75	الفئة الخامسة
100	1778.76		المجموع



الشكل 9. خطوط عمق المطر (مم) المتساوية في حوض وادي الأمغر.



الشكل 10. فئات عمق الجريان السطحي (Q) في حوض وادي الأمغر.

تقدير حجم الجريان السطحي (QV)

يمثل (QV) واحداً من اهم المتغيرات الهيدرولوجية التي تسعى الى التعرف على كمية المياه التي تتساب على سطح الارض بعد التخلص من المفقودات المائية (Van Dam et al., 2008). وبعد معرفة عمق الجريان (Q) من خلال الاستدلال على القيمة المساحية (30*30) بمساحة (900 م²) تمت عملية دمج للمعطيات (S-Ia-Q) ضمن برنامج (Arc GIS 10.8) وباستخدام المعادلة الاتية (Albaji, 2021; Nath,) (2020):

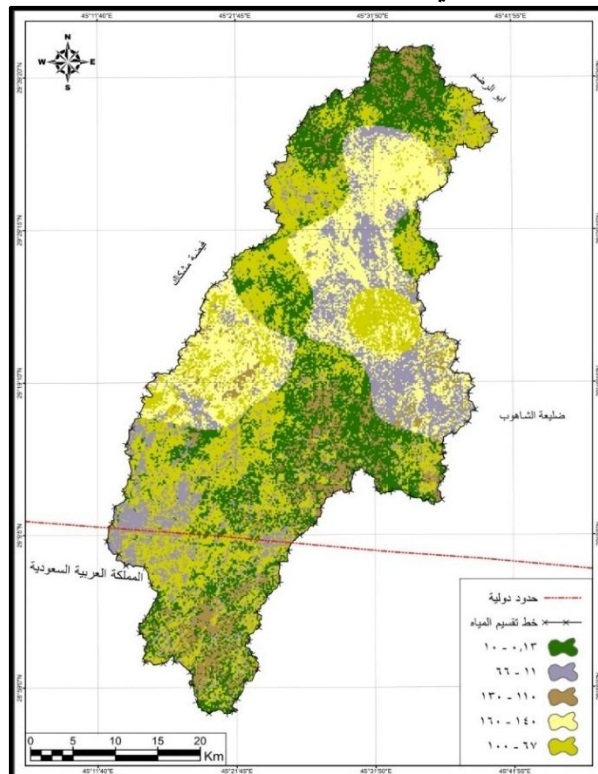
$$QV = (Q * A / 1000)$$

حيث ان: QV = حجم الجريان السطحي/م³؛ Q = عمق الجريان السطحي /ملم؛ A = مساحة الحوض/كم²؛
1000 = معامل التحويل.

جدول 12: قيم (QV) في حوض وادي الأغر.

النسبة %	مساحة الحوض/كم ²	QV	الفئات
22.69	403.57	10-0.13	الفئة الاولى
18.12	322.23	66-11	الفئة الثانية
32.43	576.93	100-67	الفئة الثالثة
8.49	151.01	130-110	الفئة الرابعة
18.27	325.02	160-140	الفئة الخامسة
100	1778.76		المجموع

يلاحظ من الجدول (12) والشكل (11) باستخدام البرنامج (Arc GIS 10.8) والمعادلة اعلاه ان اعلى جريان سطحي يظهر ضمن الفئة الخامسة (140-160) بمساحة 325.02 كم² بنسبة 18.27% من مساحة الحوض والتي تظهر في الاجزاء الغربية عند خط تقسيم المياه اذ تسجل اعلى قيم للجريان، بينما الفئة التي تسجل اعلى ظهور في منطقة الدراسة فهي الفئة الثالثة (67-100) بمساحة 576.93 كم² بنسبة 32.43% من مساحة الحوض، في حين كانت الفئة الادنى تسجيلاً لقيم (QV) هي الفئة الاولى (0.13-10) ملم بمساحة 403.57 كم² بنسبة 22.69% من اجمالي منطقة الدراسة.



الشكل 11. فئات حجم الجريان السطحي (QV م³) في حوض وادي الأغر.

الاستنتاجات

يتألف حوض وادي الأمغر من تكوينات جيولوجية من العصر الثلاثي أكثر من تكوينات العصر الرباعي مما يؤثر على الخصائص الهيدرولوجية للحوض. بلغت كمية الامطار الساقطة على الحوض خلال فترة الدراسة (2000-2023) حوالي 113.9 ملم، وهي كمية محدودة لكنها كافية لإظهار قدرة الحوض على توليد جريان سطحي. وعلى الرغم من ان الحوض يقع ضمن منطقة البادية ذات المناخ الصحراوي القاسي، الا ان طبيعة تربة الحوض تساهم بشكل كبير في تكوين الجريان السطحي. تعد الخصائص الفيزيائية للتربة من العوامل المحددة الرئيسية لمدى قدرة الحوض على توليد الجريان.

المصادر

- Abdulla, H.H., 2011. Morphometric parameters study for the lower part of Lesser Zap using GIS technique. Diyala Journal of Pure Sciences, 7(2), pp. 127-155.
- Al-Ghobari, H., Dewidar, A., and Alataway, A., 2020. Estimation of surface water runoff for a semi-arid area using RS and GIS-based SCS-CN method. Water, 12(7), 19.
- Dikran, D.B. and Ghali, A.A., 1995. Geological report of Al-Rakhimiyah quadrangle (N-38-11). Baghdad. (In Arabic).
- Al-Asadi, S.A.A.R., 2023. Hydrology and water resources. Dar Al-Ma'arif for University Books. (In Arabic).
- Hamza, H.A.H., 2019. Cartographic representation of natural resources in the southern Iraqi desert using RS and GIS techniques (Doctoral dissertation, University of Basra, College of Education for Human Sciences, Part I). (In Arabic).
- Hassan, T.A.S., 2003. Water, agriculture, and population. Dar Alaa Al-Din.
- Stettler, E.H. and Kleywegt, R.J. 2016. The Geological Survey and Council for Geoscience. The History of Geophysics in Southern Africa. (In Arabic).
- Saha, A., Ghosh, M. and Pal, S.C., 2022. Estimation of rainfall-runoff using SCS-CN method and GIS techniques in drought-prone area of Upper Kangsabati Watershed, India. Sustainable Water Resources Management, 8(5), 130.
- Al-Shamrani, S.A.A., 1996. Soil conservation methods from erosion in the Sarawat region, southwestern Saudi Arabia. Institute of Scientific Research and Revival of Islamic Heritage, Umm Al-Qura University. (In Arabic).
- Ministry of Transport and Communications, Iraqi Meteorological Organization and Seismology, Climate Department, 2023. Unpublished climatic data. Baghdad, Iraq. (In Arabic).
- Al-Miyali, Y.H.M., 2022. Landforms in Wadi Al-Akrawi basin in Al-Muthanna desert using remote sensing and GIS techniques (Doctoral dissertation, University of Basra, College of Education for Human Sciences). (In Arabic).
- Burlando, P. and Rosso, R., 1996. Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation. Journal of Hydrology, 187(1-2), pp. 45-64.

- Al-Asadi, K.H.F., 2012. Variation of morphometric characteristics of the valleys of the western plateau in Najaf Governorate and their relationship to human activity (Doctoral dissertation, University of Kufa, College of Arts). (In Arabic).
- Lutgens, F.K., Tarbuck, E.J. and Tasa, D.G., 2000. Essentials of geology. Upper Saddle River.
- Jaton. J.F., 1980 Hydrologic Resurface (1 ere parties) Emolument surface ET Debits cruse, Ecolab Polytechnique, Instate De Genie Company Limited, Third Edition, New Delhi, Kanpur.
- Goyal, M.K., 2016. Engineering hydrology. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Soulis, K.X., 2021. Soil conservation service curve number (SCS-CN) Method: Current applications, remaining challenges, and future perspectives. *Water*, 13(2), 192.
- Philip, B. Bedient, 2019. Hydrology and Floodplain Analysis, Pearson Education, Inc, Rice University.
- Satheeshkumar, S., Venkateswaran, S. and Kannan, R., 2017. Rainfall–runoff estimation using SCS–CN and GIS approach in the Pappiredipatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(1), 24. [DOI: 10.1007/s40808-017-0301-4](https://doi.org/10.1007/s40808-017-0301-4)
- USDA 2009, Hydrologic Soil Groups, In National Engineering Handbook; Part 630 Hydrology, P.2.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W., 1988. Applied hydrology.
- Abdalla, E.M.H., Pons, V., Stovin, V., De-Ville, S., Fassman-Beck, E., Alfredsen, K., and Muthanna, T.M., 2021. Evaluating different machine learning methods to simulate runoff from extensive green roofs. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(11), 5917-5935. doi.org/10.5194/hess-25-5917-2021, 2021.
- Adnan, R.M., Petroselli, A., Heddam, S., Santos, C.A.G. and Kisi, O., 2021. Short term rainfall-runoff modelling using several machine learning methods and a conceptual event-based model. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35(3), 597-616. <mailto:doi.org/10.4324/9780203371084>
- Khalaf, F.I., 2011. Occurrence of diagenetic pseudobreccias within the paleokarst zone of the upper Dammam Formation in Kuwait, Arabian Gulf. *Arabian Journal of Geosciences*, 4, 703-718.
- Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (Eds.), 2000. Terrain analysis: principles and applications. John Wiley and Sons.
- Blum, W.E., 2005. Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4, 75-79.
- SU, S.L., Singh, D.N. and Baghini, M.S., 2014. A critical review of soil moisture measurement. *Measurement*, 54, pp. 92-105. doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.007 [Get rights and content](#)
- Kumar Mishra, S., Gajbhiye, S. and Pandey, A., 2013. Estimation of design runoff curve numbers for Narmada watersheds (India). *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 1(1), pp. 69-79.

- Nath, A., Mthethwa, F. and Saha, G., 2020. Runoff estimation using modified adaptive neuro-fuzzy inference system. *Environmental Engineering Research*, 25(4), pp. 545-553. doi.org/10.4491/eer.2019.166
- Ningaraju, H.J., Ganesh Kumar, S.B. and Surendra, H.J., 2016. Estimation of Runoff Using SCS-CN and GIS Method in ungauged watershed: A Case Study of Kharadya mill watershed, India.
- Mohammadi, B., 2021. A review on the applications of machine learning for runoff modeling. *Sustainable Water Resources Management*, 7(6), 98. doi.org/10.1007/s40899-021-00584-y
- Ponce, V.M. and Hawkins, R.H., 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), pp. 11-19.
- Williams, J.R., Kannan, N., Wang, X., Santhi, C. and Arnold, J.G., 2012. Evolution of the SCS runoff curve number method and its application to continuous runoff simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(11), pp. 1221-1229. [DOI: 10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000529](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000529)
- Vojtek, M. and Vojteková, J., 2016. GIS-based approach to estimate surface runoff in small catchments: A case study. *Quaestiones Geographicae*, 35(3), pp. 97-116.
- Kimeli, N., 2017. Application of GIS estimation water runoff volume in water collection sites: case study of the Northern Collector Water Tunnel (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F. and Kroes, J.G., 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone Journal*, 7(2), 640-653. [Doi: org/10.2136/vzj2007.0060](https://doi.org/10.2136/vzj2007.0060)



نمذجة خطر الفيضان لنهر ديالى في مدينة بعقوبة باستخدام برنامج HEC-RAS

زينب كامل تايه¹ ID، عمار حسين محمد² ID

¹قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة ديالى، بعقوبة، العراق.

²قسم الجغرافيا، كلية التربية الاساسية، جامعة ديالى، بعقوبة، العراق.

المخلص

يتناول البحث عمليات النمذجة الهيدروليكية لفهم سلوك الأنهار من خلال إنشاء نظام محاكاة لجريان النهر. ويهدف هذا البحث إلى نمذجة موجة فيضان نهر ديالى في مدينة بعقوبة لتحديد مناطق الخطورة ودرجات خطورتها وقد تم استخدام منهجية علمية تعتمد على التحليل الكمي والبرمجة الحاسوبية واستخدام بيانات موجة الفيضان للسنوات 1988 و2019 وبرنامج Hec-Ras وإدخال البيانات الهندسية واستخدام معامل مانينج وإضافة البيانات الهيدرولوجية وتحليل النتائج ورسم خريطة المخاطر وتصنيفها في المنطقة. تم دراسة 36 مقطع عرضي لمجرى النهر وكانت النتائج عند فترات عائد هطول مختلفة (10، 20، 50، 100 سنة) للنتبؤ بعمق وسرعة المياه من (7.1 م) في (10 سنوات) إلى (7.5 م) في (100 سنة)، وتراوح سرعة المياه بين (0.91 م/ث) في (10 سنوات) إلى (1.5 م/ث) في (100 سنة). وأشارت نتائج المناطق التي تمثل خطراً متفاوتاً على جميع السكان في منطقة الدراسة إلى نسبة (22%) من المساحة الكلية للمنطقة وهي نسبة ليست بالضئيلة مقارنة بحجم الخطر الذي يهدد أرواح وممتلكات السكان، وضرورة تدخل الدولة لحماية أرواح وممتلكات السكان من خلال إعادة تخطيط المناطق السكنية ومعالجة المناطق السكنية التي تعدت على منطقة النهر قانونياً وإنسانياً.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 14- ديسمبر - 2024

تاريخ المراجعة: 02- فبراير - 2025

تاريخ القبول: 20- ابريل - 2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

ديالى،

بعقوبة،

فيضان،

نمذجة،

موجة،

المراسلة:

الاسم: عمار حسين محمد

Email: amr_hu2010@yahoo.com

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56088](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56088), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Modeling the Flood Risk of Diyala River in Baquba City Using HEC-RAS Program

Zainab Kamil Taeih ¹ , Ammar Hussein Mohammed ^{2*} 

¹ Department of Geography, College of Education for Humanity Sciences, University of Diyala, Baquba, Iraq.

² Department of Geography, College of Basic Education, University of Diyala, Baquba, Iraq.

Article information

Received: 14- Dec- 2024

Revised: 02- Feb -2025

Accepted: 20- Apr -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Diyala,
Baquba,
Flood,
Modeling,
Wave,

Correspondence:

Name: Ammar Hussein
Mohammed

Email:

amr_hu2010@yahoo.com

ABSTRACT

The research deals with hydraulic modeling processes to understand the behavior of rivers by creating a simulation system for river flow. This research aims to model the Diyala River flood wave in the city of Baqubah to determine the risk areas and their risk degrees. A scientific methodology is used based on quantitative analysis and computer programming, using flood wave data for the years 1988 and 2019. Also, the Hec-Ras program is used to enter engineering data, using the Manning coefficient and adding hydrological data, thereafter, and analyzing the results, drawing a risk map, and classifying it in the region. 36 cross-sections of the river course are studied, and the results at different rainfall return periods (10, 20, 50, 100 years) are utilized to predict the depth and speed of water from (7.1 m) in (10 years) to (7.5 m) in (100 years). The speed of water ranges between (0.91 m/s) in (10 years) to (1.5 m/s) in (100 years). The results of the areas that represent a varying risk to all residents in the study area indicated a percentage to (22%) of the total area of the area, which is not a small percentage compared to the size of the risk that threatens the lives and property of residents, and the necessity of state intervention to protect the lives and property of people by re-planning residential areas and treating residential areas that have encroached on the river area legally and humanely.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56088](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56088), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

يتمثل مفهوم أخطار الفيضان في درجة تفاعل القنوات والمجاري المائية في أحواض مستجمعات المياه مع التصاريح العالية وقدرة تلك الأحواض من خلال خصائصها الطبيعية من تحول هطول الأمطار إلى جريان سطحي عال وفق توقيتات زمنية معينة (Al-Hayali, 2021). وأقر العديد من الباحثين بحقيقة ان زيادة الأنشطة الحضرية في مناطق الفيضانات ستؤدي إلى زيادة تصريف الذروة وتقليل الوقت الى الذروة وزيادة حجم الجريان السطحي (Abdul Karim, 2021) حيث ينتج عن الامطار الغزيرة جريان سطحي وزيادة في كمية المياه في احواض التصريف، مما يؤدي الى تغيرات في استعمالات الارض نتيجة للأنشطة البشرية والتطبيقات الهندسية المختلفة، الامر الذي يساعد في زيادة حجم الجريان، وهناك حاجة ملحة الى معرفة الطرائق والنماذج التي تفسر العوامل التي تسبب الفيضانات للتخفيف من أثارها (Awawda, 2021). وبالرغم من ان التدفق المائي هو من الوظائف الطبيعية للأحواض النهرية، الا ان استقبال تلك الأحواض كميات أكبر من طاقتها وإمكاناتها من المياه يؤدي إلى حدوث خطر يهدد الارواح والممتلكات (Hussein, 2022)، ويتفاوت ذلك الخطر وفق عوامل البيئة وجيومورفولوجية وجيولوجية وهيدرولوجية حوض التصريف المائي. وفي هذا البحث تم استخدام النماذج الهيدروليكية للتنبؤ وفهم التطورات الهيدرولوجية، والنماذج الهيدروليكية يقصد بها محاكاة لعمليات الجريان التي تحدث في أحواض التصريف مع أول لحظة لسقوط الامطار، وقد تم استخدام برنامج (HEC-RAS) وهو احد النماذج التي تستوفي المعايير المحلية والعالمية ، وهو برنامج حاسوبي هيدروليكي يختص بنمذجة ومحاكاة علاقة الأمطار بالجريان السطحي في احواض التصريف. ان ادخال المعلومات في البرنامج يتم باعادة انشاء ملفات الادخال والاخراج فضلا عن تنظيم الوقت في نموذج قاعدة البيانات الجغرافية والهدف هو الاستفادة من التحليل المكاني لهذه التقنية (Mohammed, 2019) وقد تعرضت منطقة

الدراسة الى عدد من الفيضانات السابقة ومنها فيضان 1988 واخرها 2019 ، والتي قد تحدث لاسباب طبيعية كما حصل في فيضان 2019 او نتيجة لقرارات الحكومة بفتح بوابات السدود وزيادة التصريف لاسباب مختلفة كما حصل عام 1988 (Saloum and Mohammed, 2024)، وتحاول هذه الدراسة تقييم حجم الجريان السطحي للمنطقة المحصورة بين جسري بعقوبة الثالث وبهرز. وقد بنيت المشكلة على اساس تعرض منطقة الدراسة لكميات كبيرة من الجريان السطحي كلما زادت كميات الامطار وكان اخرها في عام 2019 ، مما جعلها تحت خطر الفيضانات المفاجئة.

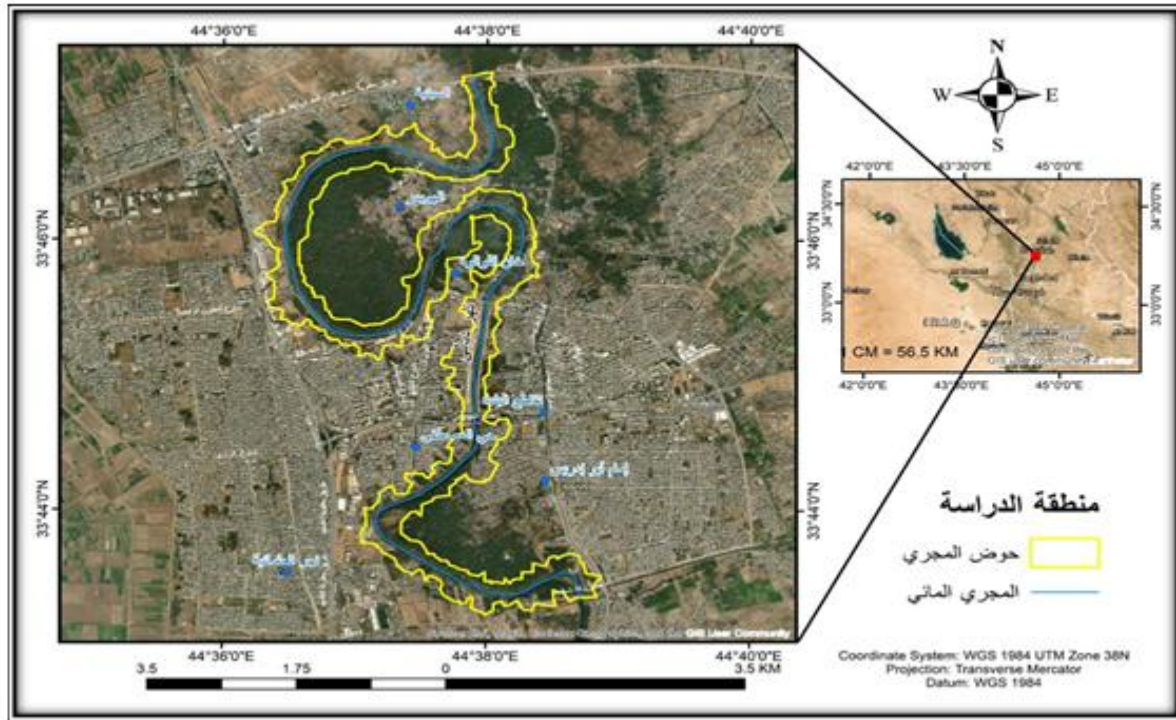
هدف الدراسة

تهدف الدراسة الى نمذجة الموجة الفيضانية لنهر ديالى في مدينة بعقوبة وتحديد مناطق الخطر التي تسببها الموجة الفيضانية ودرجة خطورتها باستخدام برنامج (HEC-RAS) خلال فترات زمنية مختلفة من (10-100 سنة) لتقدير حجم الخطر على المناطق العمرانية والزراعية في منطقة الدراسة.

المواد والطرائق

تقع منطقة الدراسة وسط مدينة بعقوبة مركز محافظة ديالى بامتداد من شمال المدينة حتى جنوبها مع مجرى نهر ديالى بصفته. و يقسم النهر مدينة بعقوبة الى قسمين (شرقي وغربي) بين خطي طول $44^{\circ}34'00''$ و $44^{\circ}40'00''$ شرقاً ودائرتي عرض $33^{\circ}42'00''$ و $33^{\circ}48'00''$ شمالاً.

تم الاعتماد في الدراسة على استخدام منهج التحليل الكمي - البرمجي الذي يعتمد على الاساليب الكمية في نشأة وتطور الظاهرة من خلال تطبيق برنامج (HEC-RAS) لتحديد حركة وسرعة وصول المياه وعمقها خلال فترات زمنية مختلفة.



الشكل 1. موقع منطقة الدراسة.

النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد:

تم استخدام برنامج مركز الهندسة الهيدرولوجية - نظام تحليل الجريان في الأنهار (Hydrologic Engineering) Center's - River Analysis System (HEC-RAS V.6.1) وهو عبارة عن مجموعة برمجيات هندسية تسمح للمستخدم

يُجرى الحسابات الهيدروليكية من تدفق المياه عبر القنوات المائية الطبيعية والقنوات الأخرى، سوف تعتمد الدراسة على الإصدار 6.1 من برنامج HEC-RAS لإجراء محاكاة ثنائية الأبعاد لتدفق المياه في منطقة الدراسة إذ حظيت بأكثر قدر من الاهتمام البحثي لمحاكاة التدفق ثنائية الأبعاد (Rangari et al., 2019). كان البرنامج احادي البعد قبل تحديث عام 2016 للإصدار 5.0، ولم يكن به نمذجة مباشرة للتأثير الهيدروليكي لتغيرات شكل المقطع العرضي والانحناءات والجوانب الأخرى ثنائية وثلاثية الأبعاد للتدفق، ولإنشاء نموذج ثنائي الأبعاد لتحديد عمق الجريان وسرعته من خلال نظام HEC-RAS فسوف يتم ذلك من خلال سلسلة من الخطوات كما يلي:

1- إدخال البيانات الهندسية:

يتم ذلك من خلال ترسيم حدود منطقة الدراسة، وتحديد مقطع المنطقة المدروسة من النهر وذلك باستخدام مجموعة الأدوات الموجودة في قائمة 2D Flow Areas وهما أدوات (Break lines و Perimeters) ثم تحديد المصب من خلال أداة Boundary Condition Lines.

2- تعريف معامل ماننغ داخل برنامج (HEC-RAS):

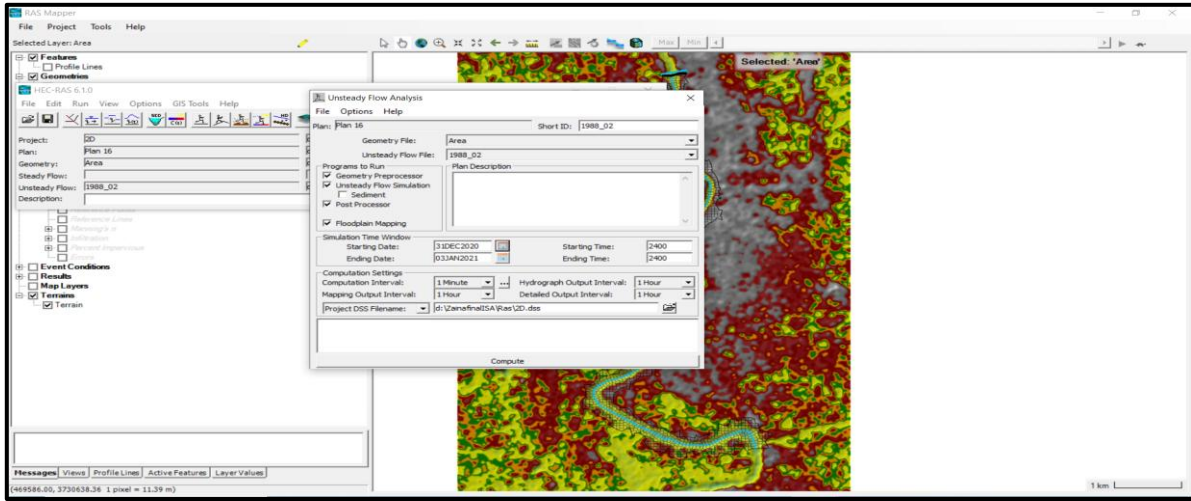
يعرف بمعامل الخشونة وهو معامل مشتق تجريبياً ويعتمد على العديد من العوامل مثل خشونة السطح والانسيابية. وقد تم اعتماد قيمة معامل ماننغ (0.06) كمعامل لخشونة التربة في منطقة الدراسة وذلك وفقاً لجدول Manning's n for Channels (Chow, 1959) لتصريف المائية المفتوحة و تم اختيار معامل ماننغ (0.06) في هذه الدراسة بناءً على الخصائص الهيدرولوجية لمجرى نهر ديالى في المنطقة الواقعة بين جسري بعقوبة الثالث وبهرز. تقع هذه المنطقة ضمن المجرى الأوسط للنهر (Middle Course)، حيث تتوازن العمليات الهيدرولوجية بين التعرية والترسيب، ويتميز القاع بتنوع في الرواسب ما بين الرمل، الطمي، وبعض الحصى. بالإضافة إلى ذلك، فإن وجود تعرجات معتدلة ووظائف مغطاة جزئياً بالنباتات يزيد من مقاومة التدفق، مما يستدعي استخدام معامل ماننغ ضمن القيم المتوسطة إلى العالية للقنوات الطبيعية. طبيعة القاع في هذه المنطقة تتكون من رواسب طينية ورملية مع حصى خشن جزئياً، مما يرفع من مقاومة التدفق مقارنة بالقنوات الرملية أو الطينية فقط. كما أن وجود تعرجات متوسطة في مجرى النهر يؤدي إلى تغيرات في التدفق المائي وزيادة تأثيرات الاحتكاك والاضطراب الهيدروليكي، مما يساهم في رفع قيمة معامل ماننغ. علاوة على ذلك، فإن بعض أجزاء الضفاف تحتوي على غطاء نباتي متوسط الكثافة، وهو عامل إضافي يؤثر على سرعة الجريان واحتكاك المياه بجوانب المجرى.

3- تعريف البيانات الهيدرولوجية والهيدروليكية:

لتشغيل النموذج لابد من توافر البيانات الهيدرولوجية الخاصة بمنطقة الدراسة والتي تم حسابها من خلال تطبيق النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS حيث يتم في هذه المرحلة إدخال بيانات الجريان وبيانات التساقط المطري التي تم استخراجها من النموذج الهيدرولوجي إلي نظام HEC-RAS وذلك من خلال أداة Edit من شريط القوائم في واجهة البرنامج، ثم نختار منها Unsteady Flow Data.

4- إجراء الحسابات الهيدروليكية

في هذه المرحلة يتم وضع سيناريو للعاصفة المطرية، وذلك بالاستعانة ببيانات الجريان والبيانات الهندسية التي يتم إدخالها في المراحل السابقة حيث يتم تحديد بداية ونهاية زمن النمذجة وزمن حساب التدفق، وذلك عن طريق اختيار Run من شريط القوائم في واجهة البرنامج ثم نختار Unsteady Flow Analysis.



الشكل 2. طريقة تشغيل النموذج الهيدروليكي.

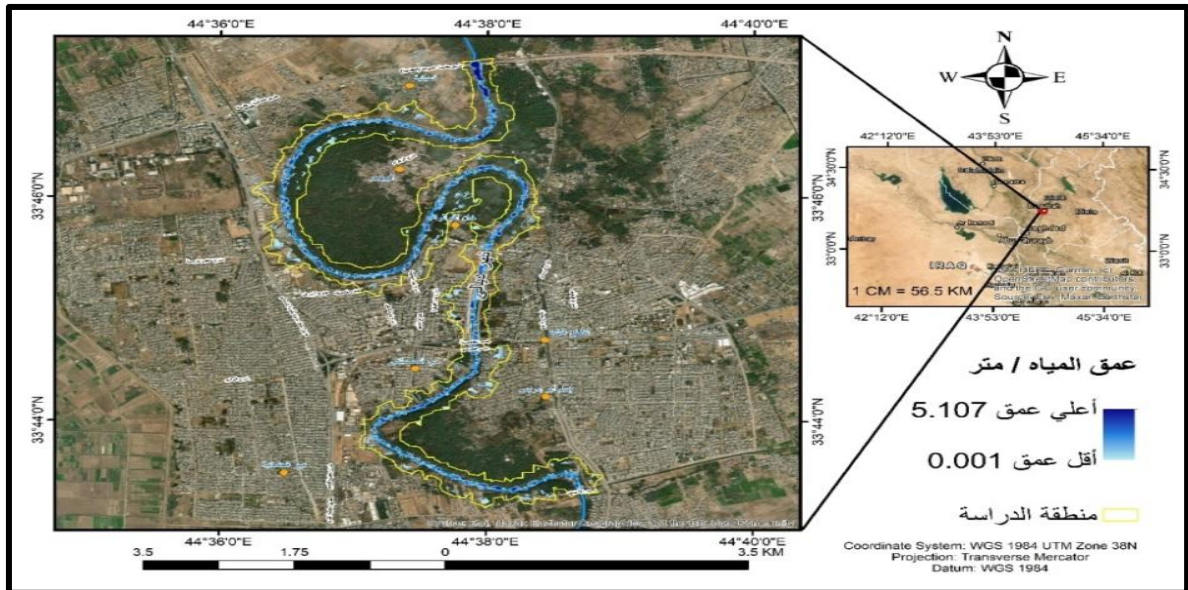
النتائج والمناقشة

تحليل نتائج عملية النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد:

تعتمد عملية النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد على بيانات الجريان التي تم استخراجها من نظام HEC-HMS، وذلك لان نظام HEC-RAS لا يأخذ بالحسبان تسرب التربة لذلك يجب أن يكون هطول الأمطار مدخلاً كهطول أمطار فعال، بمعنى انه يتعامل مع بيانات التدفق على انها بيانات لا يفقد منها شيء من التسرب او التبخر لذا يتم استخدام نظام HEC-HMS لحساب قيم التدفق ويتم تصدير هذه بيانات التدفق والأمطار هذه الى نظام HEC-RAS وإجراء الحسابات الهيدروليكية.

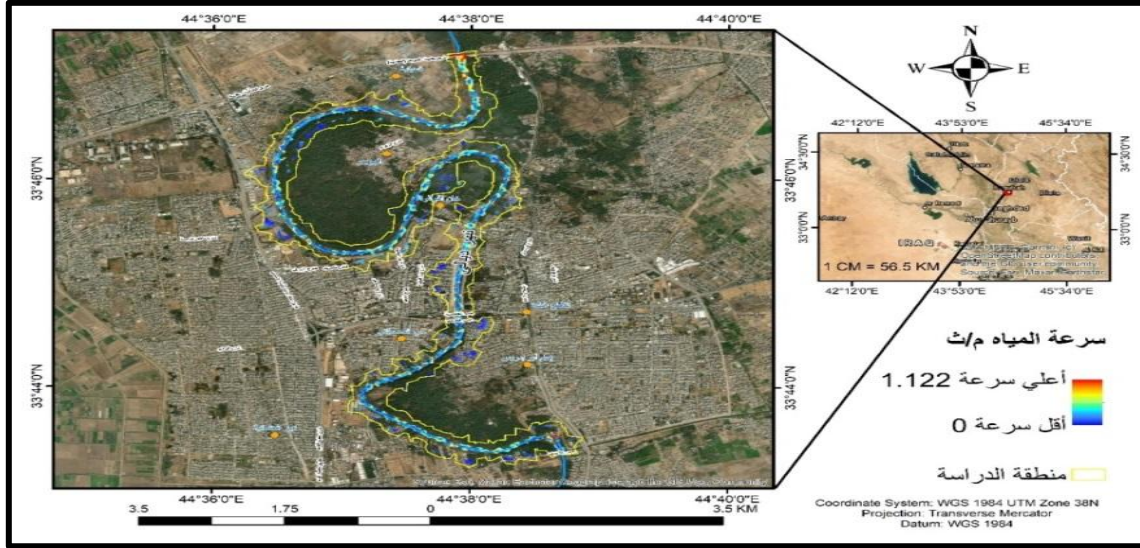
1-تحليل نتائج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد لفيضان عام 1988 و فيضان عام 2019

ان الجريان السطحي الذي نتج عن امطار اذار لسنة 1988 لثلاث محطات بمتوسط عمق مطري 19.1033 ملم، وبعمرق مياه ناتجة عن الجريان ما بين 0.001-5.107 مترا عن متوسط منسوب سطح النهر امتدت على طول منطقة الدراسة حيث كانت اغلبها قرب جسر بعقوبة الثالث والمناطق القريبة منه، وهذا يدل على تجاوز المياه للمنطقة الحدودية للنهر حيث غمرت المناطق القريبة منه.



الشكل 3. عمق مياه الفيضان لمنطقة الدراسة لسنة 1988.

اما سرعة المياه فنجد انها تجاوزت 1.122 م/ثانية والتي تمثلت على خريطة السرعات باللون الاحمر، و تمثلت في الأجزاء الواقعة في الجزء الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة قرب جسر بعقوبة الثالث مما شكلت خطر على الاستعمالات السكنية و الزراعية، ويمكن ان نلاحظ اختلاف العمق على طول منطقة الدراسة، وهذا يدل على اختلاف الانحدار على طول النهر، ونتيجة لذلك نلاحظ اختلاف في سرعة المياه ، وفيضان 1988 حيث بلغت الواردات المائية لنهر ديالى (11 مليار متر مكعب وكان اعلى تصرف مطلق من سد حميرين بتاريخ 1988/3/29 قد بلغ (2500 متر مكعب بالثانية) مما ادى الى ارتفاع منسوب نهر ديالى داخل مدينة بعقوبة بمقدار (44,80) م بتاريخ 1988/3/31 وقد حدثت كسرتان نتيجة ذلك بسبب ارتفاع المياه الاولى في سداد شمال مدينة بعقوبة والثانية في سداد ايسر نهر ديالى جنوب بهرز وقد تمت السيطرة عليه.



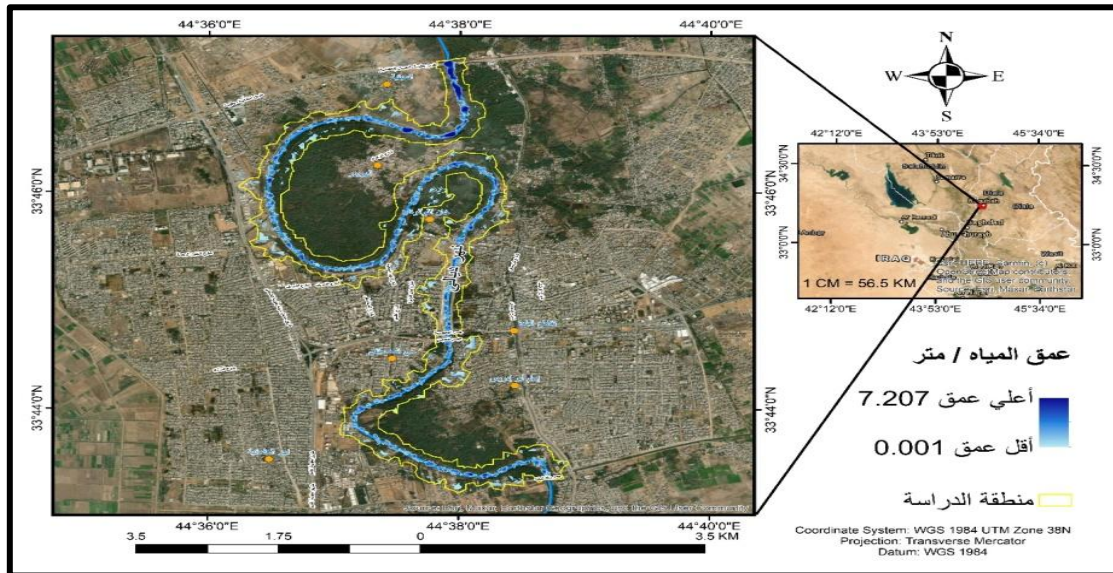
الشكل 4. سرعة مياه الفيضان لمنطقة الدراسة لسنة 1988.

اما فيضان عام 2019 فقد جاءت نتائج عملية النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد بناءً على أقصى كمية جريان سطحي ومتوسط عمق مطر مقداره 34.2074 ملم فقد نتج عمق زائد للمياه عن متوسط منسوب سطح النهر مقداره يتراوح ما بين 0.001-7.207 متر في منطقة الدراسة حيث نلاحظ زيادة تجاوز المياه حد القناة الطبيعي في منطقة الدراسة ليتجاوز عمق المياه 7 امتار عن متوسط منسوب سطح النهر.



الشكل 5. تجاوز مياه النهر حد القناة الطبيعي قرب جسر الشريف (تاريخ الصورة 4/4/2019).

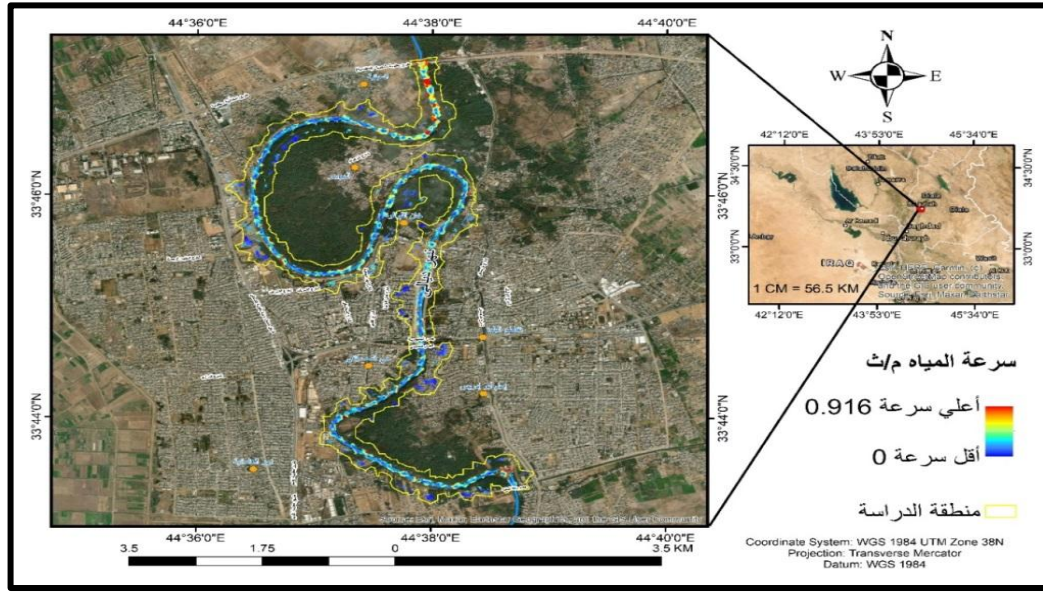
وبالرغم من أن كمية المياه المطلقة الى مدينة بعقوبة في فيضان 2019 كانت 800 م³/ث وفي 1988 كانت 2500 م³/ث إلا أن عمق المياه الزائد عن متوسط منسوب سطح النهر في فيضان عام 2019 جاء أكثر من عمق المياه الزائد في فيضان عام 1988 ويرجع ذلك إلى زيادة خشونة القاع وكثرة الترسبات في النهر اضافة الى التجاوزات على طول محيط النهر .



الشكل 6. عمق مياه الفيضان لمنطقة الدراسة لسنة 2019.

أما سرعة المياه لفيضان عام 2019 فقد بلغت (0.916 م/ث) وتتغير سرعة الجريان في منطقة الدراسة تبعاً لعمق المياه في النهر وميل قاع النهر والخصائص الجيومترية ومعامل الخشونة واللزوجة للمياه، ونجد أيضاً ان سرعة المياه لفيضان

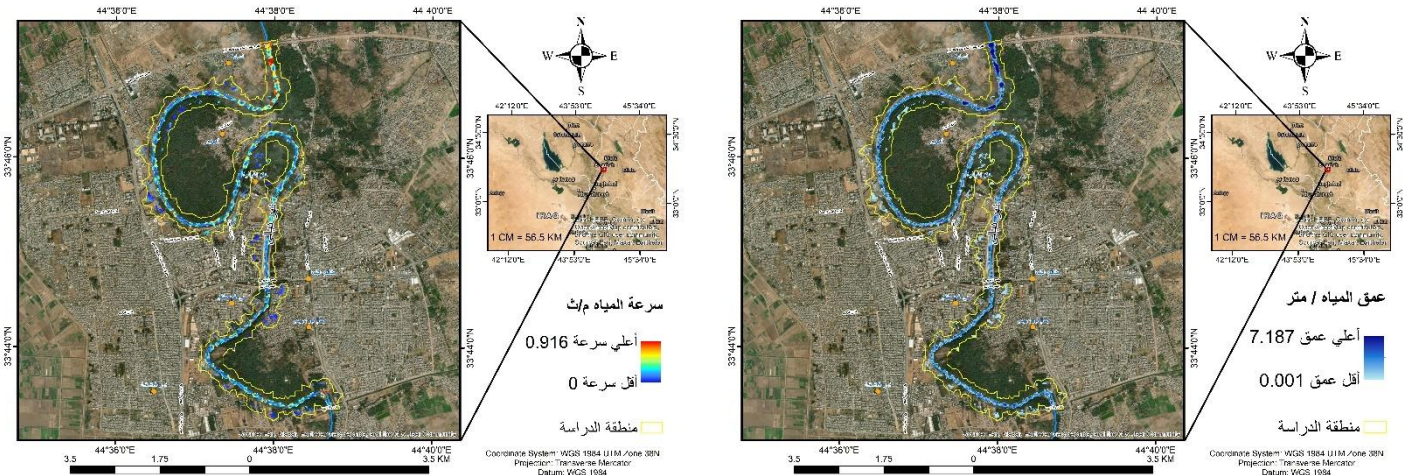
عام 2019 أقل من سرعة المياه لفيضان عام 1988 مما أدى إلى زيادة الترسبات وقلة عمق النهر مما يعيق سرعة جريانه وزيادة تجاوز المياه على ضفتي النهر.



الشكل 7. سرعة مياه الفيضان لمنطقة الدراسة لسنة 2019.

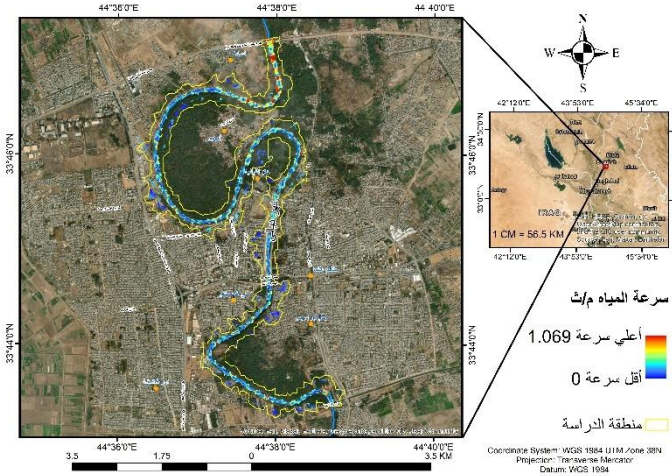
2- تحليل نتائج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد لفترات الرجوع المطري المختلفة:

استناداً إلى نتائج نمذجة غمر الفيضانات تم استخدام 2D HEC-RAS عند فترات رجوع مطري مختلفة لتوقع عمق وسرعة المياه عند فترات عودة مختلفة (10، 20، 50، 100 سنة)، وذلك لمساعدة متخذي القرار في اتخاذ الإجراءات الاحتياطية من إقامة المشاريع والبناء بالقرب من مناطق الغمر في منطقة الدراسة، وتقادي الاقتراب من الأراضي المحرمة القريبة من مناطق الخطر العالي جداً، حيث جاءت نتائج عملية النمذجة الهيدروليكية خلال فترات الرجوع المطري المختلفة لعمق المياه الزائد عن متوسط منسوب سطح النهر بين 7.187 متراً عند فترة رجوع مطري 10 سنوات إلى 7.588 متراً عند فترة رجوع مطري 100 سنة، بينما سجلت عملية النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد سرعة مياه تراوحت ما بين 0.916 م/ث عند فترة رجوع مطري 10 سنوات و 1.517 م/ث عند فترة رجوع مطري 100 سنة. وهذا يدل على أن القناة لم تقم بتصريف واستيعاب حجم المياه المطري المتساقط أثناء فترات الفيضان ويرجع ذلك إلى عوامل طبيعية مثل انحدار المجري المائي وشكل ومساحة وطبوغرافية منطقة الدراسة، بالإضافة إلى كمية التساقط المطري خلال فترات الرجوع المطري المختلفة. وتوضح الخرائط التالية عمق وسرعة المياه عند فترات الرجوع المطري المختلفة.

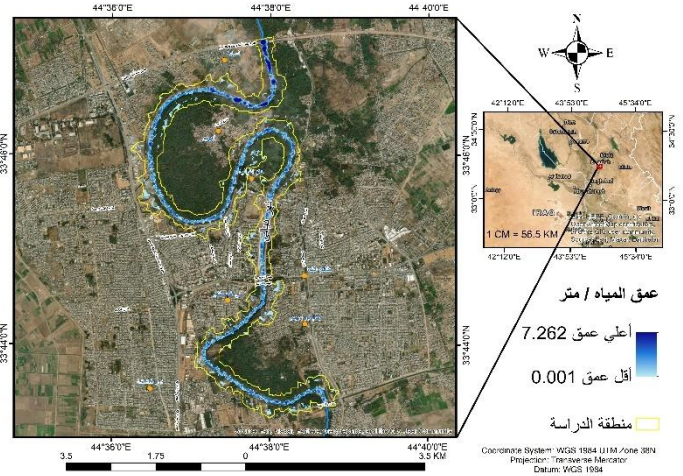


الشكل 9. سرعة المياه بالمتراً في الثانية عند فترة رجوع مطري 10 سنوات.

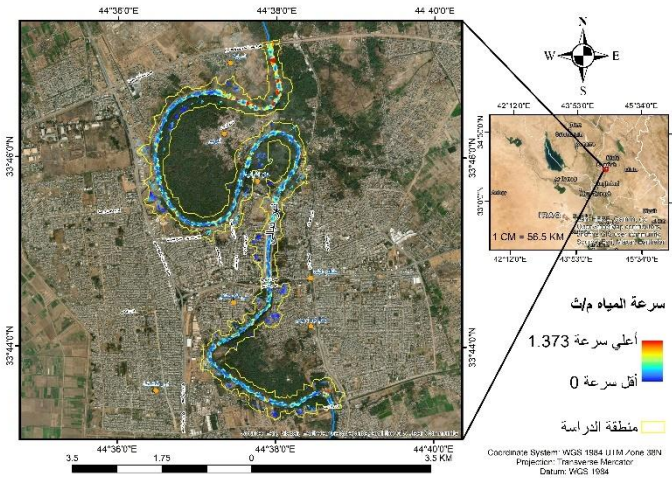
الشكل 8. عمق المياه بالمتراً عند فترة رجوع مطري 10 سنوات.



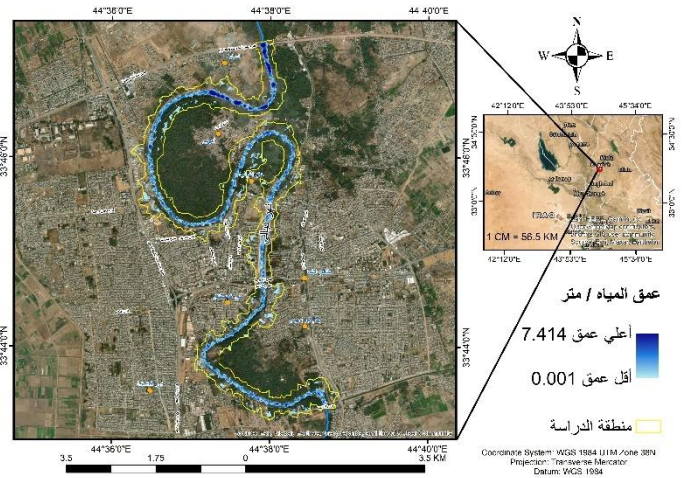
الشكل 11. سرعة المياه بالتر في الثانية عند فترة رجوع مطري 20 سنة.



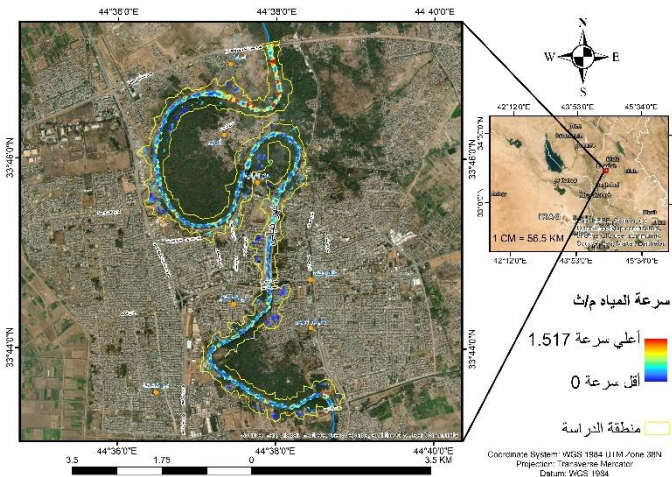
الشكل 10. عمق المياه بالتر عند فترة رجوع مطري 20 سنة.



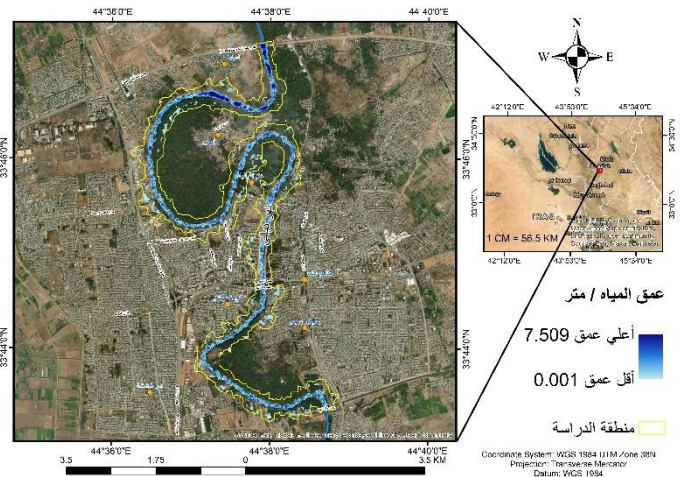
الشكل 13. سرعة المياه بالتر في الثانية عند فترة رجوع مطري 50 سنة.



الشكل 12. عمق المياه بالتر عند فترة رجوع مطري 50 سنة.



الشكل 15. سرعة المياه بالتر في الثانية عند فترة رجوع مطري 100 سنة.

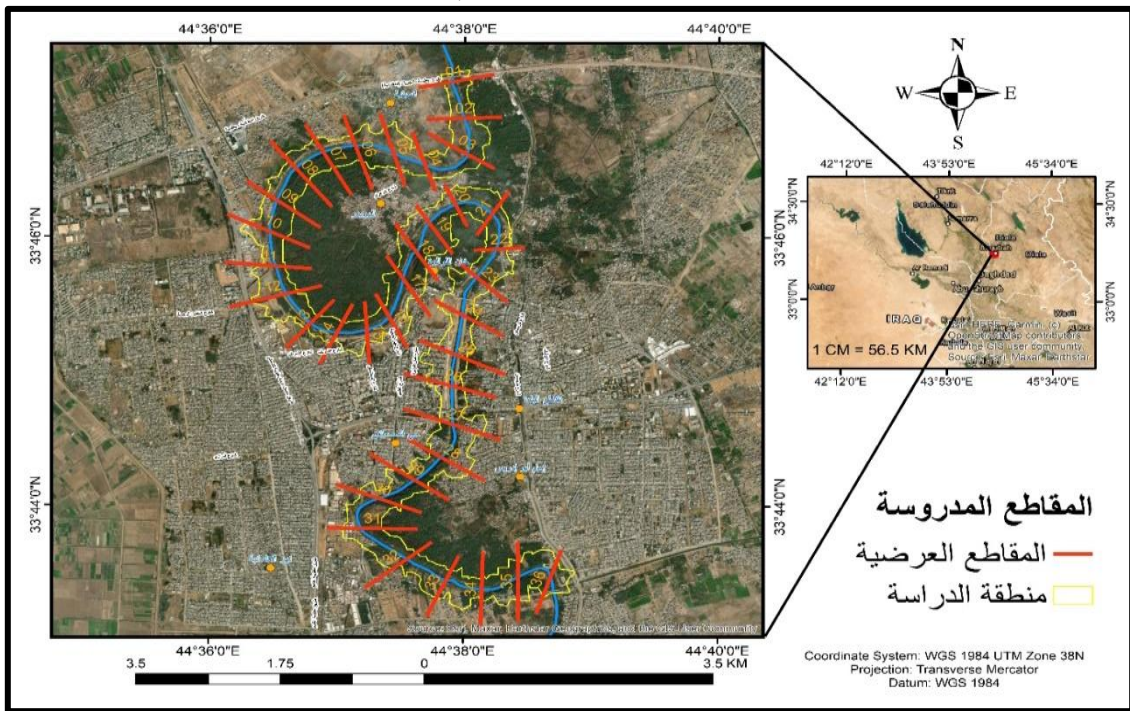


الشكل 14. عمق المياه بالتر عند فترة رجوع مطري 100 سنة.

3-دراسة المقاطع العرضية:

تم تقسيم مجرى نهر ديالى، الذي يبلغ طوله 17162.45 متراً، إلى 36 مقطعاً عرضياً بهدف تحقيق دقة عالية في التمثيل الهيدروليكي للمجرى. لقد تم تحديد هذا العدد بناءً على التغيرات الجيومورفولوجية والهيدروديناميكية، حيث وُضعت

المقاطع عند نقاط رئيسية تشمل التغيرات في عرض القناة، في العمق، والتعرجات. يتيح هذا التوزيع تمثيل توزيع السرعات ومستويات المياه بدقة، خصوصاً أن التباعد بين المقاطع يبلغ حوالي 477 مترًا، وهو نطاق متوازن وفقاً للمعايير العلمية. وفقاً للأدبيات العلمية، يتراوح التباعد المثالي للمقاطع العرضية في النماذج الهيدروليكية ما بين 3 إلى 10 أضعاف عرض القناة المائية، وهو ما يتناسب مع التوزيع المختار في هذه الدراسة، حيث يضمن التغطية الكافية دون زيادة غير مبررة في عدد المقاطع بالاعتماد على نتائج عملية النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد لفيضان عام 1988 و فيضان عام 2019 بالإضافة إلى تحديد عمق وسرعة المياه عند كل مقطع من المقاطع العرضية عند كل فترة من فترات الرجوع المطري، وقد تم الاعتماد على قيمة أقصى عمق على طول المقطع ليمثل قيمة عمق المياه لذلك المقطع. ويوضح الجدول (1) عمق المجرى المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر، وعمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجري بالمتر، بالإضافة إلى سرعة المياه عند كل مقطع من المقاطع العرضية بالمتر في الثانية.



الشكل 16. المقاطع العرضية في المنطقة المدروسة.

الجدول 1: القطاعات العرضية لنتائج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد لموجة فيضان عام 2019 و عام 1988.

رقم القطاع	عرض القطاع	سرعة المياه بالمتر / الثانية	2019		1988	
			العمق فوق متوسط منسوب سطح المجري بالمتر	العمق فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر	العمق فوق متوسط منسوب سطح المجري بالمتر	العمق فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر
1	339.090	0.385	2.557	40.557	2.044	40.044
2	295.236	0.299	3.180	43.180	1.641	41.641
3	438.199	0.379	1.483	40.483	0.805	39.805
4	380.886	0.211	2.301	40.301	1.860	39.860
5	607.578	0.119	1.964	35.964	1.597	35.597
6	375.074	0.105	1.247	38.247	1.037	38.037
7	446.145	0.248	0.594	48.594	0.566	48.566
8	422.967	0.102	1.116	40.116	1.109	40.109
9	417.033	0.239	1.091	38.091	0.954	37.954
10	503.648	0.117	0.937	45.937	0.916	45.916
11	291.944	0.162	0.960	40.960	0.940	40.940
12	557.698	0.310	1.015	40.015	0.940	39.940
13	214.106	0.161	2.041	41.041	1.831	40.831
14	311.091	0.178	1.837	38.837	1.740	38.740
15	319.493	0.269	1.872	37.872	1.656	40.656
16	477.075	0.171	2.254	36.254	1.888	35.888
17	452.771	0.174	0.868	38.868	0.850	38.850
18	580.734	0.268	1.496	37.496	1.290	37.290

41.053	1.053	0.191	41.397	1.397	0.310	618.589	19
38.769	1.769	0.326	39.349	2.349	0.468	333.888	20
43.069	1.069	0.149	43.300	1.300	0.158	375.595	21
41.605	0.605	0.190	41.684	0.684	0.209	283.219	22
39.879	1.879	0.106	40.068	2.068	0.155	351.507	23
39.063	0.063	0.065	39.108	0.108	0.094	487.099	24
37.138	1.138	0.108	37.212	1.212	0.142	480.328	25
43.086	2.086	0.329	43.250	2.250	0.463	440.177	26
43.957	1.957	0.079	44.292	2.292	0.106	554.306	27
37.555	0.555	0.101	37.746	0.746	0.143	549.350	28
43.223	1.223	0.199	43.256	1.256	0.242	469.414	29
40.505	0.505	0.113	40.553	0.553	0.168	526.796	30
39.855	0.855	0.145	39.892	0.892	0.190	460.866	31
39.592	1.592	0.107	39.618	1.618	0.157	367.691	32
35.205	2.205	0.267	35.419	2.419	0.310	397.269	33
38.243	0.243	0.083	38.299	0.299	0.070	367.991	34
37.844	0.844	0.132	38.110	1.110	0.180	535.766	35
37.754	1.754	0.124	37.819	1.819	0.151	526.954	36

يتراوح عمق المجري المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر لموجة فيضان عام 2019 ما بين 35.419 مترا عند المقطع العرضي رقم 33 إلى عمق 48.594 مترا عند المقطع العرضي رقم 7 وبمتوسط مقداره 40.088 مترا. بينما يتراوح عمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجرى بالمتر ما بين 0.108 مترا عند المقطع العرضي رقم 24 و 3.18 مترا عند المقطع العرضي رقم 2 وبمتوسط مقداره 1.477 متر. تتراوح سرعة المياه بالمتر/الثانية بين 0.07 م/ث عند المقطع العرضي رقم 34 و سرعة 0.468 م/ث عند المقطع العرضي رقم 20 وبمتوسط مقداره 0.211 م/ث.

يتراوح عمق المجرى المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر لموجة فيضان عام 1988 ما بين 35.205 مترا عند المقطع العرضي رقم 33 و 48.566 مترا عند المقطع العرضي رقم 7 وبمتوسط مقداره 39.946 مترا. يتراوح عمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجرى ما بين 0.063 مترا عند المقطع العرضي رقم 24 و 2.205 متر عند المقطع العرضي رقم 33 وبمتوسط مقداره 1.252 مترا. تتراوح سرعة المياه ما بين 0.065 م/ث عند المقطع العرضي رقم 24 و 0.498 م/ث عند المقطع العرضي رقم 15 وبمتوسط مقداره 0.171 م/ث.

يتراوح عمق المجرى المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر عند فترة الرجوع المطري 10 سنوات ما بين 35.39 مترا عند المقطع العرضي رقم 33 إلى عمق 48.592 مترا عند المقطع العرضي رقم 7 وبمتوسط مقداره 40.122 مترا. بينما يتراوح عمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجرى ما بين 0.105 مترا عند المقطع العرضي رقم 24 و 3.157 متر عند المقطع العرضي رقم 2 وبمتوسط مقداره 1.456 مترا. تتراوح سرعة المياه ما بين 0.071 م/ث عند المقطع العرضي رقم 34 و 0.464 م/ث عند المقطع العرضي رقم 20 وبمتوسط مقداره 0.207 م/ث.

يتراوح عمق المجرى المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر عند فترة الرجوع المطري 20 سنة ما بين 35.541 مترا عند المقطع العرضي رقم 33 و 48.604 مترا عند المقطع العرضي رقم 7 وبمتوسط مقداره 40.19 مترا. بينما يتراوح عمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجرى ما بين 0.121 مترا عند المقطع العرضي رقم 24 و 3.258 مترا عند المقطع العرضي رقم 2 وبمتوسط مقداره 1.579 مترا. تتراوح سرعة المياه ما بين 0.064 م/ث عند المقطع العرضي رقم 34 و 0.503 م/ث عند المقطع العرضي رقم 26 وبمتوسط مقداره 0.225 م/ث.

يتراوح عمق المجرى المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر عند فترة الرجوع المطري 50 سنة ما بين 35.731 مترا عند المقطع العرضي رقم 33 و 48.62 مترا عند المقطع العرضي رقم 7 وبمتوسط مقداره 40.395 مترا. بينما يتراوح عمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجرى بالمتر ما بين 0.141 متر عند المقطع العرضي رقم 24 و 4.361 مترا عند المقطع العرضي رقم 5 وبمتوسط مقداره 1.729 مترا. تتراوح سرعة المياه بالمتر/الثانية ما بين 0.057 م/ث عند المقطع العرضي رقم 34 و 0.553 م/ث عند المقطع العرضي رقم 26 وبمتوسط مقداره 0.251 م/ث.

يتراوح عمق المجرى المائي فوق متوسط منسوب سطح البحر بالمتر عند فترة الرجوع المطري 100 سنة ما بين 35.872 مترا عند المقطع العرضي رقم 33 و 48.633 مترا عند المقطع العرضي رقم 7 وبمتوسط مقداره 40.483 مترا. بينما يتراوح عمق المياه الزائد فوق متوسط منسوب سطح المجري بالمتر بين 0.157 مترا عند المقطع العرضي رقم 24 و 5.332 مترا عند المقطع العرضي رقم 5 وبمتوسط مقداره 1.844 مترا. تتراوح سرعة المياه ما بين 0.054 م/ث عند المقطع العرضي رقم 34 و 0.575 م/ث عند المقطع العرضي رقم 26 وبمتوسط مقداره 0.273 م/ث.

الجدول 2: القطاعات العرضية لنتائج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد فترات الرجوع المطري المختلفة.

رقم القطاع	عرض القطاع	فترة رجوع مطري 10 سنوات			فترة رجوع مطري 20 سنة			فترة رجوع مطري 50 سنة			فترة رجوع مطري 100 سنة		
		سرعة المياه	متوسط المنسوب	العمق فوق	سرعة المياه	متوسط المنسوب	العمق فوق	سرعة المياه	متوسط المنسوب	العمق فوق	سرعة المياه	متوسط المنسوب	العمق فوق
		بالمتر /	سطح	البحر بالمتر	بالمتر /	سطح	البحر بالمتر	بالمتر /	سطح	البحر بالمتر	بالمتر /	سطح	البحر بالمتر
1	339.090	0.335	2.528	42.528	0.379	2.662	40.662	0.364	2.780	40.780	0.340	2.868	40.868
2	295.236	0.294	3.157	43.157	0.318	3.258	43.258	0.346	3.341	43.341	0.371	3.412	43.412
3	438.199	0.373	1.455	40.455	0.400	1.579	40.579	0.469	1.708	40.708	0.496	1.815	40.815
4	380.886	0.205	2.045	40.045	0.246	3.239	41.239	0.343	3.325	41.325	0.406	3.379	41.379
5	607.578	0.116	1.936	35.936	0.139	2.697	36.697	0.316	4.361	38.361	0.379	5.332	39.332
6	375.074	0.103	1.228	38.228	0.111	1.321	38.321	0.091	2.129	40.129	0.110	3.162	41.162
7	446.145	0.245	0.592	48.592	0.262	0.604	48.604	0.287	0.620	48.620	0.311	0.633	48.633
8	422.967	0.100	1.115	40.115	0.108	1.119	40.119	0.118	1.124	40.124	0.126	1.129	40.129
9	417.033	0.235	1.079	38.079	0.255	1.143	38.143	0.279	1.183	38.183	0.295	1.202	38.202
10	503.648	0.113	0.935	45.935	0.132	0.945	45.945	0.157	0.957	45.957	0.174	0.967	45.967
11	291.944	0.158	0.957	40.957	0.176	0.973	40.973	0.198	1.007	41.007	0.212	1.036	41.036
12	557.698	0.307	1.008	40.008	0.321	1.047	40.047	0.341	1.098	40.098	0.355	1.135	40.135
13	214.106	0.158	2.022	41.022	0.170	2.125	41.125	0.187	2.239	41.239	0.200	2.273	41.273
14	311.091	0.176	1.831	38.831	0.190	1.861	38.861	0.208	1.898	38.898	0.222	1.920	38.920
15	319.493	0.266	1.847	37.847	0.284	1.976	37.976	0.307	2.143	38.143	0.327	2.239	38.239
16	477.075	0.169	2.215	36.215	0.177	2.412	36.412	0.187	2.583	36.583	0.197	2.696	36.696
17	452.771	0.169	0.867	38.867	0.192	0.901	38.901	0.224	0.966	38.966	0.272	1.046	39.046
18	580.734	0.264	1.474	37.474	0.285	1.590	37.590	0.301	1.756	37.756	0.378	1.898	37.898
19	618.589	0.307	1.379	41.379	0.325	1.475	41.475	0.349	1.608	41.608	0.424	1.727	41.727
20	333.888	0.464	2.313	39.313	0.488	2.502	39.502	0.513	2.767	39.767	0.531	2.979	39.979
21	375.595	0.159	1.278	43.278	0.160	1.390	43.390	0.169	1.546	43.546	0.181	1.671	43.671
22	283.219	0.207	0.682	41.682	0.228	0.694	41.694	0.267	0.722	41.722	0.309	0.750	41.750
23	351.507	0.154	2.051	40.051	0.163	2.142	40.142	0.177	2.271	40.271	0.185	2.382	40.382
24	487.099	0.092	0.105	39.105	0.105	0.121	39.121	0.123	0.141	39.141	0.140	0.157	39.157
25	480.328	0.139	1.203	37.203	0.165	1.249	37.249	0.173	1.314	37.314	0.181	1.366	37.366
26	440.177	0.453	2.235	43.235	0.503	2.312	43.312	0.553	2.382	43.382	0.575	2.390	43.390
27	554.306	0.103	2.260	44.260	0.118	2.369	44.369	0.133	2.383	44.383	0.143	2.393	44.393
28	549.350	0.141	0.726	37.726	0.150	0.835	37.835	0.196	1.024	38.024	0.188	1.248	38.248
29	469.414	0.238	1.255	43.255	0.257	1.266	43.266	0.282	1.292	43.292	0.303	1.323	43.323
30	526.796	0.164	0.550	40.550	0.185	0.565	40.565	0.209	0.588	40.588	0.227	0.608	40.608
31	460.866	0.186	0.889	39.889	0.204	0.906	39.906	0.214	1.009	41.009	0.242	1.020	40.020
32	367.691	0.154	1.616	39.616	0.171	1.627	39.627	0.188	1.657	39.657	0.198	1.673	39.673
33	397.269	0.307	2.390	35.390	0.322	2.541	35.541	0.330	2.731	35.731	0.337	2.872	35.872
34	367.991	0.071	0.291	38.291	0.064	0.335	38.335	0.057	0.396	38.396	0.054	0.445	38.445
35	535.766	0.176	1.086	38.086	0.196	1.213	38.213	0.221	1.277	38.277	0.242	1.283	38.283
36	526.954	0.149	1.811	37.811	0.161	1.849	37.849	0.176	1.901	37.901	0.186	1.944	37.944

إعداد خريطة مؤشر أخطار الفيضان بناءً على نتائج النمذجة الهيدروليكية

من خلال الحصر المرجعي لأدبيات نمذجة مخاطر الفيضانات في المناطق العمرانية، تبين أن طريقة مصفوفة المخاطر التي تعتمد على تطوير نموذج ثنائي الأبعاد لعمق وسرعة وانتشار المياه باستخدام النموذج الهيدروليكي (HEC-RAS) أحد أكثر الطرق انتشاراً في الأوساط العلمية، والهندسية، في تقييم مخاطر الفيضانات (Abdul Karim, 2021).

سوف يتم الاعتماد في تصنيف درجات الأخطار على معادلة تقييم درجات الأخطار على البشر HR the flood hazard rating (m^2/s) والتي تعتمد على العلاقة بين سرعة المياه وعمق المياه في تحديد درجات الأخطار وهي كما يلي:

$$HR = d (V + 0.5) + DF \quad (\text{Ramsbottom et al., 2006})$$

حيث أن:

HR = معدل الأخطار

D = عمق مياه الفيضان (متر)

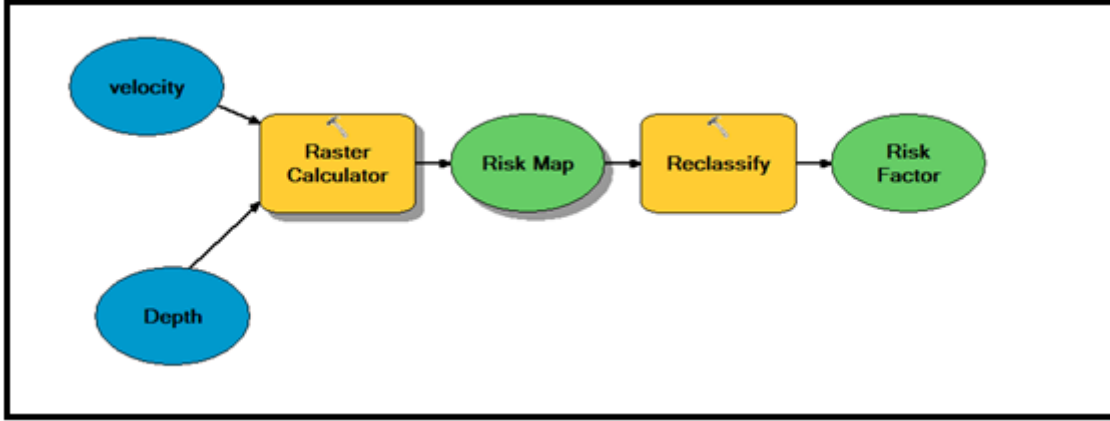
V = سرعة مياه الفيضان (متر/الثانية)

DF = معامل يأخذ في الاعتبار العوالمق وتفترض قيمته ب:

0.5 للأعماق أقل من 0.25 مترا.

1.0 للأعماق أكثر من أو يساوي 0.25 مترا.

وقد تم تصدير مخرجات برنامج HEC-RAS V 6.1 (عمق المياه / م - سرعة المياه م/ث) لفترة الرجوع المطري 100 سنة بصيغة Raster إلى برنامج Arc GIS V 10.8 وتم بناء نموذج هيكلية (Model Builder) لتطبيق المعادلة وتم استخدام أداة الحساب الجبرية Raster Calculator داخل النموذج في تحويل المعادلة إلى صيغة يتعامل معها برنامج Arc GIS كالاتي (الشكل 17):

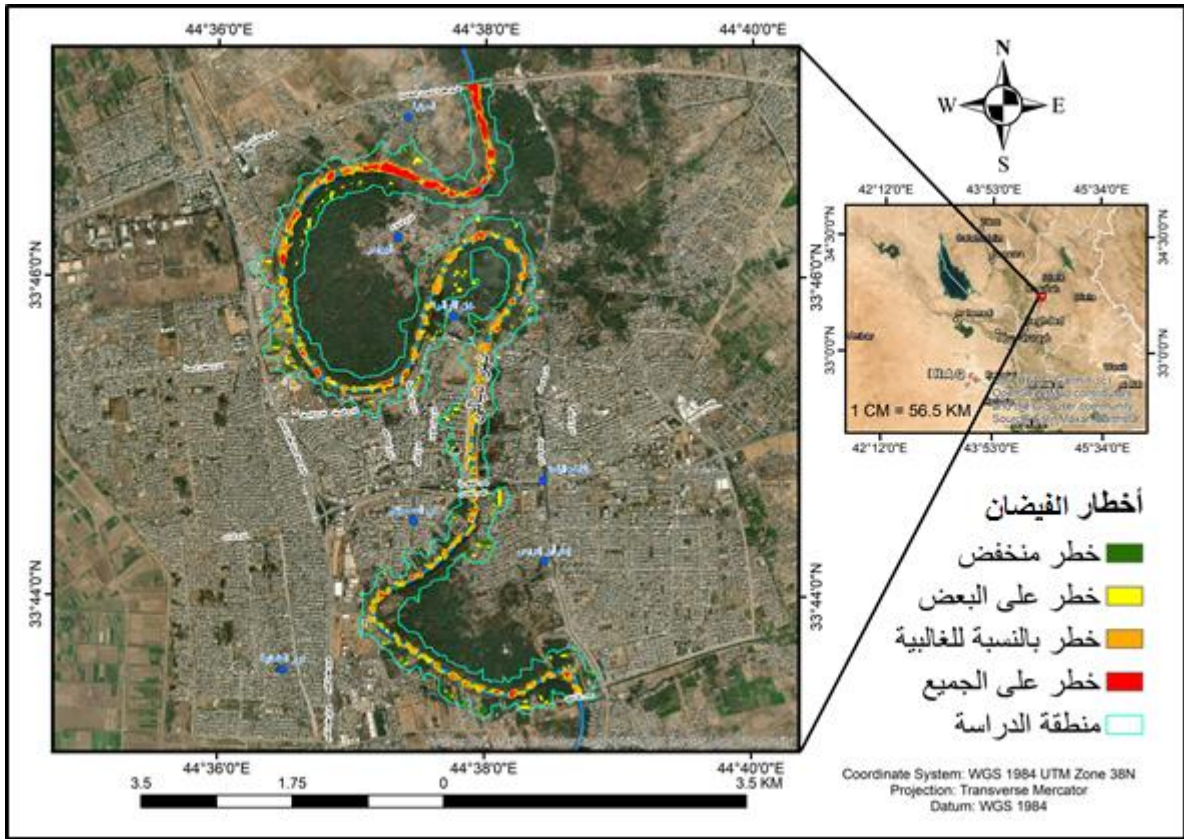


الشكل 17. نموذج هيكلية لتطبيق معادلة مؤشر الأخطار لاستنتاج خرائط أخطار الفيضان.

الجدول 3: تصنيف الأخطار بالاعتماد على معادلة الأخطار (الخطر على الناس كدالة للسرعة والعمق).

ت	تصنيف الأخطار على البشر (درجة خطر الفيضان)	معدل خطر الفيضان HR
1	خطر منخفض (الحذر)	أقل من 0.75
2	خطر على البعض (يشمل الأطفال والمسنين والمرضى)	1.5-0.75
3	خطر بالنسبة للغالبية (يشمل الجمهور العام)	2.5-1.5
4	خطر على الجميع (يشمل خدمات الطوارئ)	أكثر من 2.5

المصدر: بالاعتماد على (Ramsbottom et al., 2006).



الشكل 18. مؤشر أخطار الفيضان لفترة رجوع مطري 100 سنة.

تمثل المناطق التي لها درجة خطر على الجميع مساحة قدرها 0.20 كم² بما يوازي نسبة مقدارها 3% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، بينما تمثل المناطق التي لها درجة خطر بالنسبة للغالبية مساحة مقدارها 0.52 كم² بما يوازي نسبة مقدارها 8% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتمثل المناطق التي لها درجة خطر على البعض مساحة مقدارها 0.36 كم² بما يوازي نسبة مقدارها 5% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتمثل مناطق درجة الخضر المنخفض مساحة مقدارها 0.34 كم² بما يوازي نسبة مقدارها 5% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، أما المناطق التي لا يوجد بها خطر تمثل مساحة مقدارها 5.16 كم² بما يوازي نسبة قدرها 78% من إجمالي منطقة الدراسة.

الجدول 4: مساحة المخاطر ونسبتها في منطقة الدراسة.

ت	درجات أخطار الفيضان	المساحة (كم ²)	%
1	لا يوجد خطر	5.16	78%
2	خطر منخفض	0.34	5%
3	خطر على البعض	0.36	5%
4	خطر بالنسبة للغالبية	0.52	8%
5	خطر على الجميع	0.20	3%
	الإجمالي	6.59	100%

الاستنتاج

من خلال سياق البحث ظهر استخدام بيانات الموجات الفيضانية لعامي 1988 و 2019 وبرنامج HEC-RAS وادخال البيانات الهندسية واستخدام معامل ماننغ بقيمة (0.06) كمعامل لخشونة التربة وإضافة البيانات الهيدرولوجية وتحليل النتائج ورسم خريطة المخاطر ووفقا لذلك تم تصنيف الاخطار في المنطقة المدروسة ، فقد كانت دراسة 36 مقطع عرضيا لمنطقة الدراسة تتراوح عرضها من (214.1 م) عند المقطع العرضي 13 الى (618.5 م) عند المقطع العرضي 19 لتعزيز عمل النمذجة للوصول الى جودة في النتائج ومن خلال عمل النمذجة عند فترات رجوع مطري مختلفة لتوقع عمق وسرعة


المياه للموجة الفيضانية ووفقا لتكرار (10,20,50,100 سنة) اظهر عمق المياه تباينا تراوح ما بين (7.1 م) خلال (10 سنوات) الى (7.5 م) خلال (100 سنة) اما سرعة مياه الموجة الفيضانية فتراوحت ما بين (0.91 م/ثا) خلال (10 سنوات) الى (1.5 م/ثا) خلال (100 سنة)، وهذا يدل على ان القناة النهرية لم تقم بتصريف واستيعاب حجم المياه اثناء فترات جريان المياه بسبب عوامل مختلفة طبيعية وبشرية وهو الحال الذي اثار على اظهار مناطق خطر في منطقة الدراسة وهذا اثر في زيادة نسبة مساحة المنطقة الخطرة والتي بلغت نحو (22%) من منطقة الدراسة وهي تمثل خطرا مختلف الدرجات على سكان المنطقة وممتلكاتهم وهي نسبة ليست بالقليلة قياسا بحجم الخطر الذي يؤدي الى خسائر بالارواح والممتلكات، وهنا تكون ضرورة تدخل الدولة لحماية ارواح الناس وممتلكاتهم من خلال اعادة تخطيط مناطق السكن ومعالجة المناطق السكنية التي تجاوزت على منطقة النهر وذلك بطريقة قانونية وانسانية.

References

- Abdul Karim, A.A., 2021. Flood hazards on the railway track of Wadi Bayer Basin affecting the northern railway track south of Al-Qurayyat city, Kingdom of Saudi Arabia - a model. Page 61. [DOI:10.21608/agj.2021.162859](https://doi.org/10.21608/agj.2021.162859). (In Arabic)
- Al-Hayali, S.B.A., 2021. Hydrological hazards of water basins in the Aqrah region, PhD Thesis, (Unpublished), College of Education, University of Mosul, 130 P. (In Arabic)
- Awawda, M.M.A., 2021. Spatial modeling of flood hazards in the Wadi Al-Makhrouq Basin north of Al-Qurayyat city, Kingdom of Saudi Arabia. 232 P. (In Arabic)
- Chow, V.T., 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York. <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/472297b9d6eba65c/d3172d82099b4e7475e94b59ea45ae8906ab2b8768854b29645441c1a0c85b71/book-summary.pdf>
- Hussein, A.S., 2022. Hydrological analysis of the Al-Azim River Basin, a tributary of the Tigris River in Iraq using the hydrological and hydraulic modeling systems HEC-HMS.HEC-RAS, unpublished PhD Thesis, Faculty of Arts, Alexandria University, 107 P. [DOI:10.1088/1755-1315/1120/1/012017](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1120/1/012017). (In Arabic)
- Mohammed, A.H., 2019. Using Geographic Information Systems to Study Flood Analysis in Areas South of Hamrin Dam to North of Baqubah District/Iraq. Journal of Natural, Life and Applied Sciences, 3(4), pp. 41-30. <https://doi.org/10.26389/AJSRP.A210819>. (In Arabic)
- Rangari, V.A., Umamahesh N.V., and Bhatt C.M., 2019. Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2-D. Modeling Earth Systems and Environment 5(4), pp. 1839–1851. [DOI:10.1007/s40808-019-00641-8](https://doi.org/10.1007/s40808-019-00641-8)
- Ramsbottom, D., Wade. S., Bain. V., Hassan, M., Penning-Rowsell, E., Wilson, T., Floyd, P., 2006. Flood risk to people: phase 2. R and D technical report FD. Department for the Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), UK Environment Agency. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602bbb768fa8f50386a7f8aa/Flood_risks_to_people_-_Phase_2_Project_Record.pdf
- Saloum, A.H. and Ammar, H.M., 2024. Analysis of the geomorphological hazard of Alwand River on Khanaqin city using HEC-RAS program. Diyala Journal of Humanities Research, 3(100), pp. 16-26. (In Arabic) DOI: <https://doi.org/10.57592/2h45v886>



تأثير الإغلاق الحضري المرتبط بجائحة كورونا (COVID 19) على الجزر الحرارية في المدينة المنورة المملكة العربية السعودية باستخدام الصور الفضائية

ليلي الجهني^{1*} 

¹ قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.

الملخص

ناقشت الدراسة الحالية تأثير الإغلاق الحضري لجائحة (COVID 19) على درجة حرارة الجزر الحرارية للمدينة المنورة خلال الفترات 2018-2020-2022. اعتمد البحث بشكل رئيسي على معالجة المرئيات الفضائية لاند سات 8 باستخدام برنامج ArcGIS؛ بهدف كشف العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض، ودرجة حرارة الجزر الحرارية. إذ تشير النتائج إلى أن مؤشر الغطاء النباتي للمدينة المنورة لعام 2018 في شهر مايو تراوحت قيمته ما بين 0.4350 و-0.0952- حيث شكلت أدنى قيمة، وفي شهر مايو عام 2020 ارتفعت قيمة نسبة مؤشر الغطاء النباتي ما بين 0.506 و-0.118-، بينما في عام 2022 أظهرت النتائج أن مؤشر الغطاء النباتي لشهر مايو بدأ في الانخفاض، حيث تراوحت قيمه ما بين 0.295 و0.197. توصلت الدراسة إلى أنه يكون أقل عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أعلى، بينما يكون مؤشر الغطاء النباتي أعلى عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أقل في درجات الحرارة. خلال فترة الإغلاق في عام 2020، ارتفعت درجة حرارة الجزر الحرارية بشكل عام في معظم المناطق الحضرية وبلغت 37°C، على النقيض من ذلك الارتفاع انخفضت درجة الحرارة إلى 11°C خلال فترة الإغلاق بأكملها. شهدت منطقة الدراسة انخفاضاً في درجة حرارة الجزر الحرارية خلال عام 2020. أما في عام 2022 عند انتهاء فترة الإغلاق، شهدت المدينة المنورة زيادة في درجة حرارة الجزر الحرارية حيث وصلت 41°C.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 09- فبراير - 2025

تاريخ المراجعة: 14- مارس - 2025

تاريخ القبول: 23- ابريل - 2025

تاريخ النشر الإلكتروني: 01-ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

جائحة كورونا كوفيد19، COVID،

المدينة المنورة،

درجة حرارة سطح الأرض،

مؤشر الغطاء النباتي،

درجة حرارة الجزر الحرارية.

المراسلة:

الاسم: ليلي الجهني

Email: Laljehani-@kau.edu.sa

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56177](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56177), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The Impact of the Urban Lockdown Related to the Corona Pandemic (COVID-19) on Urban Heat Islands in Medina, Saudi Arabia Using Landsat Imagery

Layla Aljehani ^{1*} 

¹ Department of Geography and Geographic Information Systems, King Abdul-Aziz University, Jeddah, Saudi Arabia.

Article information

Received: 09- Feb -2025

Revised: 14 -Mar -2025

Accepted: 23- Apr -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

COVID-19 pandemic,
Al Madinah,
Land Surface Temperature,
Normalized Difference
Vegetation Index,
Urban Heat Island.

Correspondence:

Name: Layla Aljehani

Email: Laljehani-@kau.edu.sa

ABSTRACT

The study discussed the impact of the urban lockdown related to the COVID-19 pandemic on the Urban Heat Island Temperature (UHI) of Medina during the periods 2018-2020-2022. The research relies mainly on processing Landsat 8 using ArcGIS to reveal the relationship between the vegetation cover index (NDVI), the land surface temperature (LST), and the UHI. The study indicates that the NDVI in May 2018 ranged between 0.4350 and -0.0952, which was the lowest value. In May 2020, the value of the NDVI percentage rose between 0.506 and -0.118, while in May 2022, the outcomes showed that the NDVI percentage began to decrease, ranging between 0.295 and 0.197. The LST started to decline in the outskirts of urban areas, specifically in Medina. The study found that the NDVI is lower when the LST is higher, while the NDVI is higher when the LST is lower. In 2020, the UHI increased in most urban areas, reaching 37°C; in contrast to that increase, the temperature decreased to 11°C. During the entire lockdown period, Madinah witnessed a decrease in UHI in 2020. In 2022, specifically at the end of the lockdown period, Madinah witnessed an increase in UHI reaching 41°C.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56177](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56177), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

يؤثر كلٌّ من النمو الحضري السريع والزيادة السكانية على درجة حرارة المدن بشكل عام. فظاهرة الجزر الحرارية الحضرية UHI تُعد من أهم السمات التي تتميز بها المدن الكبرى، حيث تتعدد الاستعمالات الحضرية بها من استعمالات سكنية، وتجارية، وصناعية، وخدمية. ولكن الجزر الحرارية أصبحت ظاهرة ذات تأثير سلبي بشكل كبير على المناخ الحضري للمدن، وكذلك على صحة الإنسان، والبيئات الحضرية. قد أعطى الإغلاق الحضري لجائحة كورونا (COVID 19) فهماً أكبر للوقوف على التغيرات الزمانية والمكانية لدرجة حرارة الجزر الحرارية للمدن.

إن ظاهرة التحضر السريع، وزيادة عدد السكان التي من المتوقع ارتفاعها إلى 66% في العالم بحلول عام 2050 (Nations, 2014)، وقد تؤدي زيادة أحجام المدن والأنشطة البشرية كذلك إلى تغيرات في المدن كارتفاع درجات الحرارة. فظاهرة الجزر الحرارية تُعد أحد التحديات التي تواجه النمو الحضري في المدن. وتعتبر دراسة الجزر الحرارية من الدراسات الهامة التي يرتبط انتشارها بتغير المناخ وتدهور صحة الإنسان وما يرتبط به من تلوث الهواء الذي له آثار سلبية على صحة الإنسان ويسبب عدم الراحة، مع تأثيرات خاصة على الربو وأمراض الجهاز التنفسي المختلفة، كما يزيد من حدوث ضربة الشمس والتعب وحتى الموت (Roshan et al., 2021). لذا نجد أن العلاقة بين التحضر السريع والمناخ الحضري جعلت صناع القرار ومخططي المدن يركزون على وضع خطط استراتيجية وحلول للكشف عن التغيرات البيئية ورصدها للحد من المشاكل التي تتعرض لها المدن.

كما أنه من الممكن أن يساعد فهم الجزر الحرارية وسلوك المدينة على اتخاذ التدابير والاحترازمات الوقائية التي من شأنها تقليل حجم المال المهدور بسبب استهلاك الطاقة، والتي بدورها تقاوم من ظاهرة الجزر الحرارية، وكذلك يمكن أن يقلل من استهلاك الطاقة بهدف توفير بيئة حضرية لتحقيق الرفاهية لسكان المدن (Teufel et al., 2021; Chakraborty et al., 2021).

إحدى النتائج المترتبة على التنمية الحضرية هي إحداث عدم توازن بين البيئة الطبيعية والمناطق العمرانية المبنية في المدن من خلال اجتثاث مساحات خضراء وتحويلها إلى مناطق سكنية على مدى السنوات الماضية مما تسبب في ارتفاع ملحوظ في درجات حرارة المدن مقارنة بالمناطق المحيطة بها، وهي ظاهرة عادة ما تعرف بالجزر الحرارية الحضرية (Chen et al., 2006). فظاهرة الجزر الحرارية تتأثر بالسياسات الحضرية من خلال استبدال الغطاء النباتي بهياكل صناعية، بالإضافة إلى تلوث الهواء، كما تؤدي المناطق المبنية إلى تغير المناخ الحضري داخل المدن. فمواد البناء الأسمنتية والأسفلت المستخدم في تلبيط الطرق عادة ما يكون لها دور فعال في ارتفاع درجات الحرارة وتحويلها إلى طاقة حرارية ملموسة. كما أن زيادة عدد المركبات والغازات المنبعثة من السيارات والمصانع وأجهزة التكييف تؤدي دورًا واضحًا في تغير المناخ الحضري (Roshan et al., 2021).

لذا تُعد ظاهرة الجزر الحرارية مؤشرًا في تغير المناخ الحضري للحرارة داخل المدن. فالاختلافات المحلية لدرجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والأنشطة البشرية، وتغير استخدام الأرض أو الغطاء الأرضي، وأنماط التنمية الحضرية، ونوعية الرياح وسرعتها، ومواد البناء وغيرها من العوامل يُنظر إليها كعوامل محلية. تعد درجة حرارة الأرض مؤشرًا جيدًا لقياس درجة حرارة سطح المدن الحضرية، حيث يسهم تخزين الحرارة داخل المباني والطرق والأسطح المعبدة أثناء النهار في ارتفاع درجات الحرارة وانطلاقها ببطء أثناء الليل مما يجعل المناطق الحضرية أكثر حرارة مقارنة بالمدن المحيطة بها. وهذا بدوره يؤثر على سكان المدن والعاملين بها ويجعلهم يشعرون بعدم الراحة ويزيد من استخدام أجهزة التكييف من أجل التبريد (Najah et al., 2023).

قد تتأثر الجزر الحرارية مؤقتًا أيضًا بالأنشطة البشرية والأحداث العالمية كجائحة كورونا (COVID19)، حيث أعلنت منظمة الصحة العالمية في 11 مارس 2020 أن مرض فيروس كورونا (COVID19) فيروس عالمي وهو المسبب لمتلازمة الالتهاب التنفسي، مما دفع دول العالم إلى فرض قيود للحد من انتشاره: كالتباعد الاجتماعي، والإغلاق الشامل، وحظر السفر، والحجر الصحي وغيرها من القيود بهدف التخفيف من مخاطر الجائحة. على الرغم من ذلك، فقد تسببت الجائحة في التأثير على العلاقات الاجتماعية والسياسية على الأصعدة المحلية والإقليمية والعالمية والتنمية الحضرية والاقتصادية (Jallu et al., 2022). كان من المتصور أن بعض الاحتياطات التي تم تنفيذها لمنع انتقال (COVID 19)، مثل الحد من الأنشطة البشرية في الهواء الطلق، وانقطاع الأعمال، وإغلاق الأسواق والمواصلات، وما إلى ذلك، قد تقلل من تأثير جزر الحرارة الحضرية (Ali et al., 2021). ومع ذلك، فقد أثرت مبادرات مواجهة المخاطر هذه بشكل كبير على الروابط الاجتماعية والسياسية والتنمية الاقتصادية على المستويين المحلي والعالمي. أُجريت دراسة حول تباطؤ حركة المرور أثناء الجائحة في مدينة مونتريال بكندا لتحليل آثارها على المناخ الحضري (Teufel et al., 2021). ومن جانب آخر، أجرى العديد من الباحثين دراسة لتحليل أثر التلوث الحضري على درجة حرارة سطح الأرض في مدينة بوجياكار في الصين. وخلص عدد من الباحثين في أبحاثهم إلى أن تقليل النشاط البشري يمكن أن يقلل من تأثير شدة الحرارة الحضرية (Arrofiqoh and Setyaningrum, 2021). كما تشير إحدى الدراسات إلى أن الحد من الأنشطة البشرية تؤدي إلى تحسين الظروف البيئية، بما في ذلك جزر الحرارة الحضرية وجودة الهواء (Ali et al., 2021). وتشير دراسة أجريت لمقارنة درجة حرارة الجزر الحرارية في الصين والولايات المتحدة وأوروبا إلى وجود انخفاض

في حجم الجزر الحرارية في المدن الصينية مقارنة بالولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا (Sismanidis et al., 2023). ووفقاً لدراسة أجريت في الولايات وأسبانيا وجد أن COVID19 له أثار سلبية على البيئة من خلال التغيرات في المناخ (Zambrano-Monserrate et al., 2020).

وقد أوضحت دراسة أخرى لمقارنة درجة حرارة السطح في الولايات المتحدة وأوروبا خلال شهر مارس في عام 2020، أن هناك انخفاضاً في درجة حرارة السطح بشكل عام في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية، مما يشير إلى انخفاض درجة حرارة الجزر الحرارية بالتحديد خلال فترة الليل. على النقيض من ذلك، تبين أن ارتفاع درجة الحرارة السطح في أجزاء كبيرة من أوروبا كان خلال فترة الإغلاق (Parida et al., 2021; Glocke et al., 2023).

على مستوى العالم، فقد ركزت العديد من الدراسات على دراسة أثر التوسع الحضري في المدن وارتفاع درجة حرارة الجزر الحرارية السطحية، وأظهرت النتائج أن هناك علاقة إيجابية بين الجزر الحرارية السطحية وبين حجم المنطقة الحضرية والزيادة السكانية (Li et al., 2017). كما أظهرت عدة دراسات أن التجديد الحضري أثر على درجة حرارة السطح، حيث انخفضت درجة الحرارة عندما تحولت المناطق الصناعية إلى مناطق خدمية، لذلك يسهم التجديد الحضري على الجزر الحرارية من خلال التغيرات الهندسية الحضرية وخصائص السطح في إحداث تغيرات في درجة حرارة السطح (Andreou, 2014). في حين أشارت الدراسة إلى الآثار الإيجابية لجائحة كورونا (COVID 19) على تحسُّن جودة الهواء، وقد ظهر ذلك من خلال انخفاض مستويات غازات الاحتباس الحراري الناجم عن الأنشطة البشرية والتنقل في الهواء الطلق (Alqasemi et al.2021;Roshan et al., 2021).

أهمية الدراسة

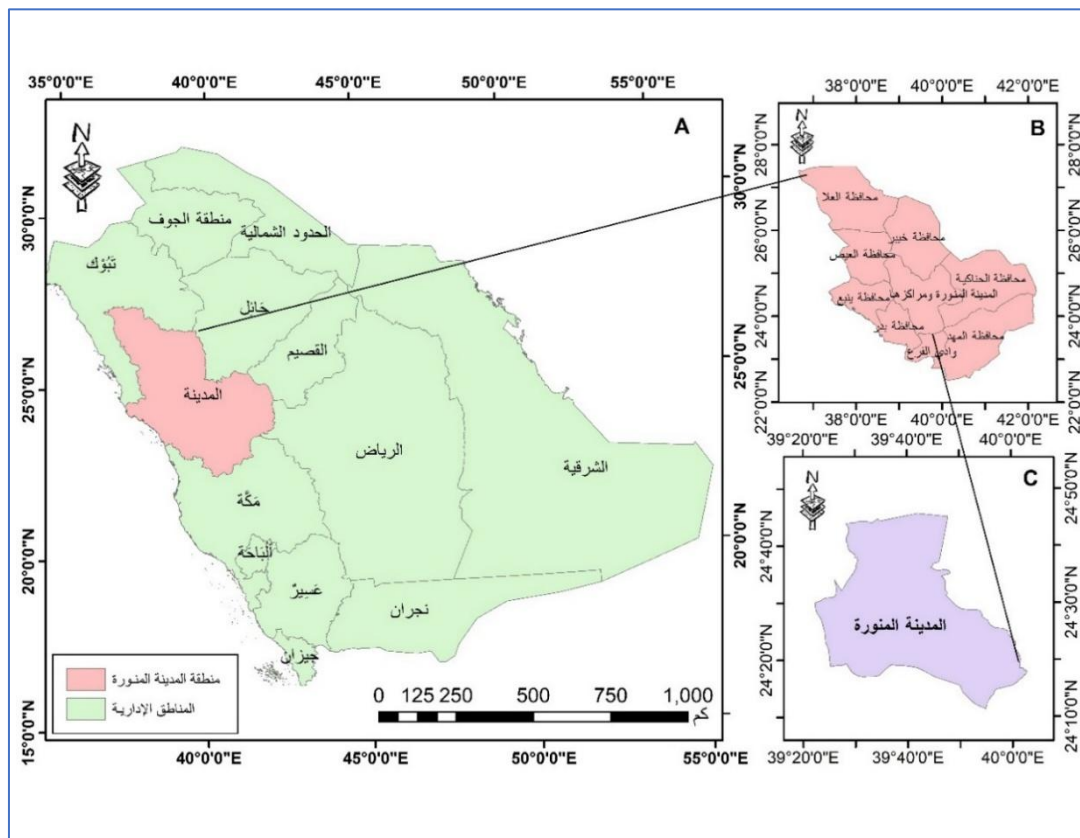
حينما ركزت دراسات عديدة في أنحاء مختلفة من العالم على تأثير الجزر الحرارية على الغطاء النباتي واستخدامات الأرض خلال جائحة كورونا، نجد أن الدراسات في المملكة العربية السعودية ركزت على تأثير الجزر الحرارية على مرونة المناخ الحضري (Al-Saadi et al.,2024)؛ لذا تكمن أهمية الدراسة الحالية في أنها تتناول تأثير الإغلاق الحضري خلال جائحة كورونا (COVID19) على درجة حرارة الجزر الحرارية في المدينة المنورة. فقد شهدت المدينة المنورة نموًا عمرانيًا خلال الثلاثين الماضية، كما أن لوجود المسجد النبوي الذي يهوي إليه العديد من الزوار طيلة العام من شتى بقاع الأرض لزيارته والصلاة فيه دورًا كبيرًا في زيادة الرغبة في السكن في المدينة والاستقرار بها. كما أن أهمية موقع المدينة ومكانتها الدينية ونموها العمراني والزيادة السكانية والمكانة التاريخية أكسبها طابعًا مختلفًا عن بقية مدن العالم بشكل عام والمملكة بشكل خاص، فتلك الخصائص الطبيعية والبشرية تؤثر في الخصائص الحرارية في المدينة المنورة.

يتمثل هدف الدراسة في التركيز على اكتشاف التغيرات والتأثيرات الناجمة عن جائحة كورونا على الجزر الحرارية UHI في المدينة المنورة خلال 4 سنوات، وبالتحديد الفترة الزمنية (2018-2020-2022): قبل جائحة كورونا، وخلال الجائحة، وبعدها. وحيث لوحظ أن أغلب الدراسات السابقة ركزت على شهور مختلفة (مارس وأبريل) خلال الجائحة وبعدها ولم يتم التطرق إلى شهر واحد محدد خلال الجائحة؛ لذا تكمن الفجوة البحثية في التركيز على شهر مايو خلال الإغلاق الكلي في المملكة العربية السعودية. وتتمثل المساهمة الحقيقية لهذه الدراسة في أنه من الدراسات القليلة في المملكة العربية السعودية التي تستخدم الربط بين نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على استخدام صور الأقمار الصناعية عن طريق استخدام برنامج ArcGIS بهدف قياس وتحليل وتوضيح الاتجاه الفعلي لدرجة الحرارة (الارتفاع والانخفاض) في منطقة الدراسة، والعلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض من أجل اكتشاف التغيرات في مؤشرات درجة حرارة الجزر الحرارية خلال فترة الدراسة.

موقع منطقة الدراسة

تعد المدينة المنورة ثاني المدن الإسلامية المقدسة في المملكة العربية السعودية وثالث أكبر منطقة إدارية من حيث المساحة التي تبلغ 606 كم² من بين 9 محافظات هي (الحناكية، العلا، المدينة المنورة ومراكزها، المهدي، بدر، خيبر، ينبع، وادي الفرع، العيص). تقع المدينة المنورة في النطاق المداري الصحراوي الجاف الذي أسهم بأن تمتاز المدينة بمناخ حار جاف صيفاً، والذي يتميز بارتفاع شديد في درجة الحرارة. على النقيض من ذلك تنخفض درجة الحرارة خلال فصل الشتاء مما أكسبها مناخاً بارداً شتاءً. تتحصر منطقة الدراسة بين دائرتي عرض 20°00' و 24°24' شمالاً، وخطي طول 39°25'00' ، 39°50'00' شرقاً كما هو موضح بالخارطة (1). ويبلغ ارتفاعها عن سطح البحر ما يقارب 620 (Al-Munawwarah,2017).

تُعد الرطوبة منخفضة في المدينة المنورة نظراً لبعدها عن المسطحات المائية مقارنة بالمدن الساحلية التي تمتاز بارتفاع نسبة الرطوبة فيها. كما تمتاز المدينة المنورة بأنها مدينة تحيط بها الجبال من جميع الجهات، وتعد هذا المرتفعات مخاريط بركانية ممثلة بالحرث البركانية التي تحيط بمنطقة الحرم مثل: حرة رهاط، وحرة العويرض، وحرة واقم، وتغطي الوديان طبقات لآبا سميكية وتشغلها مساحات زراعية وتتنوع المظاهر التضاريسية فيها، وطبيعة تركيبها الصخري أكسبتها صفة مناخية متميزة (Al-Shanti ,1993)



الشكل 1. خارطة حدود منطقة الدراسة.

البيانات المعتمدة في الدراسة

تم استخدام بيانات القمر الصناعي Landsat 8 لشهر مايو في هذه الدراسة لتحليل وتصنيف درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) ودرجة حرارة السطح (LST) قبل جائحة (COVID19) (2018) وخلال فترة الإغلاق الكامل (الحجر) (2020) وبعد انتهاء الجائحة (2022). وتم استخدام برنامج Earth Explorer التابع لهيئة

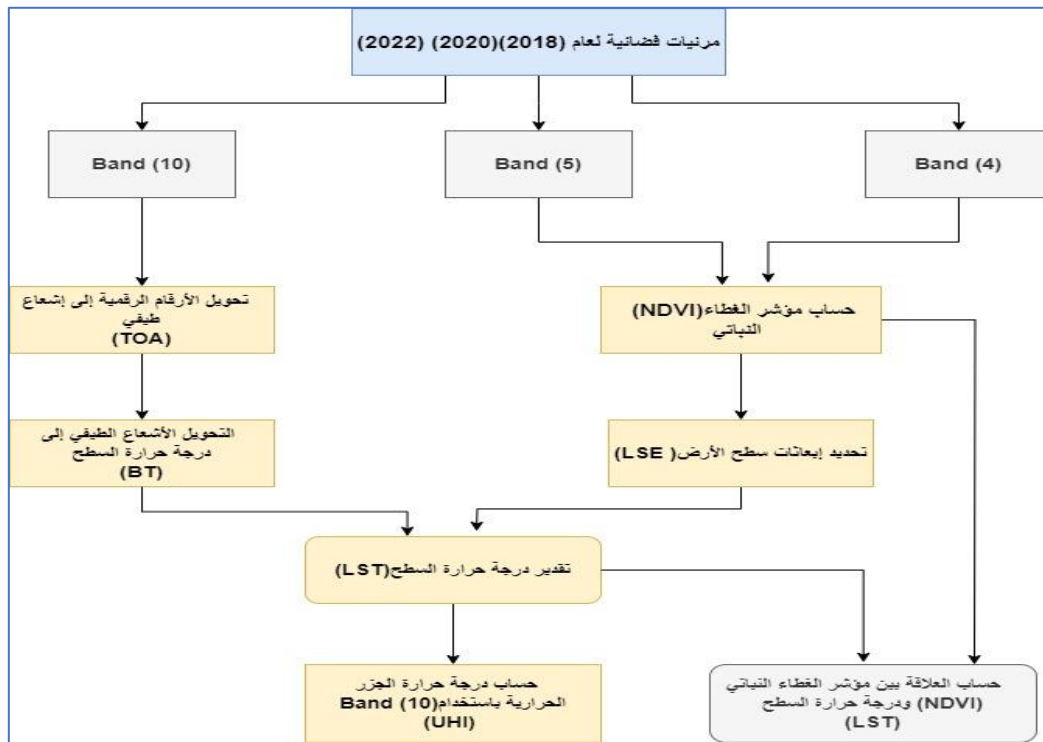
المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) لتتزيل الصور الفضائية لفترات الدراسة كما هو موضح في الجدول (1). واعتمدت الدراسة على استخدام النطاقين (4) و(5) لحساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، وتم أيضاً استخدام النطاق (10) لحساب درجة حرارة سطح الأرض (LST)، وقد استخدمت برمجية ArcGis 10.8 لمعالجة صور الأقمار الصناعية.

جدول 1: بيانات المرئيات الفضائية.

Row	Path	ID	الدقة المكانية	المستشعر	المرئية	السنوات
43	170	LC08_L2SP_170043_20180519_20200901_02_T1	30م	OLI_TIRS	Landsat 8 2018-05-19	2018
43	170	LC08_L1TP_170043_20200524_20200820_02_T1	30 م	OLI_TIRS	Landsat 8 2020-05-24	2020
43	170	LC08_L1TP_170043_20220530_20220603_02_T1	30م	OLI_TIRS	Landsat 8 2022-05-30	2022

منهجية الدراسة

ركزت الدراسة على عدة خطوات منهجية لتحليل بيانات كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل 2. منهجية الدراسة.

تحويل الأرقام الرقمية إلى إشعاع طيفي (TOA)

يعنى ذلك تحويل الأرقام الرقمية للأشعة تحت الحمراء الحرارية إلى إشعاع طيفي باستخدام المعادلة التالية:

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

حيث إن: L_{λ} = إشعاع الطيف (TOA)؛ ML = قيمة عامل المقياس المضاعف يتم الحصول عليها من ملف البيانات الوصفية؛ Q_{cal} = القيمة الحرارية للباندا العاشر؛ AL = نطاق إضافة الإشعاع قيمة عامل القياس الإضافي التي يتم الحصول عليها من ملف البيانات الوصفية (Mallick et al., 2008).

تحويل الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة السطح (BT)

يعني ذلك تحويل بيانات الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة سطوع أعلى الغلاف الجوي باستخدام قيم الثابت الحراري في ملف البيانات الوصفية من خلال المعادلة التالية:

$$BT = K2 / \ln (k1 / L\lambda + 1) - 273.15 \quad (2)$$

حيث إن: BT = درجة حرارة سطوع أعلى الغلاف الجوي (درجة مئوية)؛ $L\lambda$ = الإشعاع الطيفي لـ TOA؛ $K1$ = الأشعة الحرارية تحت الحمراء ذات النطاق الثابت؛ $K2$ = الأشعة الحرارية تحت الحمراء ذات النطاق الثابت؛ Ln = قيمة اللوغاريتم الطبيعي.

حساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

مؤشر الغطاء النباتي المتباين الطبيعي هو مقياس يُستخدم لقياس حيوية وكثافة النباتات في منطقة جغرافية محددة. يستخدم الباحثون البيئيون مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) للكشف عن أنماط التغيرات الزمانية والمكانية للغطاء النباتي (Al-Masarwa, 2019)، والذي غالبًا ما يتم حسابه باستخدام بيانات الأقمار الصناعية لتقييم تأثيرات العمليات البيئية المختلفة. مؤشر الغطاء النباتي المتباين الطبيعي، الذي يعمل كمركب رياضي للنطاقين الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة، يقيس وجود النباتات وصحتها (Latuamury, 2013)، حيث تم استخدام انعكاس السطح للنطاق (RED) B4 والنطاق (NIR) B5 لحساب مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي من خلال المعادلة التالية:

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4) \quad (3)$$

تحديد انبعاثات سطح الأرض (LSE)

انبعاثات سطح الأرض (LSE) هي متوسط انبعاثات قيم درجة الحرارة من سطح الأرض محسوبة من قيم مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)، يتم حسابها من خلال المعادلة التالية:

$$PV = [(NDVI - NDVI \min) / (NDVI \max + NDVI \min)]^2 \quad (4)$$

حيث إن: PV = نسبة الغطاء النباتي المحسوبة من مؤشر الغطاء النباتي لجميع سنوات الدراسة؛ $NDVI$ = قيم مؤشر الغطاء النباتي من صورة DN ؛ $NDVI \min$ = قيم درجة الحرارة الأقل من صورة مؤشر الغطاء النباتي؛ $NDVI \max$ = قيم درجة الحرارة الأعلى من صورة مؤشر الغطاء النباتي.

$$E = 0.004 * PV + 0.986 \quad (5)$$

E = قيمة الانبعاثات من سطح الأرض.

درجة حرارة سطح الأرض (LST)

درجة حرارة سطح الأرض (LST) هي درجة الحرارة الإشعاعية التي يتم حسابها باستخدام درجة حرارة سطوع الغلاف الجوي العلوي وطول موجة الإشعاع المنبعث وانبعاث سطح الأرض من خلال المعادلة التالية (Meftahi et al., 2022):

$$LST = (BT / 1) + W * (BT / 14380) * \ln \epsilon \quad (6)$$

حيث إن: LST = درجة حرارة سطح الأرض؛ BT = درجة حرارة سطوع أعلى الغلاف الجوي (درجة مئوية)؛ W = الطول الموجي للإشعاع المنبعث؛ E = انبعاثات سطح الأرض. حساب درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI)

تعد نظم المعلومات الجغرافية أداة فعالة وسريعة الاستجابة في دراسة المناخ الحضري واتخاذ القرار ، حيث تؤدي دورًا حاسمًا في دراسة ظاهرة الجزر الحرارية في المناطق الحضرية (Kafy et al., 2021). ويمكن قياس درجة حرارة الجزر الحرارية UHI من خلال المعادلة التالية:

$$UHI = \left(\frac{LST - LSTm}{SD} \right) \quad (7)$$

حيث إن: UHI = درجة حرارة الجزر الحرارية؛ LST = درجة حرارة سطح الأرض؛ $LSTm$ = متوسط درجة حرارة سطح الأرض في منطقة الدراسة؛ SD = الانحراف المعياري لدرجة الحرارة.

العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة السطح LST

اعتمد حساب العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة السطح LST على عدة خطوات

وهي:

1- إضافة الصور الفضائية إلى برنامج ArcGis، حيث تم احتساب درجة مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة السطح LST.

2- تم استخدام أداة (Create fishnet) مع تحديد 50 نقطة للعمود الأفقي والرأسي.

3- استخدمت الأداة (Extract Multi Values to point) على كلتا الصورتين.

4- استخدام أداة القطع clip.

5- فتح جدول البيانات الوصفية لصورة clip، حيث يتم إنشاء حقلين جديدين أحدهما (NDVI) والآخر (LST).

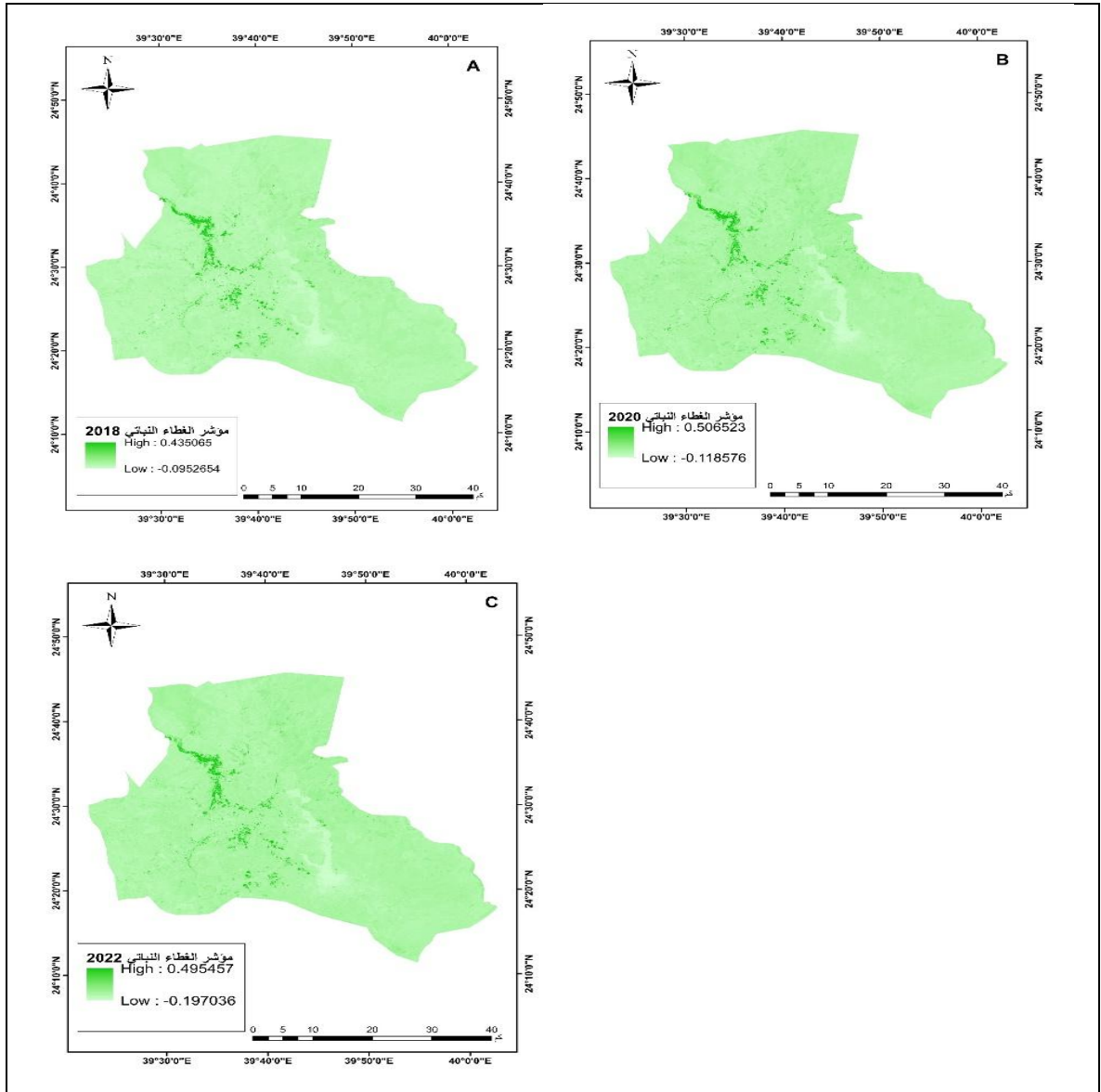
6- إنشاء شكل بياني عن طريق برنامج الأكلس Create Graph.

النتائج والمناقشة

مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

تمت دراسة مؤشر الغطاء النباتي من خلال تحليل صور المرئيات الفضائية باستخدام برنامج ArcGIS، والتي بدورها كشفت قيمة مؤشر التغير الغطاء النباتي التي طرأت على منطقة الدراسة بالتحديد خلال أعوام (2018-2020-2022) التي اختيرت للدراسة. وتوضح النتائج أن هناك تباينًا واختلافات في نسبة التغطية النباتية بين أعوام الدراسة الثلاثة.

تشير نتائج البحث الحالي إلى أن مؤشر الغطاء النباتي للمدينة المنورة لعام 2018 في شهر مايو تتراوح قيمته ما بين 0.4350 و-0.0952، حيث شكلت أدنى قيمة لمؤشر الغطاء النباتي، وتوصلت النتائج إلى أنه في عام 2020 ارتفعت قيمة نسبة الغطاء النباتي ما بين 0.506 و-0.118، بينما في عام 2022 أظهرت النتائج أن نسبة الغطاء النباتي بدأت في الانخفاض، حيث تراوحت ما بين 0.295 و0.197، كما هو موضح في الخارطة (2). ويعزى ذلك التباين في نسبة مؤشر الغطاء النباتي إلى أن المدينة المنورة مدينة دينية تشهد زيادة سكانية مرتفعة على مدار السنة، وقد أدت تلك الزيادة إلى حدوث ما يعرف بظاهرة الزحف العمراني على حساب الأراضي الزراعية، وبالتالي تقلصت مساحتها.



الشكل 3. خارطة مؤشر الغطاء النباتي: (A) 2018؛ (B) 2020؛ (C) 2022 لمنطقة الدراسة.

درجة حرارة سطح الأرض (LST)

تعد درجة حرارة سطح الأرض إحدى العوامل الأساسية التي يقاس بها مقدار الجزر الحرارية وفقاً للنتائج التي تم التوصل إليها من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية لمنطقة الدراسة، يتضح أن درجة حرارة سطح الأرض (LST) للمدينة المنورة لأعوام الدراسة (2018-2020-2022) -كما هو موضح في خارطة رقم 3- بلغت أعلى درجة لحرارة سطح الأرض (LST) عام 2018 خلال شهر مايو 73.8°C ، بينما أقل درجة حرارة لسطح الأرض (LST) بلغت 60.5°C . وسجلت درجة حرارة سطح الأرض (LST) خلال عام 2020 أعلى قيمة 60.8°C . وأقل قيمة لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) سجلت 35°C ، ويمكن استنتاج أن الإغلاق الحضري خلال جائحة كورونا (COVID 19) لعب دوراً حاسماً في خفض متوسط درجة حرارة السطح للمدينة المنورة. وتم قياس مقدار درجة سطح الأرض (LST) لعام 2022، حيث وصلت أعلى درجة حرارة 61.6°C ، على النقيض من ذلك وصلت أقل درجة حرارة 27.7°C . ويُعزى ذلك التباين في درجات الحرارة خلال الأعوام الثلاثة (2018-2020-2022) إلى الزيادة السكانية، والاحتفاظ السكاني في أجزاء من المدينة المنورة، والتوسع

الحضري، وكثافة الأنشطة التجارية، حيث إن الأهمية المدينة الدينية أدت إلى زيادة التدفقات بشرية والتغيرات اليومية والموسمية في درجات الحرارة التي تشهدها منطقة الدراسة، بالإضافة إلى ارتفاع معامل الامتصاص للسطوح الحضرية والمتمثلة بالأحياء السكنية عالية الكثافة، والمراكز التجارية والفضاءات الإسمنتية المتصلة بها.

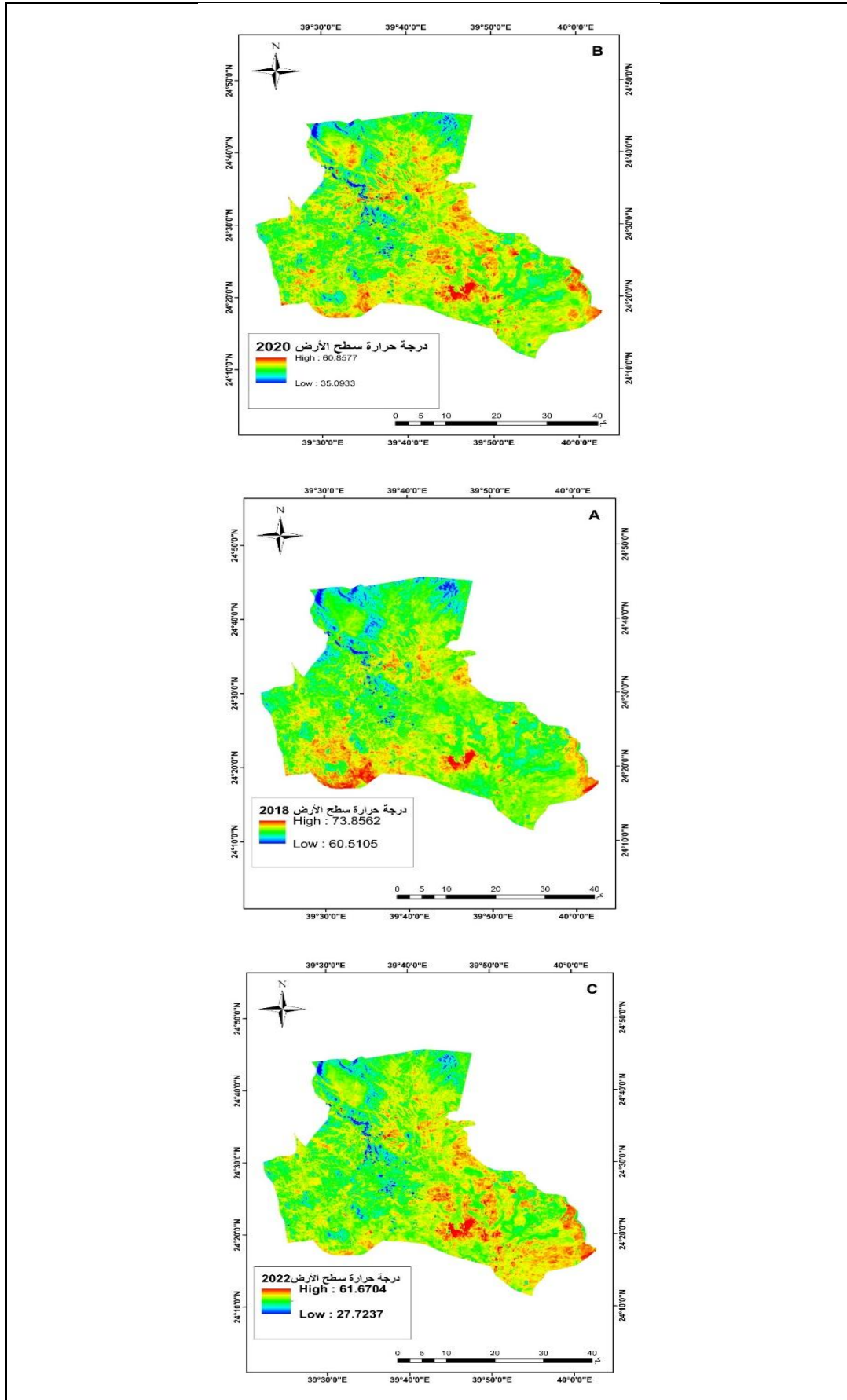
كما لعبت فترة الإغلاق خلال جائحة كورونا (COVID 19) دورًا واضحًا في انخفاض درجة حرارة سطح الأرض (LST)؛ نتيجة لقلة النشاط البشري. حيث أدى الانخفاض في الأنشطة البشرية إلى انخفاض درجة حرارة سطح البحر، وتحسُّن مؤشر جودة الهواء إلى الأفضل (Hwang et al., 2020). وأظهرت نتائج الدراسة للأعوام (2018-2020-2022) أن درجة حرارة سطح الأرض أخذت في اتجاه تنازلي في أطراف المناطق الحضرية وبالتحديد أطراف المدينة المنورة. وجاءت هذه النتيجة متطابقة مع دراسة أجريت في الصين، والتي وجدت أن درجة حرارة سطح الأرض (LST) تميل إلى التركيز في المنطقة المركزية، في حين تميل درجات الحرارة إلى الانخفاض في المناطق الحدودية (Guo et al., 2020).

العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة سطح الأرض LST

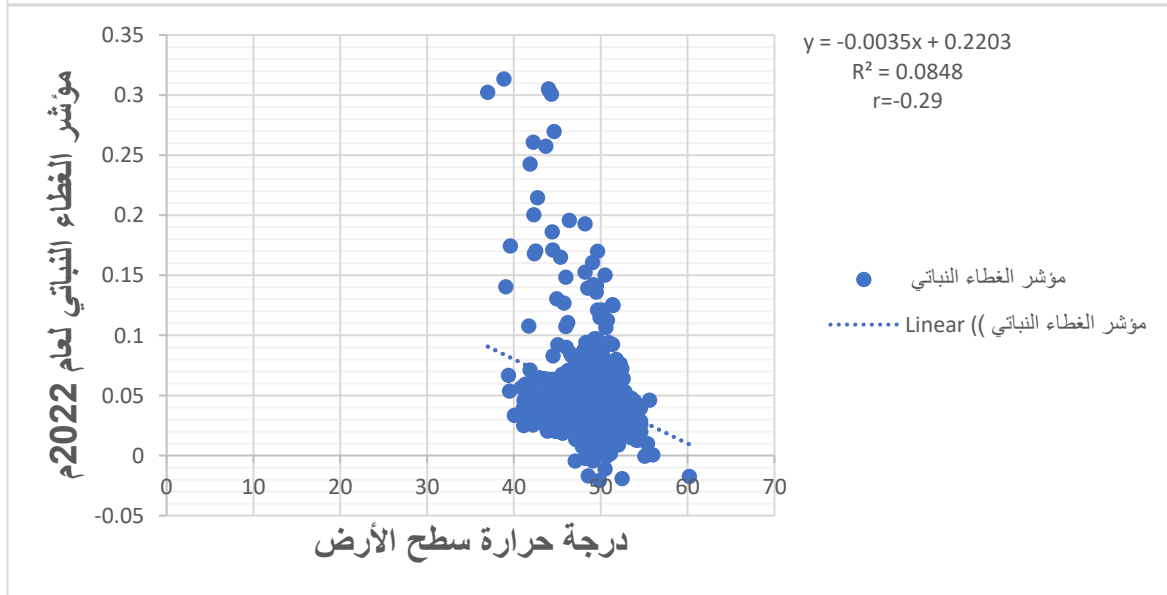
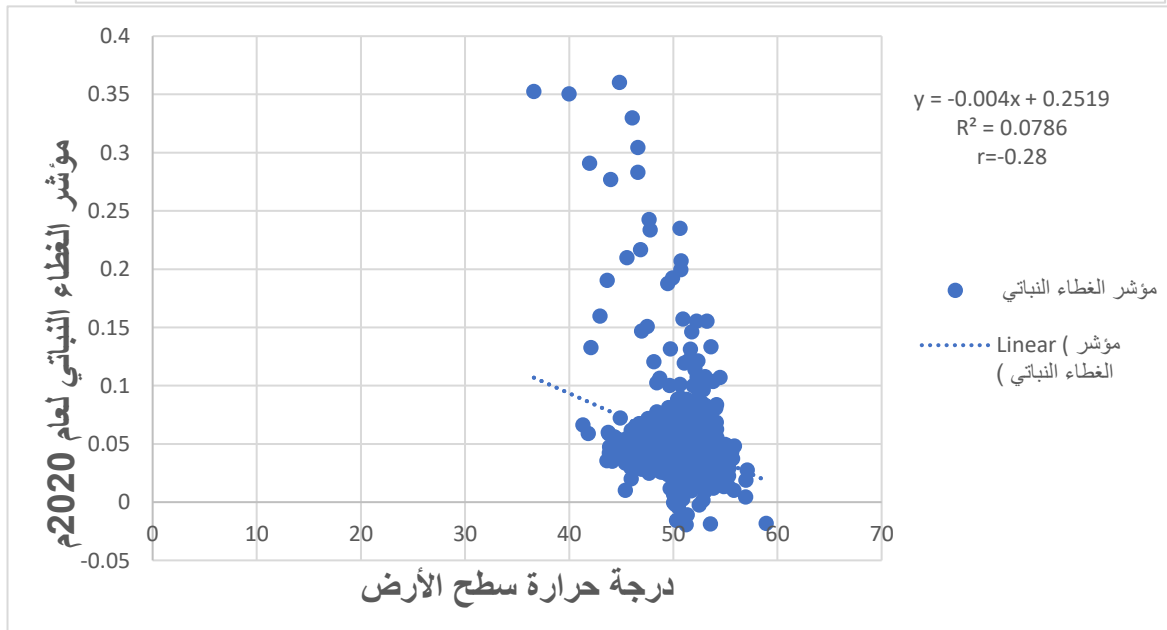
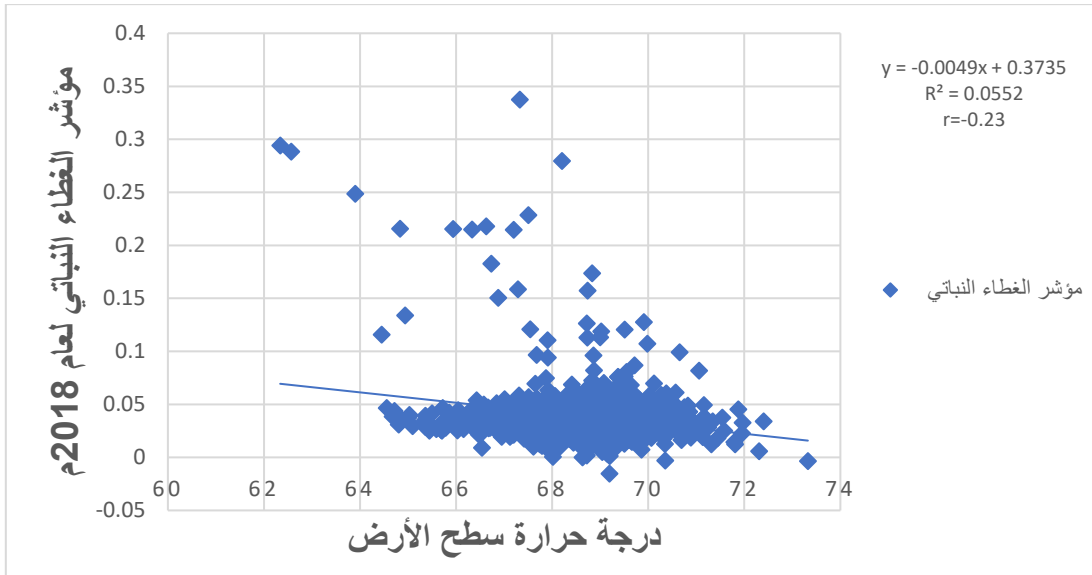
يوضح الشكل (2) معامل الارتباط لمؤشر الغطاء النباتي لأعوام الدراسة (2018-2020-2022) للمدينة المنورة. أوضحت النتائج أن معامل الارتباط لعام 2018 بلغت قيمته 0.23، وفي عام 2020 بلغت 0.28، وفي عام 2022 وصلت النتيجة إلى 0.29. ويشير التذبذب في قيمة مؤشر معامل الارتباط لمؤشر الغطاء النباتي بين سنوات الدراسة إلى عدم وجود غطاء نباتي كثيف يغطي منطقة الدراسة، بينما تشير أعلى قيمة إلى الحدائق والمناطق الزراعية، حيث تكون النباتات أكثر كثافة. ومن خلال صور (LST)، لوحظ أن أعلى درجة حرارة توجد في أطراف المدينة المنورة، وأدنى درجة حرارة توجد في المناطق النباتية مثل الحدائق والمناطق الزراعية. كما أن تغيرات استخدام الأراضي لعبت دورًا هامًا في تغيير درجات حرارة سطح الأرض. ويتضح أن العلاقة سلبية خطية ضعيفة ومنحدرة بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر (LST) ومعامل الانحدار. وهذا يوضح أن مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) يكون أقل عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أعلى، في حين يكون مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) أعلى عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أقل.

درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI)

توصلت دراسة درجة حرارة الجزر الحرارية إلى نتائج مهمة كما هو موضح في الخارطة 4، حيث تشير نتائج درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) في المدينة المنورة قبل الإغلاق في عام 2018 إلى أعلى درجة $^{\circ}\text{C}$ 17 في المناطق البعيدة عن المركز الحضري والأحياء السكنية، في حين تميزت درجة الحرارة بالانخفاض التدريجي في أجزاء متفرقة من النطاق العمراني في المدينة المنورة، حيث وصلت درجة الحرارة إلى $^{\circ}\text{C}$ 3. وخلال فترة الإغلاق في عام 2020 ارتفعت درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) بشكل عام في معظم المناطق الحضرية وبلغت $^{\circ}\text{C}$ 37. على النقيض من ذلك، انخفضت درجة الحرارة إلى $^{\circ}\text{C}$ 11. خلال فترة الإغلاق بأكملها، شهدت المدينة المنورة انخفاضًا في شدة درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) خلال عام 2020. وتبيّن في عام 2022، وهو العام الذي انتهت فيه فترة الإغلاق، أن درجة حرارة الجزر الحرارية لجميع المناطق الحضرية في المدينة المنورة تميزت بالارتفاع في درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI)، حيث وصلت $^{\circ}\text{C}$ 41. والجدير بالذكر أن هذا التغيير في درجة الحرارة كان مصحوبًا بزيادة النشاط البشري خلال النهار والليل مما أدى إلى ارتفاع ملحوظ مقارنة بفترة ما قبل الإغلاق عام 2018 وخلال الإغلاق عام 2020.



الشكل 4. خارطة درجة حرارة سطح الأرض 2022 C-2020 B-2018 A لمنطقة الدراسة.



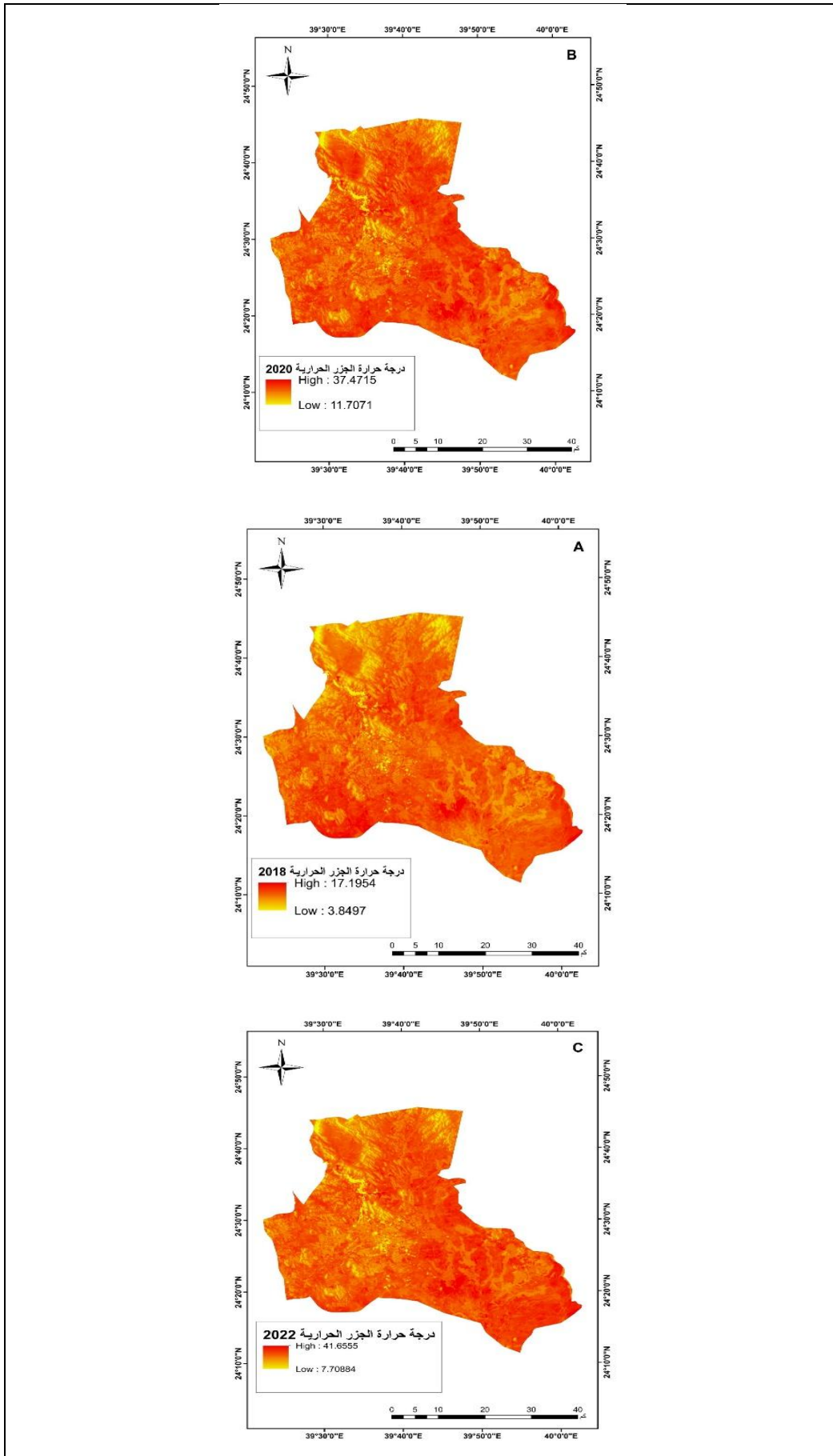
الشكل 5. معامل الارتباط لمؤشر الغطاء النباتي 2018-2020-2022 لمنطقة الدراسة.

وجاءت نتائج الدراسة مطابقة لدراسة طبقت على مدن مثل: دبي، وصنعاء، والكويت، والدوحة خلال فترة جائحة كورونا (COVID 19). وقبل جائحة كورونا تغير متوسط درجة حرارة الهواء النهارية والليلية قليلاً (أقل من 0.5 درجة سليزية تقريباً) خلال عام الإغلاق 2020 مقارنةً بنفس الفترة في عام 2019، وخاصةً في النهار (El Kenawy et al., 2021).

لقد اتخذت معظم الحكومات في جميع أنحاء العالم تدابير وقائية للحد من انتشار كوفيد 19، مما أدى إلى انخفاض كبير في استخدام المركبات والتي بدورها أدت إلى انخفاض درجات حرارة سطح الأرض وتلوث الهواء المرتبطين بمجموعة من التأثيرات البيئية، وخاصة في المناطق الحضرية ذات الحركة المرورية الكثيفة. ركزت الأبحاث حول البيئة الحرارية في الغالب على متوسط درجة حرارة سطح الأرض أو متوسط حجم الجزر الحرارية الحضرية. وفقاً لـ (Parida et al., 2021)، أدى تنفيذ سياسة الإغلاق إلى انخفاض درجة حرارة سطح الأرض بمقدار 1 إلى 2 درجة سليزية في جميع أنحاء أوروبا وأمريكا الشمالية. خلال فترة الإغلاق، انخفض متوسط شدة الجزر الحرارية الحضرية اليومية في جميع أنحاء الشرق الأوسط، وخاصة في المناطق الحضرية الصغيرة (مثل جدة وبيروت ومسقط ومكة) (El Kenawy et al., 2021). وفي مقاطعة جوتنج بجنوب إفريقيا، كانت شدة الجزر الحرارية الحضرية السطحية ودرجة حرارة سطح الأرض أقل بكثير من العام السابق (Shikwambana et al., 2021).

ركزت هذه الدراسة على اكتشاف تأثير الإغلاق الحضري لجائحة كورونا COVID 19 على درجة حرارة الجزر الحرارية UHI في المدينة المنورة قبل وخلال الإغلاق وبعد جائحة كوفيد-19. تم جمع صور لاندسات-8 لتحديد نمط الغطاء النباتي NDVI وتحديد مناطق الجزر الحرارية UHI. في هذه الدراسة، تم استخلاص مؤشر الغطاء النباتي NDVI ووفقاً للنتائج فإن مؤشر الغطاء النباتي NDVI لعام 2020 ارتفعت فيه قيمة نسبة الغطاء النباتي. وامتازت درجات الحرارة LST لأعوام الدراسة بالارتفاع تارة والانخفاض تارة أخرى، ويرجع ذلك إلى انخفاض حركة الأنشطة البشرية وتباطؤ أنشطة النقل والتجارة خلال فترة الإغلاق كوفيد-19. جنباً إلى جنب مع شدة الجزر الحرارية UHI فقد لوحظ اختلاف شدة تأثير الجزر الحرارية الحضرية UHI حسب الوقت من اليوم والموسم والظروف الشاملة والديناميكيات المرتبطة بالنظم البيئية المحلية، مثل تأثير أوراق النباتات والتبخر (Manoli et al., 2019). وبالمثل، يختلف مؤشر حرارة سطح الأرض القريبة من البحار خلال فترات النهار عن الليل. وتجدر الإشارة إلى أن الدراسة حددت كمية التباین في مؤشرات الغطاء النباتي NDVI وحرارة سطح الأرض LST قبل وخلال وبعد عامين من إغلاق كوفيد-19. علاوة على ذلك، قامت الدراسة الحالية بتقييم الفرق في مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة سطح الأرض LST في شهر مايو 2018 قبل الجائحة ومباشرةً خلال الإغلاق (2020) وبعد الانتهاء من الجائحة 2022.

كانت بعض القيود التي لوحظت بشكل عام تقف في وجه إتمام البحث بشكل جيد، لأن جميع التحليلات كانت تستند إلى تفسير صور الأقمار الصناعية Landsat 8 بالاعتماد على برنامج نظم المعلومات الجغرافية GIS، وحصلت هذه الدراسة على بيانات درجة حرارة سطح الأرض (LST) النهارية فقط، ولم يتم تناول تأثير القيود أثناء الليل في هذه الدراسة. قد يكون لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) الحضري دور في معرفة الفرق بين درجات الحرارة في النهار واختلافها في الليل وبالتحديد ما قبل الجائحة وخلال فترة الإغلاق وبعد الإغلاق. كما أن للقيود السياسية التي فرضتها الحكومة على سكانها من الحد من انتشار المرض لعبت دوراً حاسماً في انخفاض درجة الحرارة في منطقة الدراسة.



الشكل 6. خارطة درجة حرارة الجزر الحرارية: (A-2018 (B-2020 (C-2022 لمنطقة الدراسة.

الاستنتاجات

قد يرتبط مع النمو الحضري المتسارع في المدن والزيادة في أعداد السكان حدوث تغيرات ملحوظة على المناخ الحضري للمدن، والتي تنعكس بدورها على حياة سكان المدن والأنشطة البشرية. من تلك التغيرات التي تتسبب في تغير المناخ الحضري للمدن جائحة (COVID 19)، والتي بدورها أثرت على درجة حرارة الجزر الحرارية للمدينة المنورة. إن ما تشهده المدينة المنورة من تقاوم المشكلات الحضرية - ومنها الجزر الحرارية الحضرية- يعتبر انعكاسًا لمكانتها الدينية ونموها العمراني والزيادة السكانية فيها.

توصلت الدراسة إلى أن جائحة كورونا (COVID 19) تمثل أحد الأسباب التي أثرت في درجة حرارة المدينة المنورة، وظهر ذلك التأثير للجائحة من خلال فحص مؤشر الغطاء النباتي على الجزر الحرارية، حيث لوحظ انخفاض مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) خلال سنوات الدراسة (2018-2020-2022) عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أعلى، وحيث يكون مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) أعلى عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أقل، وهذا يوضح أن العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر LST ومعامل الانحدار علاقة سلبية خطية ضعيفة ومنحدرة.

وأظهرت نتائج الدراسة للأعوام (2018-2020-2022) أن درجة حرارة سطح الأرض أخذت في اتجاه تنازلي في أطراف المناطق الحضرية وبالتحديد أطراف المدينة المنورة. وفقًا للبيانات التي تمت مراقبتها، كان هذا الإغلاق مفيدًا أيضًا في تقليل درجة حرارة سطح الأرض في المدينة المنورة. وهذا بدوره يمكن ان يقودنا الى استنتاج أن الإغلاق لعب دورًا حاسمًا في خفض متوسط درجة حرارة سطح الأرض في المدينة المنورة، فمن المفترض أنه أدى الإغلاق الحضري إلى انخفاض الانبعاثات البشرية، وذلك بشكل رئيس من خلال انخفاض أنشطة النقل والأنشطة الصناعية. ويمكن أن تكون نتائج الدراسة الحالية بمثابة دليل لقياس فعالية التدابير المتخذة للتخفيف من تأثير جزيرة الحرارة الحضرية، والتي تشمل انخفاض حركة المركبات، والتغيرات في المناظر الطبيعية، والإغلاقات قصيرة المدى؛ للسيطرة على الحرارة الناجمة عن أنشطة الإنسان. فهذه التدابير تساهم صناع القرار على فهم الديناميكيات المعقدة للجزر الحرارية الحضرية من خلال إلقاء الضوء على التفاعل بين المناخ في المناطق الحضرية والريفية، حيث لا يمكن تخفيف التأثير ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية إلا من خلال وضع استراتيجيات تساهم في تخفيف الآثار السلبية لجزر الحرارة الحضرية داخل المدن على رفاة الإنسان والبيئة، وايضاً في الحد من تأثير جزيرة الحرارة الحضرية على المدن سريعة التحضر في المملكة العربية السعودية.

التوصيات

- تقترح الدراسة استخدام بيانات أقمار صناعية أخرى ذات دقة مكانية وزمنية أعلى لتقليل تأثير الاضطرابات الجوية.
- توصي الدراسة بضرورة التحقق بعمق في تأثير الأنشطة البشرية، والجوانب الاجتماعية والاقتصادية، وغيرها من محركات تأثير جزيرة الحرارة الحضرية.
- يمكن أن تتضمن الأبحاث المستقبلية بيانات حرارية ليلية وعطلات نهاية الأسبوع لفهم تأثير الإغلاق على الأنشطة الحضرية وطرق استخدام الأراضي بشكل أفضل وبطريقة شاملة.
- الاستفادة من الجزر الحرارية في التشجير لخلق جودة حياة ملائمة للسكان.
- يجب على صناع السياسات صياغة قوانين أو لوائح جديدة لوقف التحويل غير القانوني أو غير المخطط له للأراضي على الجزر الحرارية الحضرية داخل المدينة المنورة.

- هناك العديد من الطرائق المختلفة لتقييم مناطق الجزر الحرارية ورسم خرائط لشدة جزيرة الحرارة. لذلك، ينبغي تقييم الصور عالية الدقة والمقاييس الأخرى للحصول على معرفة أعمق بالجزر الحرارية.
- من أجل فهم أفضل لتغير نمط الغطاء النباتي وتغير درجة حرارة سطح الأرض وجزر الحرارية، فإن الدراسة الطولية ستكون أكثر تعقيداً. علاوة على ذلك، يجب مراعاة الإغلاق قصير المدى (أسبوع أو أسبوعين) أثناء إجراء هذا النوع من الدراسة بدلاً من الإغلاق طويل المدى.

المصادر

- Al-Shanti, A., 1993. Geology of the Arabian Shield. Scientific Publishing Center, King Abdulaziz University. <https://2u.pw/BKTCAKhi>
- Ali, G., Abbas, S., Qamer, F.M., Wong, M.S., Rasul, G., Irteza, S.M., and Shahzad, N., 2021. Environmental impacts of shifts in energy, emissions, and urban heat island during the COVID-19 lockdown across Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125806>
- Al-Munawwarah, A.A., 2017. The first report evaluating the master plan for Al-Munawwarah prepared in 1413 AH.
- Al-Masarwa, A.A.T., 2019. Changes in land cover patterns in Al-Qasr District, Jordan, during the period (1986-2016) through the application of remote sensing and geographic information systems techniques. *University of Sharjah Journal of Humanities and Social Sciences*, pp. 26-54, 16(1A).
- Alqasemi, A.S., Hereher, M. E., Kaplan, G., Al-Quraishi, A.M.F., and Saibi, H., 2021. Impact of COVID-19 lockdown upon the air quality and surface urban heat island intensity over the United Arab Emirates. *Science of the Total Environment*, 767, 144330. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144330>
- Al-Saadi, A.A.S., Salem, A.A., Al-Muqri, and Saad, D.M.B., 2024. Using Big Data in Remote Sensing to Analyze Changes in Urban Climate Resilience in Madinah during the Period 2000-2022. *Journal of the Geographical and Cartographic Research Center*, 21(39), pp. 21-53. DOI: [10.21608/mkgc.2024.285201.1140](https://doi.org/10.21608/mkgc.2024.285201.1140)
- Andreou, E., 2014. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy*, 63, pp. 587-596. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.051>
- Arrofiqoh, E.N. and Setyaningrum, D.A., 2021. The impact of COVID-19 pandemic on land surface temperature in Yogyakarta Urban Agglomeration. *Geospatial Information*, 5(1).
- Chakraborty, T., Sarangi, C., and Lee, X. 2021. Reduction in human activity can enhance the urban heat island: Insights from the COVID-19 lockdown. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054060. DOI:[10.1088/1748-9326/abef8e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abef8e)
- Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X. and Yin, Z.-Y., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2), pp. 133-146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- El Kenawy, A.M., Lopez-Moreno, J.I., McCabe, M.F., Domínguez-Castro, F., Peña-Angulo, D., Gaber, I. M., Alqasemi, A. S., Al Kindi, K. M., Al-Awadhi, T., and Hereher, M.E., 2021. The impact of COVID-19 lockdowns on surface urban heat island changes and air-quality improvements across 21 major cities in the Middle

- East. Environmental Pollution, 288, 117802.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117802>
- Glocke, P., Bechtel, B., and Sismanidis, P., 2023. Consideration of Altered Anthropogenic Behavior during the First Lockdown and Its Effects on Air Pollutants and Land Surface Temperature in European Cities. *Atmosphere*, 14(6), 1025. <https://doi.org/10.3390/atmos14061025>
- Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., and Li, X., 2020. Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972.
- Hwang, R.-L., Lin, T.P., and Lin, F.Y., 2020. Evaluation and mapping of building overheating risk and air conditioning use due to the urban heat island effect. *Journal of Building Engineering*, 32, 101726. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101972>
- Jallu, S.B., Shaik, R.U., Srivastav, R. and Pignatta, G., 2022. Assessing the effect of COVID-19 lockdown on surface urban heat island for different land use/cover types using remote sensing. *Energy Nexus*, 5, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100056>
- Kafy, A.-A., Al Rakib, A., Akter, K.S., Jahir, D.M.A., Sikdar, M.S., Ashrafi, T.J., Mallik, S., and Rahman, M.M., 2021. Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. *Environmental Challenges*, 4, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100192>
- Latuamury, B., 2013. Hubungan antara indeks vegetasi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan koefisien resesi baseflow pada beberapa subdas Propinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknosains*, 2(2). <https://doi.org/10.22146/teknosains.5998>
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G.R., Imhoff, M., and Li, X., 2017. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605, pp. 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.229>
- Mallick, J., Kant, Y., and Bharath, B., 2008. Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *J. Ind. Geophys. Union*, 12(3), pp. 131-140.
- Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T.W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G.G. and Bou-Zeid, E., 2019. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, 573(7772), pp. 55-60.
- Meftahi, M., Monavari, M., Kheirkhah Zarkesh, M., Vafaeinejad, A. and Jozi, A., 2022. Achieving sustainable development goals through the study of urban heat island changes and its effective factors using spatio-temporal techniques: the case study (Tehran city). *Natural resources forum*, <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12245>
- Najah, F.T., Abdullah, S.F.K., and Abdulkareem, T.A., 2023. Urban land use changes: Effect of green urban spaces transformation on urban heat islands in Baghdad. *Alexandria Engineering Journal*, 66, pp. 555-571. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.11.005>
- Nations, U.U., 2014. Population Division, Urban Agglomerations. Department of Economic and Social Affairs.

- Parida, B.R., Bar, S., Kaskaoutis, D., Pandey, A.C., Polade, S.D. and Goswami, S., 2021. Impact of COVID-19-induced lockdown on land surface temperature, aerosol, and urban heat in Europe and North America. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103336. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103336>
- Roshan, G., Sarli, R., and Grab, S.W., 2021. The case of Tehran's urban heat island, Iran: Impacts of urban 'lockdown' associated with the COVID-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103263. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103263>
- Shikwambana, L., Kganyago, M., and Mhangara, P., 2021. Temporal analysis of changes in anthropogenic emissions and urban heat islands during COVID-19 restrictions in Gauteng province, South Africa. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(9), 200437. <https://doi.org/10.4209/aaqr.200437>
- Sismanidis, P., Bechtel, B., Keramitsoglou, I., Liu, Z., and Zhan, W., 2023. The Intensity of Surface Urban Heat Islands in the Global North during the COVID-19 Lockdowns. 2023 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), [10.1109/JURSE57346.2023.10144159](https://doi.org/10.1109/JURSE57346.2023.10144159)
- Teufel, B., Sushama, L., Poitras, V., Dukhan, T., Bélair, S., Miranda-Moreno, L., Sun, L., Sasmito, A.P., and Bitsuamlak, G., 2021. Impact of COVID-19-related traffic slowdown on urban heat characteristics. *Atmosphere*, 12(2), 243. <https://doi.org/10.3390/atmos12020243>
- Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A., and Sánchez-Alcalde, L., 2020. Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, 728, 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>



تقييم الخصائص الجيوتكنيكية لترسبات قناة مشروع ري كركوك للاستخدامات الهندسية المختلفة

مهند عيسى خضر^{1*} ID، صبار عبدالله صالح² ID، عمر صباح ابراهيم³ ID

^{2,1} قسم علوم الارض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

³ قسم علوم الارض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

الملخص

يهدف البحث الى دراسة وتقييم بعض الخواص الجيوتكنيكية للترسبات الموجودة داخل مشروع ري كركوك ابتداء من سدة الدبس وصولاً الى نهاية قضاء طوز خورماتو حيث تم اجراء الفحوصات الجيوتكنيكية لستة محطات ممثلة لهذه الترسبات. اظهرت الفحوصات الجيوتكنيكية ان ترسبات المشروع تحتوي على احجام متفاوتة من الترسبات، لذلك تعد تربة غير متجانسة في خواصها كما صنفتم من خلال مخطط اللدونة على انها تربة طينية واطئة اللدونة (CL) في بعض النماذج، بينما في اغلب النماذج كانت التربة غرينية واطئة اللدونة (ML). تراوحت قيم الوزن النوعي ما بين (2.66 و 2.74) فيما اظهرت التحليلات الكيميائية ان قيم نسبة الجبس والاملاح الذائبة الكلية ونسبة المواد العضوية ونسبة الكبريتات تتراوح ما بين (5.33 و 13.23) %، (7.13 و 15.18) %، (0.12 و 0.65)، و (0.9 و 0.47) % على التوالي. كما تراوحت قيم الاس الهيدروجيني (pH) ما بين (7.94 و 8.3)، وهذه النسب العالية تؤثر على الخصائص الهندسية للترسبات (وخصوصاً نسبة الجبس والاملاح الذائبة الكلية). ومن خلال الفحوصات الجيوتكنيكية، تبين ان قيم التماسك تتراوح ما بين (2.2 و 14.9) كغم/سم²، أذ تزداد قيم التماسك كلما ازدادت نسبة المواد الناعمة، وتقل كلما ازداد المحتوى المائي ونسبة المواد الخشنة، في حين تراوحت قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي ما بين (8° و 22°)، أذ تتأثر زاوية الاحتكاك الداخلي بقيم معامل اللدونة وزيادة نسبة المواد الخشنة، وتم الاستنتاج بان ترسبات منطقة الدراسة بشكل عام يمكن استخدامها لبعض الأغراض الهندسية بعد معالجاتها.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 27- ديسمبر - 2024

تاريخ المراجعة: 03- فبراير - 2025

تاريخ القبول: 11- ابريل - 2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

الجيوتكنيكية،

مشروع ري كركوك،

الترسبات النهرية،

المراسلة:

الاسم: مهند عيسى خضر

Email: Mohanaddroesh@tu.edu.iq

Evaluation of the Geotechnical Properties of Sediments in the Kirkuk Irrigation Project Canal for Various Engineering Applications

Mohanad Essi Khudher^{1*} , Sabbar Abdullah Saleh² , Omer Sabah Ibrahiem Al-Tamimee³ 

^{1,2} Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Tikrit, Iraq.

³ Department of Applied Geology, College of Science, University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq.

Article information

Received: 27- Dec-2024

Revised: 03- Feb -2025

Accepted: 11- Apr -2025

Available online: 01- Apr-2026

Keywords:

Geotechnics,
Kirkuk Irrigation Project,
Fluvial Deposits,

Correspondence:

Name: Mohanad Essi Khudher

Email: Mohanaddroesh@tu.edu.iq

ABSTRACT

The research aims to study and evaluate some geotechnical properties of the sediments within the Kirkuk Irrigation Project, starting from the Al-Dibs Barrage to the end of the Tuz Khurmatu district. Geotechnical tests were conducted on six stations representing these sediments. The tests revealed that the project sediments exhibit varying grain sizes, indicating that the soil is heterogeneous in its properties. Based on the plasticity chart, some samples were classified as low-plasticity clay (CL), while most samples were classified as low-plasticity silt (ML). The specific gravity values ranged between 2.66 and 2.74. Chemical analyses showed that the gypsum content, total dissolved salts (TDS), organic matter, and sulfate content ranged between 5.33–13.23%, 7.13–15.18%, 0.12–0.65%, and 0.9–4.7%, respectively. The pH values ranged from 7.94 to 8.3. These high levels, particularly gypsum and TDS, significantly affect the engineering properties of the sediments. Geotechnical tests indicated that cohesion values ranged between 2.2 and 14.9 kg/cm². Cohesion values increase with a higher fine particle content and decrease with increased moisture content and coarse particle content. The internal friction angle ranged between 8° and 22°, and it is influenced by the plasticity index and the proportion of coarse particles. In conclusion, the sediments in the study area can generally be utilized for certain engineering purposes after proper treatment.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56129](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56129), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

تختلف الرواسب من مكان إلى آخر باختلاف ظروفها الترسيبية؛ استناداً إلى الطرائق التي تتكون بها وعلاقات مكونات التربة الأصلية من ناحية صخور الأصل والصخور الأساسية التي كونت هذه الرواسب وعوامل النقل المختلفة فضلاً عن التأثيرات المناخية والبيئية من موقع إلى آخر، تؤثر الخواص الجيوتكنيكية على بعضها البعض وكذلك على استقرارية المنشآت الهندسية واستناداً إلى ما تقدم تعتبر عملية إجراء الفحوصات الجيوتكنيكية خطوة أساسية أولى ومهمة في أي دراسة هندسية (Roy and Bhalla, 2017).

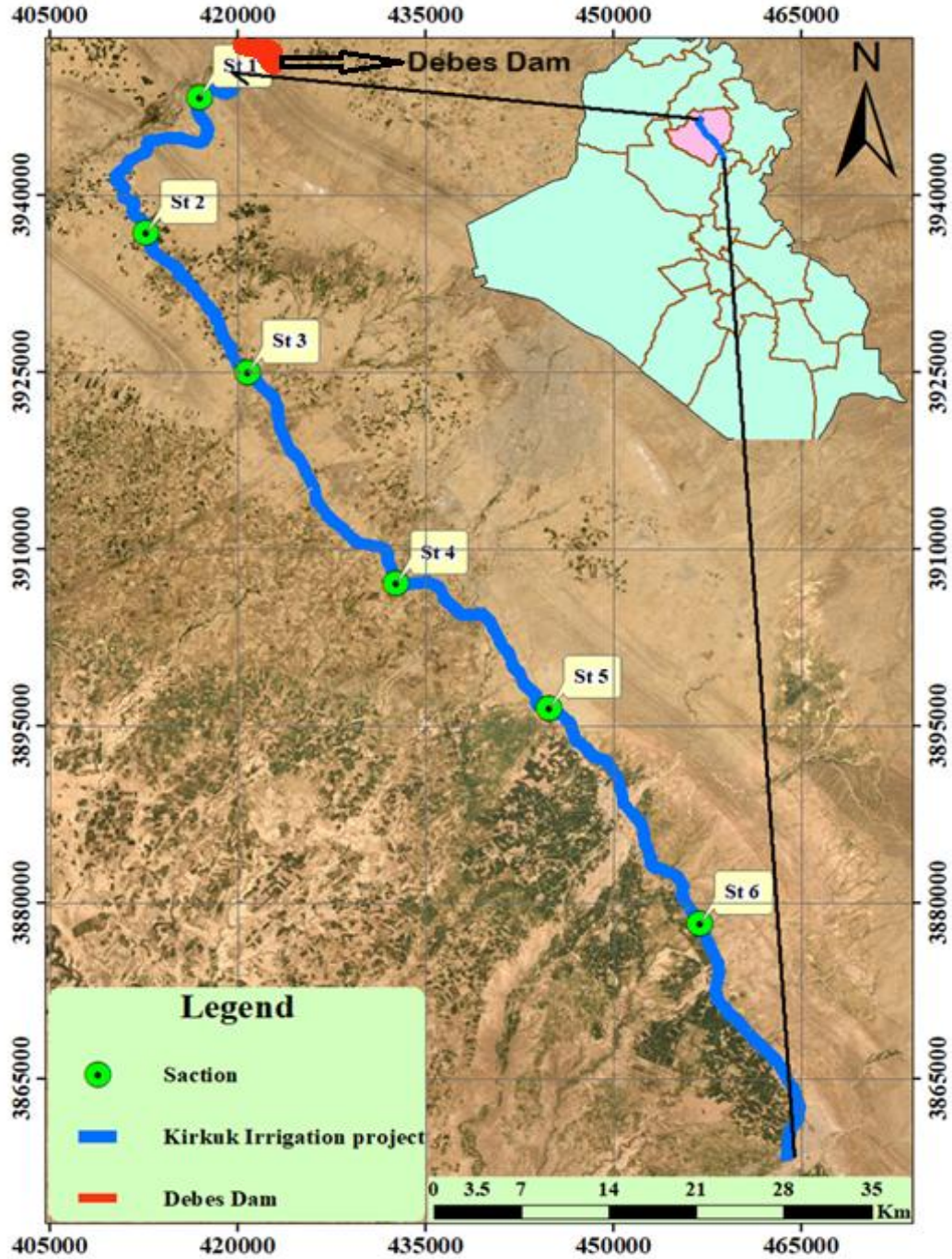
إن دراسة القناة تعتبر أساساً لتحسين الإدارة المائية وتحسين موازنتها (Khudher *et al.*, 2025)، فدراسة وتقييم الرسوبيات في مشروع ري كركوك (منطقة الدراسة) من الناحية الجيوتكنيكية. من الضروري التعرف على الخصائص الفيزيائية والهندسية والكيميائية لهذه الرسوبيات. حيث تُعد هذه الخصائص أساساً للتقييم الجيوتكنيكي. تؤثر الخصائص الفيزيائية مثل المحتوى الرطوبي، التحليل الحجمي، حدود أتربيرغ، والوزن النوعي بشكل كبير على سلوك الصخور الهندسية. بما في ذلك مقاومة الانضغاط، مقاومة القص، والرص، والتآكل الميكانيكي. تُعد الخصائص الفيزيائية للتربة من العوامل المهمة في تصنيفها لاستخداماتها الهندسية (Bowles, 1984 ; Scott, 1974). وتكمن أهمية النتائج الناتجة عن الفحوصات الجيوتكنيكية في دورها الأساسي بتصميم المشاريع الهندسية. حيث تسهم في الكشف عن المشكلات التي قد تظهر مستقبلاً. مما يساعد في وضع حلول فعالة لمعالجتها بطريقة مناسبة.

الهدف من الدراسة

تهدف الدراسة الحالية الى دراسة وتقييم بعض الخواص الجيوتكنيكية لترسبات مشروع ري كركوك (الفيزيائية والكيميائية والهندسية) وفق مواصفات الجمعية الامريكية للفحص والمواد (ASTM) وبيان مدى صلاحيتها للاستخدامات الهندسية المختلفة.

موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة شمال العراق في محافظة كركوك على طول مشروع ري كركوك وبالباغة بحدود 100 كم. ابتداء من مدينة الدبس وصولا الى حدود قضاء طوز خورماتو مع قضاء سليمان بيك. بين احداثيات التشرقيق (410000 و 4650000) واحداثيات التشميل (3850000 و 3940000) (الشكل 1).



الشكل 1. خريطة موقعية مبيّن عليها مواقع محطات الدراسة في مشروع ري كركوك وموقع سدة الدبس.

جيولوجية منطقة الدراسة

تم تحديد جيولوجية منطقة الدراسة بالإعتماد على (Jassim and Goff, 2006)

تشمل المنطقة المدروسة وحدات صخرية مختلفة كما في الشكل (2)، وتشمل الوحدات الجيولوجية التالية:

تكوين فتحة: Fat'ha Formation

يتميز تكوين فتحة بسيادة صخور المتبخرات. ويتألف من صخور الأنهيدرايت والجبس مع وجود تداخلات من الحجر الجيري والطين الجيري والرمال الطينية والتي تكون ناعمة نسبياً. كما ويمتاز هذا الكتوين بسمكه الكبير. تعود فترة تكوينه إلى المايوسين الأوسط (Jassim and Goff, 2006)

تكوين إنجانا: Injana Formation

يتألف تكوين إنجانا من الحجر الرملي الجيري والطين الأحمر والأخضر مع وجود طبقة رقيقة من الجبس ويحتوي الحجر الرملي الجيري على علامات النيم. حيث يتم تغطيتها بدورات من الطين الرملي والطين الأحمر. سمك التكوين متغير بسبب التآكل الحاصل على الطيات الرئيسية (Jassim and Goff, 2006). وعادة ما تعود فترة التكوين إلى المايوسين الأعلى

تكوين مقداية: Mukdadiya Formation

يبدأ تكوين مقداية عادةً بالحجر الرملي الحصى. يتميز بطبقات سمكية من الحجر الرملي والطين الرملي بكونها سمة مميزة لهذا التكوين. يمكن ملاحظة نقصان في حجم الحبيبات جزئياً على طول محور منطقة الترسيب الرئيسية (Buday, 1980)

تكوين باي حسن: Bai Hassan Formation

يتألف من تناوب الكونكولومريت والطين الرملي مع الحجر الرملي والطين الرملي. تظهر هذه المكونات تبايناً سواءً مع الطول أو عمودياً. عمر التكوين يعود إلى أواخر البليوسين. (Jassim and Goff, 2006).

ترسبات العصر الرباعي: Quaternary Sediments

تتألف من مزيج من مختلف احجام الرواسب بما في ذلك الحصى، والحجارة الصغيرة، والرمال، والغرين، والطين. الحصى في الغالب من الكربونات والتي تُشتق من تكوين باي حسن. هذه الرواسب تغطي تكوين باي حسن والتميز بينهما صعب للغاية نظراً لتشابه تركيبهما الصخري وغياب الأحافير في كلتا الودحتين. سمك الرواسب الرباعية متغير ويغطي معظم مساحة منطقة الدراسة. عمر هذه الرواسب يمتد من البليستوسين إلى الهولوسين.

المواد وطرائق العمل:

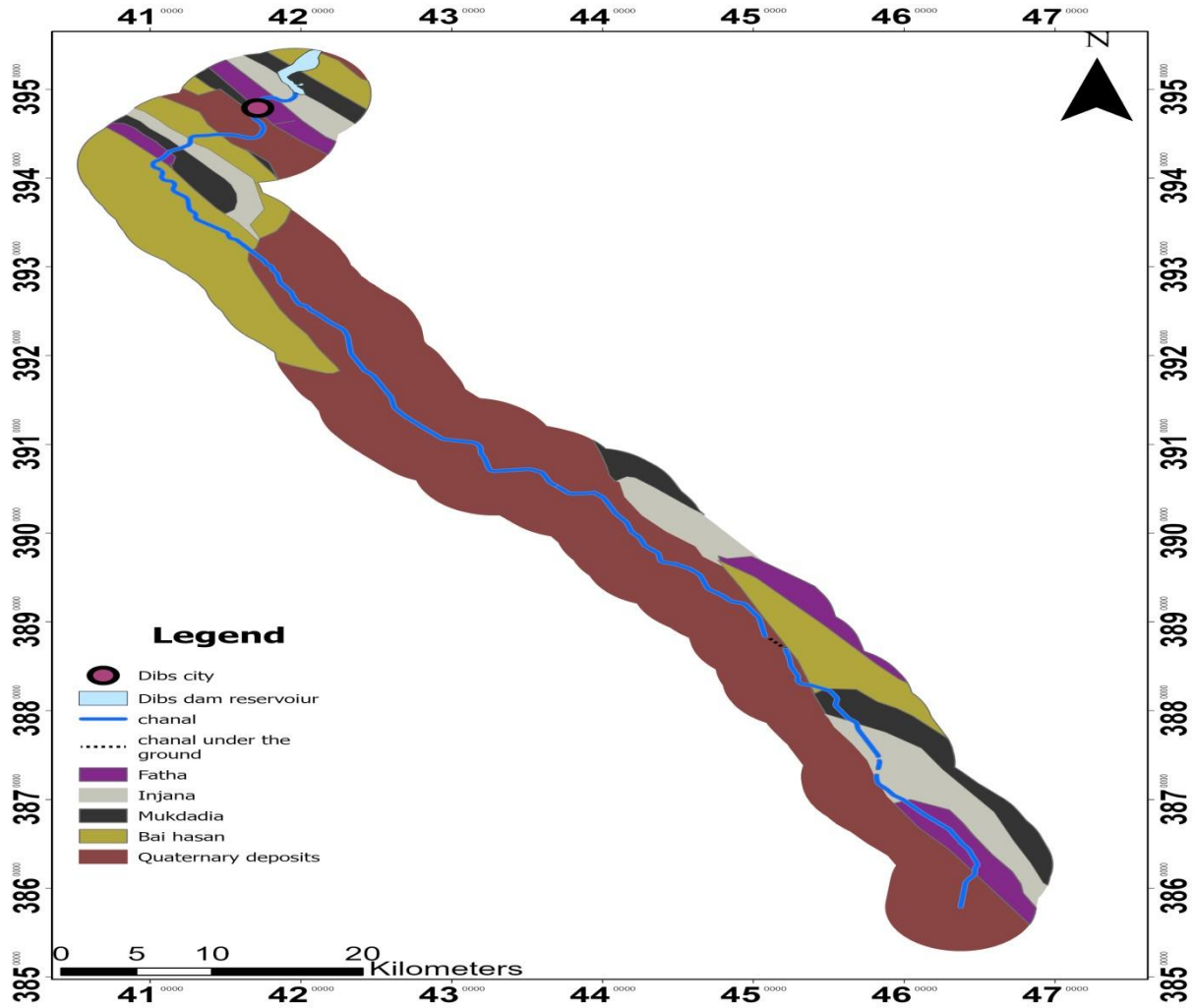
1- الوزن النوعي هو نسبة وزن حبيبات التربة إلى وزن الماء (Sivakugan,2021). تم إجراء اختبارات النماذج في مختبرات قسم علوم الأرض التطبيقية بكلية العلوم في جامعة تكريت.

2- التحليل الحجمي: يستخدم التحليل الحجمي الحبيبي لتصنيف التربة إلى عدة مجاميع مختلفة حسب النسبة المئوية الوزنية لمكوناتها والتي تشمل الحصى والرمل والغرين والطين. (Braja and Das., 2018) فحصت النماذج حسب (ASTM- (D422,63 Reapproved 2007 -2014).

3 - حدود اتربرك: ويعبر عنها بالنسبة المئوية للرطوبة في التربة عند حصول التغييرات التي تحدث عليها، وتبدي جميع التربة تأثيراً مختلفاً وسلوك واضح عند تغير النسبة في رطوبتها وبالأخص في التربة الطينية (Braja and Das., 2018). فحصت النماذج في مختبرات قسم علوم الأرض التطبيقية/كلية العلوم/جامعة تكريت. تم حساب حدود اتربرك وفق (ASTM- (D4318,14 -2014).

4 - فحص القص المباشر: تم تحديد التماسك اضافة الى زاوية الاحتكاك الداخلي من خلال إجراء الاختبارات على النماذج في مختبرات قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت. وقد تم تنفيذ الفحص وفق (-ASTM D3080 ASTM D3080, 11, 2011).

5- الخواص الكيميائية: تم حساب الخواص الكيميائية كنسبة مئوية حسب المواصفة البريطانية (1377:1990.B.S) وتم فحص النماذج في مختبرات قسم الهندسة الكيماوية، كلية الهندسة، جامعة تكريت.



الشكل 2. خريطة جيولوجية مبين عليها سدة الدبس ومسار مشروع ري كركوك والتكوينات الظاهرة في منطقة الدراسة معدلة من (Sissakian and Fouad, 2015).

النتائج والمناقشة:

الخواص الجيوتكنيكية لنماذج منطقة الدراسة

أ. الخواص الفيزيائية (Physical properties)

1. التحليل الحجمي للحبيبات (Grain size analysis)

يستخدم التحليل الحجمي الحبيبي في تصنيف التربة إلى مجاميع مختلفة وفق النسبة المئوية الوزنية لمكوناتها والتي تشمل الحصى والرمل والغرين والطين (Braja and Das., 2018) الجدول (1).

تم اختبار العينات وفق (ASTM D422-63, 2007) (Reapproved 2014) لتحديد النسبة المئوية للأوزان الخاصة بالأحجام المختلفة لجزيئات التربة. يُعد التحليل الحجمي للتربة عنصراً أساسياً في عملية تصنيفها.

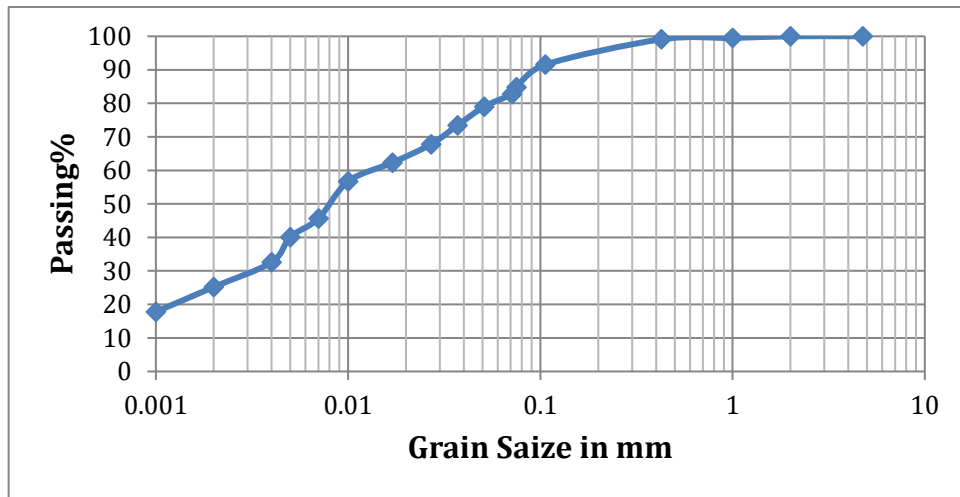
الجدول 1: بعض أحجام المناخل المستخدمة في عملية التحليل المنخلي عن (Braja and Das., 2018)

U.S Standard Sieve Number	Opening (mm)	Type of Soil
4	4.75	Gravel
10	2.00	Coarse Sand
40	0.425	Medium Sand
200	0.075	Fine Sand
Pan	0.075	Fines (Silt, Clay)

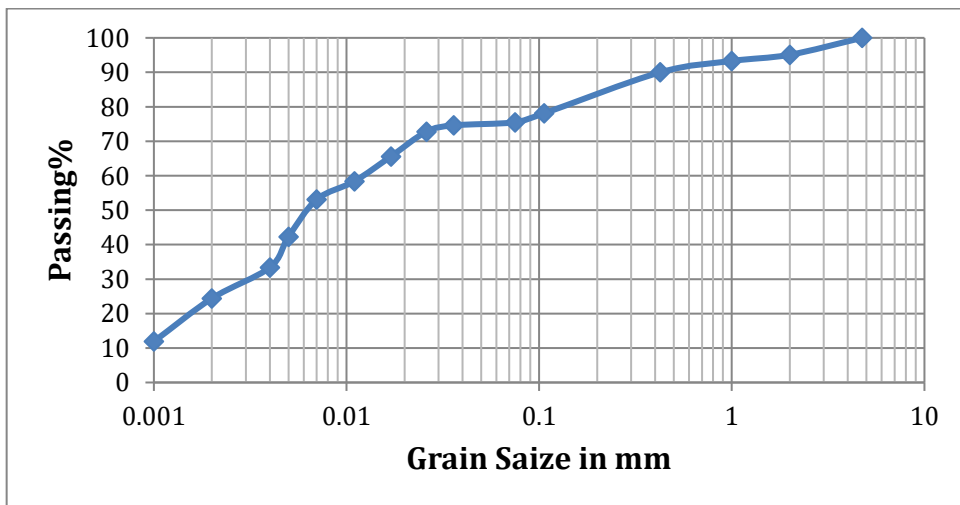
ترسم العلاقة بين النسب المئوية العابرة للأوزان مع توزيع الأحجام على أوراق نصف لوغاريتمي (Semi-log) كما في الاشكال (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) وكانت النتائج كما في جدول (2).

جدول رقم 2: نتائج التحليل الحجمي الحبيبي لمحطات منطقة الدراسة.

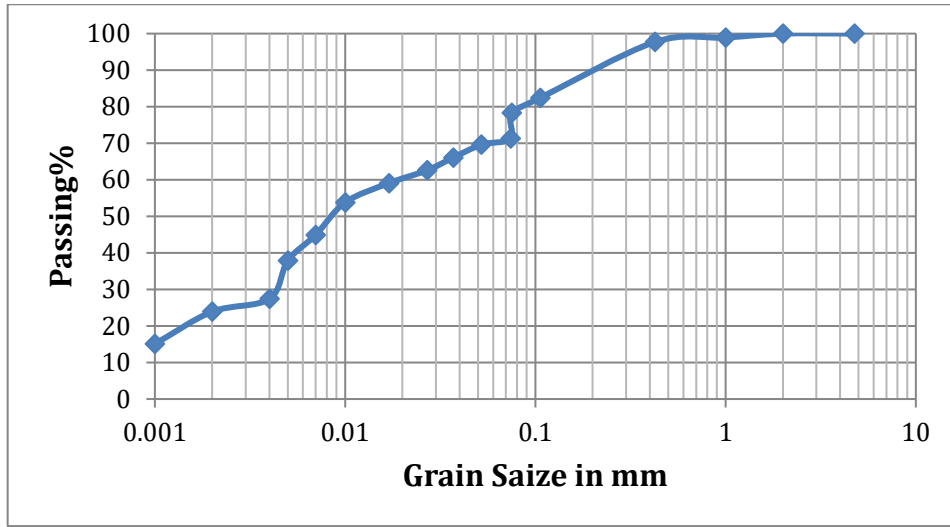
Station No.	Clay%	Silt %	Sand %
1	32	53	15
2	33	41	26
3	28.5	50	21.5
4	38.5	45	16.5
5	28	55	17
6	28	56	16



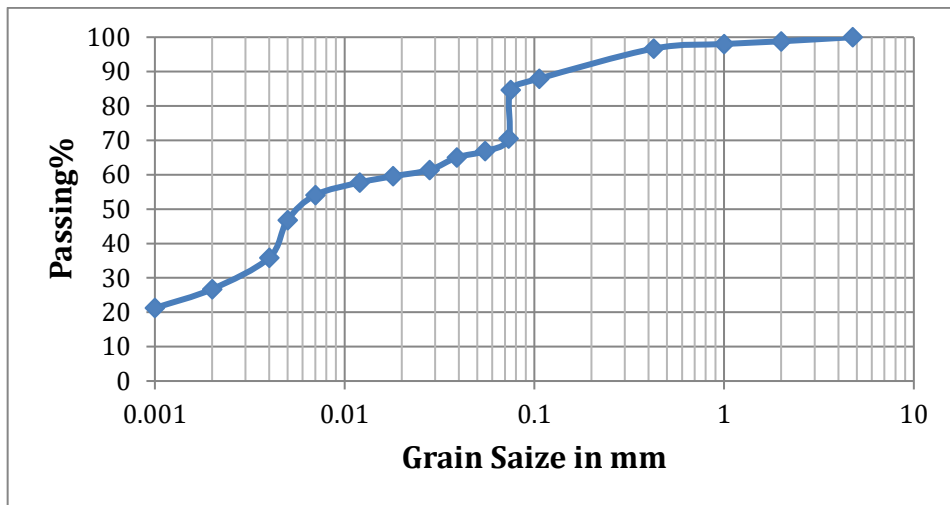
الشكل 3. التحليل الحجمي الحبيبي لترسبات المحطة الاولى



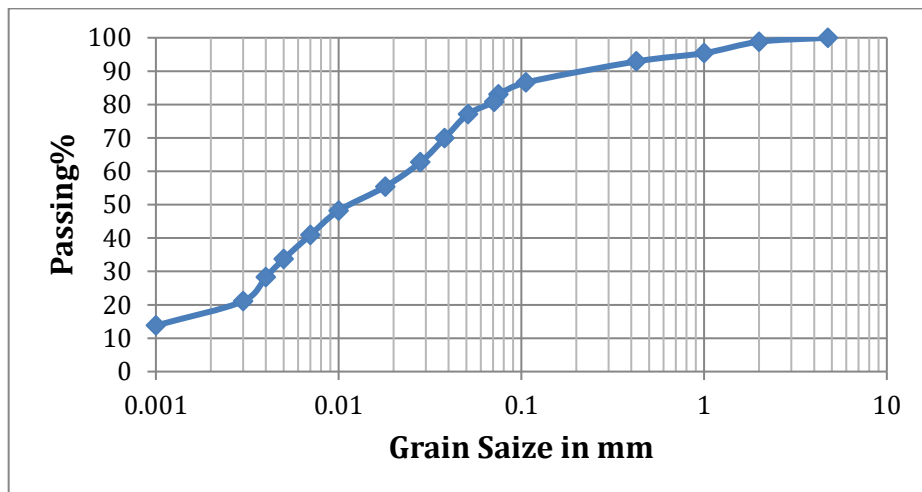
الشكل 4. التحليل الحجمي الحبيبي لترسبات المحطة الثانية



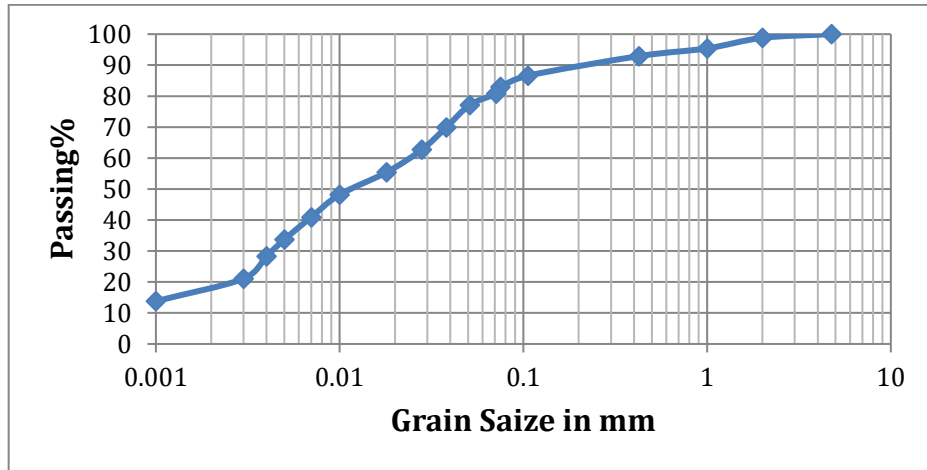
الشكل 5. التحليل الحجمي الحبيبي لترسبات المحطة الثالثة



الشكل 6. التحليل الحجمي الحبيبي لترسبات المحطة الرابعة



الشكل 7. التحليل الحجمي الحبيبي لترسبات المحطة الخامسة



الشكل 8. التحليل الحجمي الحبيبي لترسيبات المحطة السادسة

من خلال نتائج التحليل الحجمي يستدل على ان الرواسب عبارة عن مواد تم نقلها نتيجة التصريف اليومي لمجرى القناة وتتأثر بطاقة وانحدار وسرعة جريان القناة التي تزداد اثناء موسم الشتاء حيث هناك تساقط نسبة كبيرة من الأمطار وذوبان الثلوج وهذا يزيد من تصاريف القناة والسبب في ذلك ان المكونات يتم نقلها من الجهات العليا للقناة باعتباره المصدر المجز الاول وتنقل هذه المواد على شكل مواد عالقة (Abed and Azzubaidi, 2020; Jassam, 2021).

2. حدود أتربيرغ Atterberg Limits:

تمثل حدود أتربيرغ النسب المئوية لرتوبة التربة عند حدوث تغييرات في حالتها الفيزيائية. تُظهر جميع أنواع التربة سلوكًا مختلفًا وتأثيرًا واضحًا مع تغير نسبة الرطوبة فيها وخاصةً التربة الطينية (Braja and Das, 2018). في هذه الدراسة تم اختبار حدود أتربيرغ، بما في ذلك حد السيولة وحد اللدونة حسب (ASTM D14-4318, 2014).

حد السيولة (L.L Liquid Limit)

حد السيولة هو المحتوى المائي الذي تصل عنده التربة إلى حالة سائلة وتفقد قدرتها على الاحتفاظ بشكلها (Tsytoovich, 1986). وفقًا لـ (Capper and Cassie, 1974). يُعتبر حد السيولة أدنى نسبة مئوية للمحتوى المائي حيث تبدأ التربة في الانهيار أو السيلان تحت تأثير وزنها. ويُعد أدنى محتوى مائي يجعل التربة في حالة سائلة (Braja and Das, 2018). تراوحت قيم حد السيولة للنماذج المدروسة بين 30% و48% كما هو موضح في الجدول (3).

حد اللدونة (P.L Plastic Limit)

حد اللدونة هو أدنى نسبة مئوية للمحتوى المائي تفصل بين الحالة اللدنة والحالة شبه الصلبة للتربة (Braja and Das, 2018). كما يُعرف بأنه أعلى محتوى مائي تبدأ فيه التربة بالتفتت أو الانهيار عند تشكيل خيط بقطر 3 ملم. بالنسبة للنماذج المدروسة. تراوحت قيم حد اللدونة بين 20% و37%، كما هو مبين في الجدول (3).

دليل اللدونة (P.I Plasticity Index)

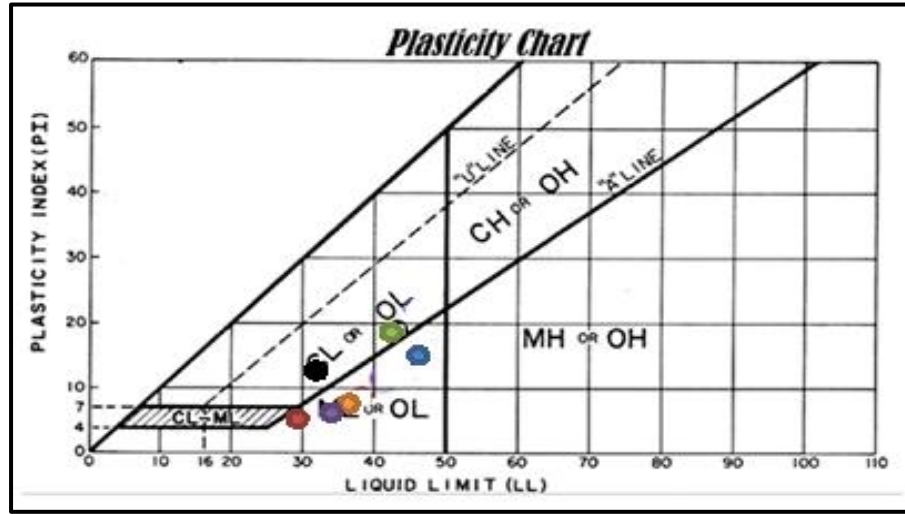
يعبر دليل اللدونة عن النطاق الرطوبي الذي تظل فيه التربة في الحالة اللدنة، ويُحسب كفرق بين حد السيولة وحد اللدونة ($P.I = L.L - P.L$). يتأثر هذا المؤشر بالتركيب المعدني للأطيان، وحجم الحبيبات، ونسبة المعادن غير الطينية والمادة العضوية (Lambe, 1951). تراوحت قيم دليل اللدونة للنماذج قيد الدراسة بين 6% و17% كما هو موضح في الجدول (3). تم تصنيف النماذج باستخدام دليل اللدونة وفق تصنيف (Budnikov, 1964) والجدول (4)، حيث وُجد أن النماذج تقع ضمن مجالات اللدونة المختلفة: العالية، المتوسطة، والقليلة. كما تم تصنيفها وفق النظام الموحد للتربة (ASTM D14-2487, 2014) كما يظهر في الشكل (9).

الجدول 3: يوضح نتائج فحوصات حدود أتربريك لمحطات منطقة الدراسة

Station No.	حدود أتربريك (Atterberg)		
	Liquid limit (L.L) (%)	Sample No.	Plasticity index (P.I) (%)
1	46	32	14
2	38	30	8
3	34	27	7
4	30	24	6
5	32	20	12
6	42	25	17

الجدول 4: توزيع عينات الدراسة حسب معامل لدونتها إعتياداً على تصنيف (Budnikov, 1964)

Classification	Plasticity Index	Station No.
Super plastic	25 <	
Plastic	15 – 25	6
Moderately plastic	7 – 15	1, 2, 3, 5
Poorly plastic	7 >	4
Non plastic	Not forming a plastic mass	



الشكل 9. تصنيف محطات الدراسة حسب التصنيف الموحد (ASTM- D,2487,200)4

● محطة 1 ● محطة 2 ● محطة 3 ● محطة 4 ● محطة 5 ● محطة 6

3. الوزن النوعي Specific gravity

يُعرّف على أنه نسبة وزن معين من حبيبات التربة عند درجة حرارة معينة إلى وزن نفس الحجم من الماء المقطر عند نفس درجة الحرارة (Sivakugan,2021). تم إجراء اختبار الوزن النوعي للنماذج للدراسة وفق (ASTM D854-14,) (2014). بعد إجراء الفحص، تم حساب قيم الوزن النوعي باستخدام المعادلات التالية:

$$GsT_1 = W_3 / (W_1 + W_3) - W_2 \dots\dots(2-5)$$

$$GsT_{20} = GsT_1 \cdot A \dots\dots\dots(3-5)$$

حيث ان:

(W₁) = وزن القنينة الحجمية مملوءة بالماء المقطر ، (W₂) = وزن القنينة الحجمية مع خليط التربة.

(W₃) وزن التربة المجففة بدرجة حرارة (105) مئوية ، (A) عامل تصحيح حراري.

(T₁) درجة الحرارة الابتدائية ، (T₂₀) درجة الحرارة (20°).

يُعتبر الوزن النوعي عنصراً أساسياً في حسابات التحليل الحجمي لحبيبات التربة. يدخل الوزن النوعي في حسابات التحليل الحجمي لحبيبات التربة حسب التصنيف الموحد لتحديد نوعية التربة وذلك لان كل نوع من انواع التربة له وزن نوعي حيث ان

الوزن النوعي للرمل يتراوح ما بين (2.63 و 2.67) والوزن النوعي للغرين يتراوح ما بين (2.68 و 2.71) اما الوزن النوعي للطين والطين الغريني فيتراوح بين (2.72 فأكثر) وعند استخراج الحجم الحبيبي للتربة حسب التصنيف الموحد يتم استخدام الوزن النوعي لتحديد نوع التربة. اضافة الى ذلك يعد إيجاد الوزن النوعي للتربة مهم جدا في التطبيقات الهندسية اذ يمكن عن طريقه تمييز انواع التربة المختلفة بصورة تقريبية كما يستفاد منه في بعض الفحوصات الهندسية مثل الأنضمام والتحليل بواسطة المكثاف .

الجدول 5: نتائج الوزن النوعي لمحطات منطقة الدراسة

Station No.	Specific gravity
1	2.7
2	2.69
3	2.67
4	2.66
5	2.71
6	2.74

ب. الخواص الكيميائية (Chemical Properties)

تتعرض المنشآت الهندسية المقامة على تربة حاوية على معادن قابلة للذوبان الى العديد من المخاطر, إذ تعتبر المعادن القابلة للذوبان ذات تاثير سلبي في مواد البناء التي تدخل في الإنشاء والتي تؤدي إلى تدهور مؤثر في خصائصها و صفاتها وان الجبس يمكنه ان يدمر بعض مواد البناء عند ما يذوب ويكون على تماس مباشر معها. تزداد قابلية الجبس في تأثيراته للتاكل بزيادة درجة الحرارة بشكل تماسي ومباشر مع عناصر البناء (Al-Naimi,1999). مما يعزز مستويات التلوث في الأنهار وبالتالي ينعكس على ترسبات الانهار (Faraj et al.,2007). كما أشار (AL-Kindi et al., 2022). تم تحديد الخواص الكيميائية للنماذج وتحليلها كنسب مئوية، وذلك بالاعتماد على الطرق الموصوفة في المواصفة القياسية (S.1377:1990.B.S). يعرض الجدول (6) النتائج المستخلصة للخواص الكيميائية لنماذج منطقة الدراسة.

جدول رقم 6: نتائج الفحوصات الكيميائية لنماذج منطقة الدراسة.

Station No.	pH	Total Dissolved Salts	SO ₃ %	Organic Materials %	Gypsum CaSO ₄ .2H ₂ O %
1	8.3	7.13	0.9	0.12	5.33
2	8.02	10.8	0.13	0.19	7.19
3	7.98	15.18	0.47	0.65	13.23
4	8.1	12.15	0.26	0.42	9.43
5	7.96	14.1	0.35	0.53	11.6
6	7.94	11.9	0.23	0.31	8.92

تراوحت قيم الاس الهيدروجيني في نماذج منطقة الدراسة ما بين (7.94 و 8.3)، يعتبر الاس الهيدروجيني من العوامل المهمة التي تؤثر في حركة العناصر الثقيلة بصورة مباشرة او غير مباشرة في عمليات الاذابة والترسيب وتفاعلات الاكسدة والاختزال وتكوين المعقدات (Al-Saffawi.,2018). تدل هذه النسب للاس الهيدروجيني على ان التربة ضعيفة الى متوسطة القلوية.

يؤدي وجود المواد العضوية في التربة الى نتائج عكسية للاعمال الهندسية، إذ تزيد من قابلية التربة على الأنضغاط وتؤدي الى الهبوط السريع وانخفاض السعة التحميلية. وحسب النتائج التي تم الحصول عليها فان نسبة المواد العضوية في منطقة الدراسة تعتبر غير مؤثرة من الناحية الهندسية.

كما يعتبر المحتوى الجبسي خطر ويؤثر سلبا عندما تكون نسبته عالية, اذ يؤثر على الاسس التي تقام عليها المنشآت بحيث يقلل من المقاومة القصية للتربة ويعمل على زيادة امكانية الانتفاخ للترب الجبسية كما يعمل على الزيادة في المحتوى الرطوبي والتقليل من الكثافة, كما تعد نسبة الجبس خطرة جدا على الاسس اذا تجاوزت (5.0 % في التربة) (Qader, 2023) لذا تعتبر هذه النسب العالية للجبس في منطقة الدراسة خطرة جدا وتؤثر بصورة مباشرة على الاسس الهندسية التي من الممكن ان تقام عليها المنشآت لان الترب الجبسية ستؤدي الى مشاكل هندسية تظهر على شكل تشققات في الابنية او ميلان الابنية

وفي بعض الاحيان قد يحدث انهيار بعض هذه المنشآت او يحدث هبوط غير متجانس بصورة سريعة نسبيا اذا ما تعرضت للمياه.

تدخل الاملاح القابلة للذوبان في عملية الاماهة عندما تكون نسبتها عالية حيث يكون تأثيرها سريعا عندما تكون بشكل حر في الماء.

استناداً إلى (Baver,1972) فان نسبة الأملاح القابلة للذوبان تعد عالية إذا بلغت أكثر من (0.5 %), لذلك فان وجود هذه النسب العالية من الاملاح في منطقة الدراسة تعتبر خطرة جدا على المنشآت الهندسية التي من الممكن اقامتها عليها.

ت. الخواص الهندسية Engineering Properties

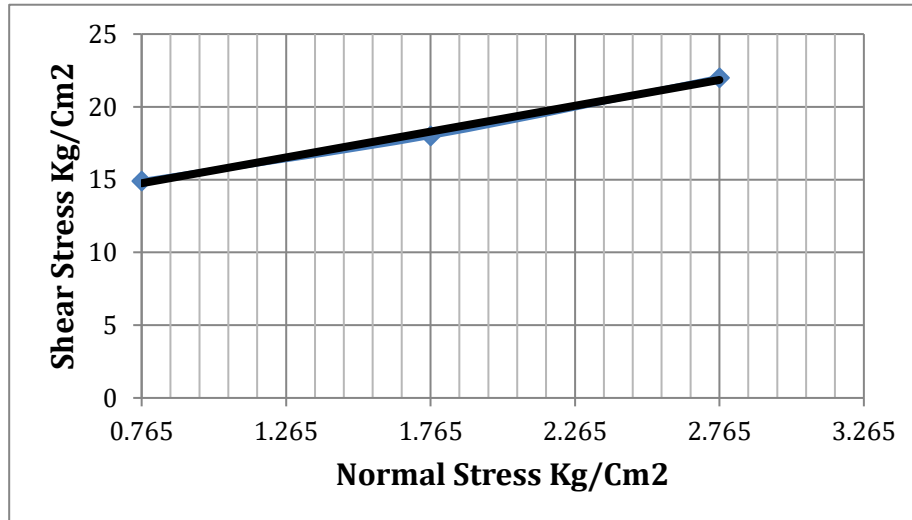
فحص القص المباشر Direct Shear test

هي عملية انزلاق لطبقة أو جزءا من التربة على طبقة أخرى تكون ضمنيا داخل جسم التربة، وفي اغلب الاحيان تكون هذه القوى افقية بحيث يتم ذلك نتيجة لتسليط القوى المتزايدة في اتجاه الانزلاق (Braja and Das,2018). أما المقاومة القصية فتعرف بأنها مقاومة التربة التي تبديها ضد الانزلاق الذي قد يحدث بداخلها نتيجة لتسليط القوة الخارجية عليها، وأن سرعة الإزاحة التي من الممكن ان تتعرض لها النماذج أثناء الفحوصات تعد من العوامل المهمة في النتائج التي يتم الحصول عليها خاصة بالنسبة للترب التي تكون نفاذيتها قليلة، ولمنع تاثيرات ضغط ماء الفجوات في هذه الترب يستوجب استعمال سرعة قليلة جداً (et Hassan.al., 2022) اجري هذا الفحص وفق (ASTM D 3080-11, 2011).

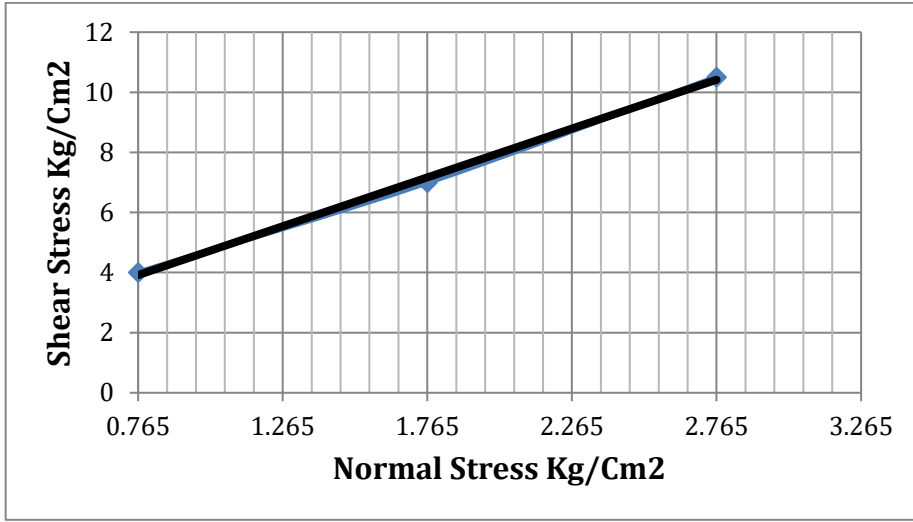
حسبت مقاومة التماسك الجدول (6)، كلما ازدادت نسبة المواد الناعمة (الغرين والطين) تزداد بدرجة كبيرة نسبة التماسك في التربة ويقل كلما ازداد محتواها المائي حيث تقل نسبة الجسيمات في وحدة الحجم وبالتالي تتناقص قوة تماسكها. كما ان ذلك يعتمد على التركيب المعدني للجزيئات في التربة (Al-Sultani et al.,2023). والاشكال (10) (11) (12) (13) (14) (15) تبين العلاقة بين الاجهاد العمودي واجهاد القص للنماذج التي تم اجراء الفحص لها.

جدول رقم 6: نتائج فحص القص المباشر لنماذج منطقة الدراسة.

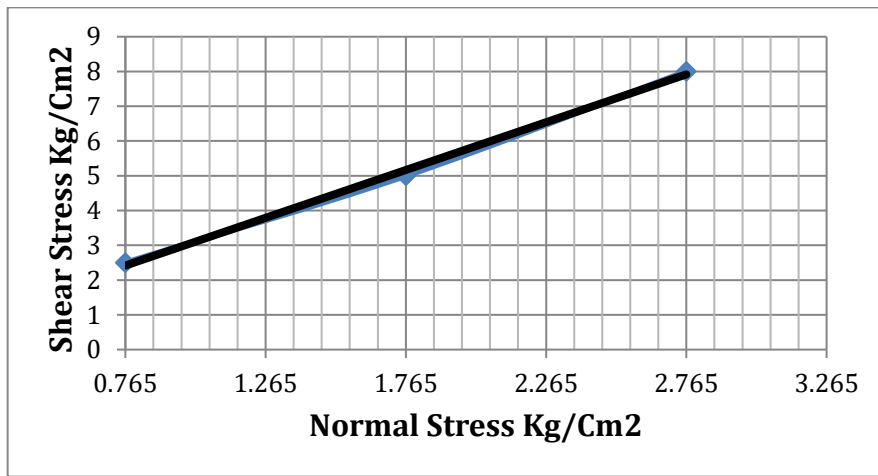
Station No.	زاوية الاحتكاك الداخلي (Φ)	التماسك (Kg/Cm) 2C
1	10	12
2	17	4
3	15	2.2
4	22	2.5
5	11	8.5
6	8	14.9



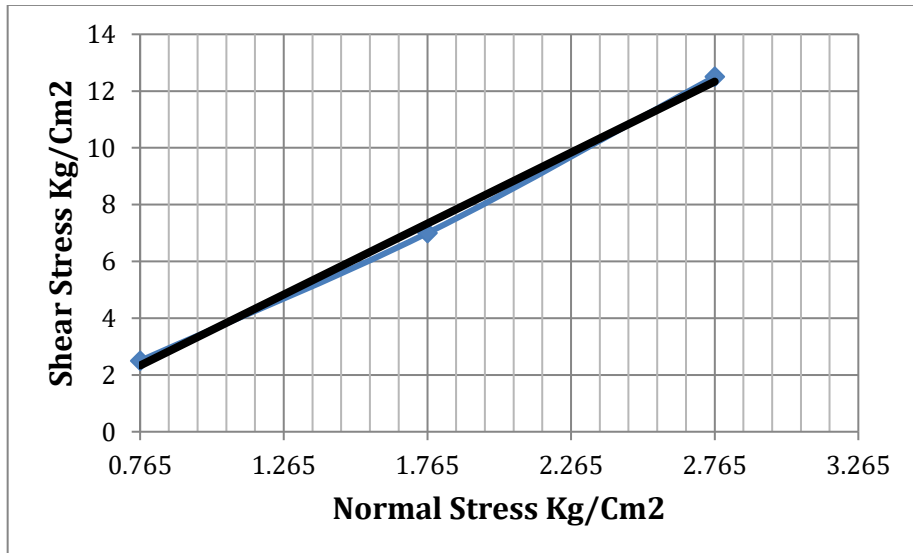
الشكل 10. فحص القص المباشر للمحطة الاولى



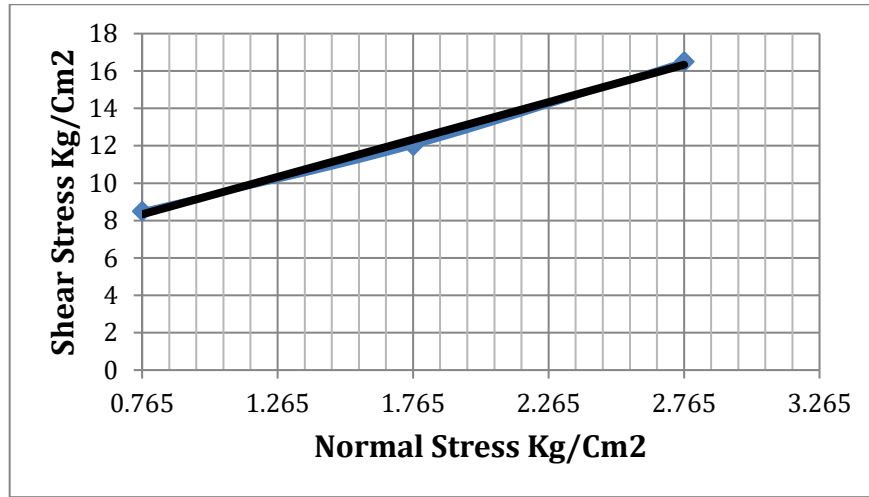
الشكل 11. فحص القص المباشر للمحطة الثانية



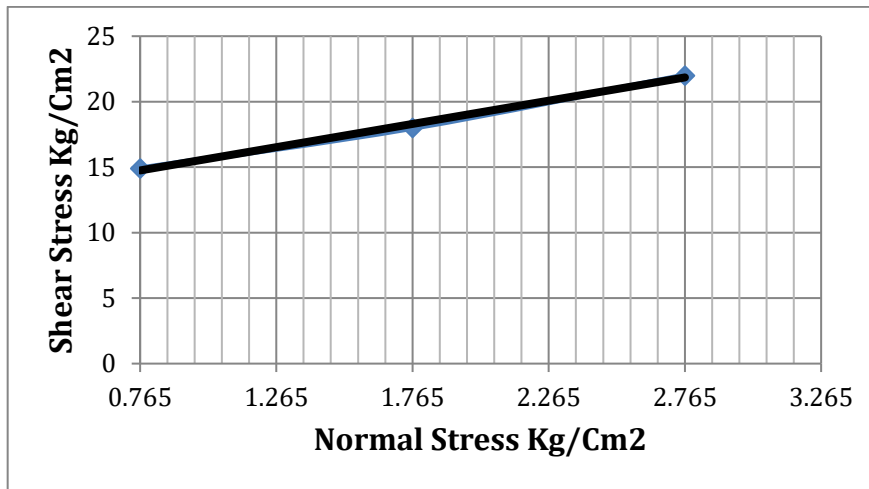
الشكل 12. فحص القص المباشر للمحطة الثالثة



الشكل 13. فحص القص المباشر للمحطة الرابعة



الشكل 14. فحص القص المباشر للمحطة الخامسة



الشكل 15. فحص القص المباشر للمحطة السادسة

الاستنتاجات:

بينت نتائج التحليل الحجمي الحبيبي سيادة نسبة التربة الناعمة في جميع نماذج منطقة الدراسة، كما اظهرت هذه الدراسة بان التربة تحتوي على طور واسع من احجام الرسوبيات واختلاف في نسبة حجوم الحبيبات المكونة للتربة، وعليه فانها تعتبر من التربة غير المتجانسة في خواصها. يؤدي هذا الاختلاف في طبيعة التربة الى حدوث هبوط متباين والى انحراف المنشآت التي من الممكن ان تقام عليها. كما صنفت النماذج المدروسة على إنها طينية واطنة اللدونة وغرينية واطنة اللدونة، وتبين من تصنيف قيم حد السيولة زيادة نسبة المواد الطينية، وزيادة هذه الخواص تخلق مشاكل هندسية، فيما وجد ان قيم الوزن النوعي للترب الناعمة والرمل تقع ضمن حدود الرمل والغرين والطين وهذا يعتمد على نوعية المواد المكونة للتربة. كما تبين من خلال الدراسة تاثير زاوية الاحتكاك الداخلي بشكل كبير بقيم معامل اللدونة ونسبة المواد الخشنة، فيما اظهرت نتائج القص المباشر زيادة قيم التماسك بازياد نسبة المواد الناعمة (الغرين والطين) وانخفاضها بازياد نسب المحتوى المائي ونسبة المواد الخشنة.

شكر وعرافان

يعرب المؤلفون عن امتنانهم الكبير الى السيد رئيس تحرير المجلة العراقية الوطنية لعلوم الارض الأستاذ الدكتور ريان غازي ذنون، ومدير التحرير الأستاذ المساعد الدكتور عزالدين صالح الجوادي، وجميع المحررين الفنيين على جهودهم الكبيرة وتعليقاتهم القيمة.

المصادر

- Abed, M.S. and Azzubaidi, R.Z., 2020. Sediment Transport within the Reservoir of Mandali Dam. *Journal of Engineering*, 26(2), 29-41. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.02.03>
- AL-Kindi, G.Y., Al-Haidri, H.A., and Hussain, T.A., 2022. Studying the effect of the state of floating cages on soil and sediment geochemistry in Al Hilla city. *Innova. Infrastruct. Solute.* 7, 202 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00803-1>
- Al-Naimi, S.A., 1999. The effect of nitric acid on some geotechnical properties of gypsum soils in the Latifiya region (central Iraq)", MSc Thesis, College of Science - University of Baghdad, 84 pages (In Arabic).
- Al-Sultani, N.K., Al-Amar, H.A., and Al-Zubaydi, J.H., 2023. Geotechnical Properties of Soil Slopes of the Great Musaiyab Project, Babylon, Middle of Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 273-280. <https://doi.org/10.46717/igj.56.1B.20ms-2023-2-28>
- ASTM D3080-11, 2011. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions1.
- ASTM D422-63 (Reapproved 2007), 2014. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- ASTM D4318-14, 2014. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils1.
- ASTM D854-14, 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.
- ASTM-D, 2487 - 00, 2004: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- B.S.1377-3, 1990. Methods of Testing Soil for Civil Engineering Purposes British Standards Institution London
- Baver, L.D., 1972. *Soil Physics*, 4th. Ed., John Wiley and Sons Inc., New York, 498 P.
- Qadir, Manal Samir, 2023. Geotechnical and environmental geochemical characteristics of the sediments of the Samarra Dam, Al-Wind and Mandali Dam reservoirs and their suitability for some industrial purposes, unpublished PhD Thesis, College of Science, Tikrit University (In Arabic)
- Bowles, J.E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soil*, 2nd ed, McGraw-Hill Japan Ltd., 578 P.
- Braja, M., Das, K.S., 2018. *principles of geotechnical engineering*. Cengage Learning. Boston, 845 P.
- Budnikov, P.P., 1964. *The Technology of Ceramics and Refractories*, M.I.T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 647 P.
- Capper, P.L., and Cassie, 1974. *The Mechanics of Engineering Soils*, Wiley and Sons, (5th Ed.). E&f.n. Spon. Ltd., London, UK. 309 P.
- Das, M. Braja, 1982. *Soil Mechanics Laboratory Manual*, The University of Texas at El Paso.
- Khudher, M.E., Abdullah S., and Sabah I.O., 2025. Assessment of the Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Vicinity of Kirkuk Irrigation Project. *Iraqi National Journal of Earth Science (INJES)*, 25(3), pp. 44–57. <https://doi.org/10.33899/earth.2024.148833.1270>
- Lambe, T.W., 1951. *Soil Testing for Engineers*, John Wiley and Sons, Inc, New York, 165 P.

- Roy, S. and Bhalla, S.K., 2017. Role of geotechnical properties of soil on civil engineering structures. Resources and Environment, 7(4), pp. 103-109. [DOI: 10.5923/j.re.20170704.03](https://doi.org/10.5923/j.re.20170704.03)
- Scott, C.R., 1974: An Introduction to Soil Mechanics and Foundations, 2nd Ed., Applied Science, Ripple Road, Essex, England, 361 P. [DOI: 10.30572/2018/kje/090308](https://doi.org/10.30572/2018/kje/090308)
- Sissakian, V.K. and Fouad, S.F., 2015. Geological map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2012. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11(1), pp. 9-16.
- Sivakugan, N., 2021. Soil Mechanics and Foundation Engineering: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.
- Tsytovich, N., 1986. Soil Mechanics. (2nd ed.) Mir Publishers, Moscow, 302 P.



استخلاص قيم (CN) لحوض وادي باغال، شمال غربي العراق

وائل حازم ذنون الجواري ^{1*} ID ، عيسى صالح عبد المتيوتي ² ID ، صهيب حسن خضر ³ ID

^{2,1} مديرية التربية والتعليم في نينوى، الموصل، محافظة نينوى، العراق.

³ كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

الملخص

تناول البحث التحليل الهيدرولوجي لحوض وادي باغال، في بادوش، محافظة نينوى، الذي يعد من الاحواض الموسمية الجريان، وشملت الدراسة تحليل الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة وكذلك اجراء تحليل الخصائص الهيدرولوجية باستخدام نموذج صيانة التربة الامريكية (Soil Conservation Service Curve Number, SCS-CN) للحصول على قيم منحني النفاذية (CN) من خلال دمج طبقات استعمال الارض والغطاء الارضي والحالة المسبقة لرطوبة التربة ومجموعة التربة الهيدرولوجية، والحصول على قيم معامل الامكانية القسوى للاحتفاظ بالماء بعد الجريان المائي السطحي (S)، و قيم معامل الاستخلاص الاولي (Ia). ويقع حوض باغال في القسم الشمالي الغربي من العراق في محافظة نينوى بين دائرتي عرض (36°19'00") - (36°27'50") شمالاً وبين خطي طول (42°38'15") - (42°58'50") شرقاً، وبذلك فهو يشغل مساحة تقدر بنحو (320) كم²، وبينت النتائج ان قيمة (CN) تراوحت ما بين (62 - 79) وجميع هذه القيم هي اعلى من قيمة الوسيط البالغة (50) مما يدل على امكانية حصول جريان مائي في الحوض، اما قيم (S) فقد تراوحت ما بين (39 - 59) وجميع هذه القيم هي دون قيمة الوسيط البالغة (254) مما يشير إلى ان الحوض يكون طبيعياً في الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان المائي، اما قيم (Ia) فقد تراوحت ما بين (7.3 - 14.6) وجميع هذه القيم هي دون قيمة الوسيط البالغة (50.8) ملم، مما يدل على ان الحوض يميل نحو امكانية حصول جريان مائي عالٍ، وهي مؤشرات مهمة يمكن الاستفادة منها في تنمية وتطوير حوض الدراسة.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 14- ابريل - 2025

تاريخ المراجعة: 15- مايو - 2025

تاريخ القبول: 20- يونيو - 2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

الاحواض المائية،

استخدامات الارض،

الجريان المائي،

رطوبة التربة،

المراسلة:

الاسم: وائل حازم ذنون الجواري

Email :

wael.aljwary.1971@gmail.com

Extraction of (CN) values for Wadi Baghal Basin, Northwestern Iraq

Wael Hazem Dhnoon AL-juwari^{1*} , Issa Saleh Abdel AL-Moutiotti² , Sohaib Hassan Khuder³ 

^{1,2} Nineveh Education Directorate, Mosul, Nineveh Governorate, Iraq.

³ College of Education for Humanities, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 14- Apr -2025

Revised: 15 -May -2025

Accepted: 20- June -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

Aquariums,
Landuse,
Waterflow,
Soil Moisture,

Correspondence:

Name: Wael Hazem Dhnoon AL-juwari

Email :

wael.aljwary.1971@gmail.com

ABSTRACT

The research deals with the hydrological analysis of the Wadi Bagal basin in Badoosh, Nineveh Governorate. It is considered one of the seasonal flow basins. The study includes an analysis of the natural characteristics and also analyzes the hydrological characteristics using the American Soil Conservation Model (SCS – CN) (Soil Conservation Services) to obtain permeability values (CN) (Curve Number) by integrating land use, vegetation, soil status, and hydrological soil group layers. Then, getting the maximum potential coefficient values for retaining water after the surface runoff (S). In addition to obtaining the values of the initial extraction coefficient (Ia). The Baghal Basin is located in the northwestern part of Iraq in Nineveh Governorate between latitudes (36°27'50" -36°19'00") north and longitudes (42°38'15" -42°58'50") east with an area of (320) km². The results show that the values of (CN) range between (62- 97), which is higher than the median value of (50), indicating the possibility of water migration. As for the values of (S), they range between (39- 59), all of which are below the median value of (254), indicating that the basin is normal in retaining water after the start of the water flow. As for the values of (Ia), they range between (7.3 – 14.6) below the median value of (50.8), indicating that the basin tends to have the possibility of water flow.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60899](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60899), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

اصبحت الدراسات الهيدرولوجية من الدراسات المهمة من اجل الارتقاء بالمشاريع التنموية بعد تزايد مشكلة الجفاف والتغيرات المناخية والحفاظ على الموارد الطبيعية باعتبارها عصب الحياة، اذ يعد الجريان السطحي من اهم الموارد المائية التي تغذي البحيرات والجداول والانهار في المناطق الجافة وشبه الجافة (Saleh, 2024)، كما تعد الاحواض المائية النهرية الموسمية احدى الموارد الطبيعية التي يمكن تميمتها للاستفادة البشرية في ظل الظروف السائدة (Al-Samarrai and Al-Samarrai, 2024). ويهدف البحث إلى دراسة حوض وادي باغال وتحليل خصائصه الطبيعية المتمثلة بـ (التكوين الجيولوجي والمناخ والتضاريس والتربة والانحدار)، فضلا عن استخدام طريقة صيانة التربة الامريكية المعروفة بـ (SCS-CN) لاستخراج قيم منحني الرطوبة (CN) من خلال عملية دمج لنوعية الترب الهيدرولوجية واستعمالات الارض والغطاء الارضي والحالة المسبقة لرطوبة التربة في بيئة (GIS) وحساب معدل الامكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي (S) ومعدل الاستخلاص الاولي (Ia). اما مشكلة الدراسة فتظهر من خلال التساؤلات الآتية:

هل ان الخصائص الطبيعية للحوض تساهم في تحديد خصائص الحوض الهيدرولوجية؟ وهل يوجد تاثير لاستعمالات الارض المختلفة على قيم (CN) في منطقة الدراسة؟ وهل يمكن الاعتماد على التقنيات الجغرافية في احتساب قيم (CN) في منطقة الدراسة؟

يوجد العديد من الدراسات السابقة التي استخدمت طريقة (SCS-CN) في استخراج حجم الجريان المائي، منها دراسة (Al-Akkam and Alwan, 2015) اذ درس الباحثان تقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي (دويريج) اعتمادا على تقنية التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية باستخدام فرضية صيانة التربة الامريكية (SCS-CN)، كما

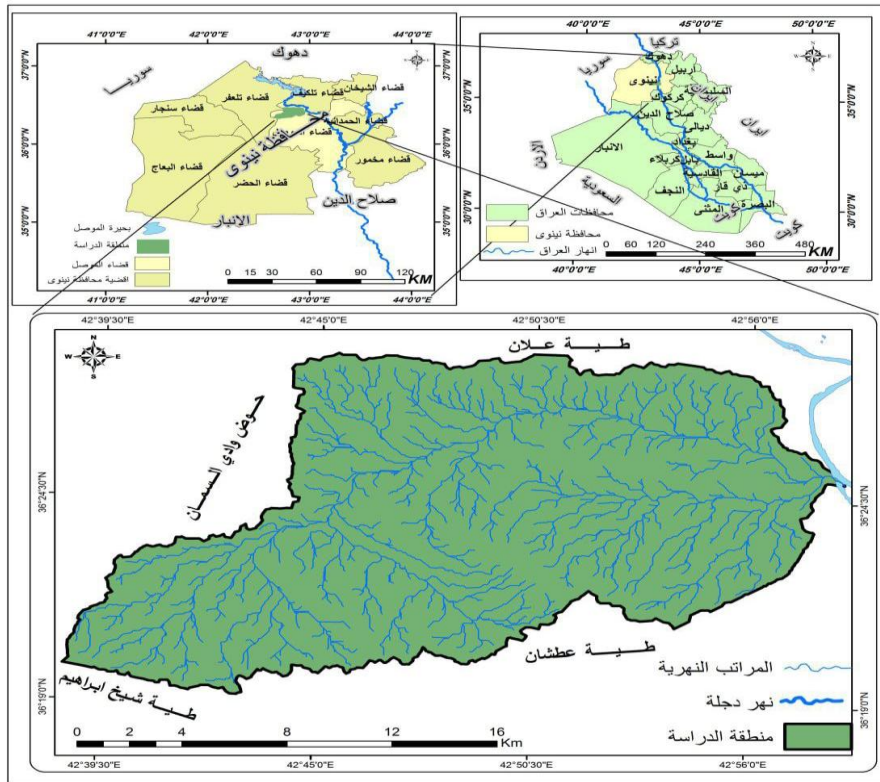
درس (Al-Sabbagh and Omari, 2019) تقدير الجريان المائي السطحي لحوض وادي (شعيب) بالتكامل ما بين نموذج (SCS-CN) وتقنيتي (GIS and RS)، وكان البحث يهدف إلى تقدير حجم الجريان المائي لحوض وادي شعيب الواقع ضمن الاقليم الجاف وسط الاردن؛ ودراسة (Al-Zaidy and Abdan, 2021)، اذ درس الباحثان عمق وحجم الجريان السطحي لحوض وادي (الكصير) باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية باستعمال معادلة (SCS-CN)، كما حدد (Al-Zarfi and Al-Taie, 2021) تقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي (الغضاري) بطريقة (SCS-CN) وقد تم تقسيم الحوض إلى اربعة احواض ثانوية اعتمادا على المراتب النهرية؛ ودراسة (Elias and Khader, 2022)، اذ درس الباحثان استخلاص الخصائص الهيدرولوجية لحوض (قويس) باستخدام انموذج (SCS-CN) وتم استخراج قيم المنحنى الرقمي (CN) والاستخلاص الاولي (Ia) وعمق الجريان (Q) وحجم الجريان السطحي (QV)؛ ودرس (Al-Hussainawi and Al-Khafaji, 2022) تقدير حجم الجريان السطحي باستخدام طريقة (SCS-CN) لحوض وادي (ابو حضير)، اذ تم تقدير حجم الجريان اعتمادا على عاصفة مطرية يومية لمنطقة الدراسة؛ كما درس (Ibrahim and Hamid, 2022) تحليل الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي (السكران) باستخدام طريقة (SCS-CN) لغرض تقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي السكران واختيار المواقع الملائمة لاقامة السدود لخزن المياه في المنطقة وصولا لتحقيق الاستقرار وممارسة النشاطات البشرية المختلفة؛ ودرس (Daham and Abdel Rahman, 2023) تقدير حجم الجريان السطحي لاحواض الوديان غرب بحيرة (ساوه)، اذ تم استخدام طريقة (SCS-CN) لقياس حجم الجريان المائي في منطقة الدراسة.

البيانات والبرامج المستخدمة

- 1- نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة (30 م) ونظم المعلومات الجغرافية والتي تمثلت ببرنامج (Arc GIS) (8.1).
- 2- البيانات الفضائية للقمر الصناعي (Land sat 8. PATH 170 ROW 35) متعدد الأطياف والملقطة بتاريخ 4/4/2022 والصادرة من وكالة ناسا الأمريكية.
- 3- خارطة العراق الادارية وخارطة محافظة نينوى، الهيئة العامة للمساحة، بغداد، 1990.
- 4- خارطة التربة الرقمية للعالم، منظمة الاغذية والزراعة(فاو)، اليونسكو، النسخة 3.6، يناير، 2006.
- 5- الخارطة الجيولوجية للعراق بمقياس (1/250000) الصادرة عن المؤسسة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين المعدني، ط1، 1995.
- 6- معطيات العناصر المناخية (الامطار ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية والرياح والاشعاع الفعلي والاشعاع النظري) لمحطة الموصل والصادرة عن وزارة النقل، هيئة الانواء الجوية، قسم المناخ (بيانات غير منشورة) للمدة من (1981-2023).

الموقع الجغرافي

يقع حوض وادي باغال في ناحية بادوش ضمن محافظة نينوى في القسم الشمالي الغربي منها كما هو موضح في الشكل (1)، تحده من جهة الشمال طية علان ومن الجنوب الشرقي طية عطشان ومن الجنوب الغربي طية شيخ ابراهيم التي تمثل منابع الحوض الاصلية؛ اما فلكيا، فيقع حوض وادي باغال بين دائرتي عرض (36°19'00") - (36°27'50") شمالاً وبين خطي طول (42°38'15") - (42°58'50") شرقاً وبمساحة تقدر بنحو (320) كم².



الشكل 1. موقع منطقة الدراسة.

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

التكوينات الجيولوجية

تحتوي منطقة الدراسة على اربعة مجموعات من التكوينات الجيولوجية كما هو موضح في الشكل (2) والجدول (1) وفيما يأتي وصف مبسط لها:
-تكوين انجاة:

يعود الامتداد العمري لهذا التكوين إلى عصر المايوسين الاعلى، ويتكون من طبقات من الرمل والكلس (Buday, 1980) مما يؤدي إلى حصول ارتشاح المياه إلى الطبقات تحت السطحية. وكما هو موضح في الشكل (2)، فان هذا التكوين يوجد في الاجزاء الجنوبية الغربية من منطقة الدراسة، ويشغل مساحة تقدر بنحو (2.42) كم² مانسبته (0.75 %) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

-تكوين فتحة:

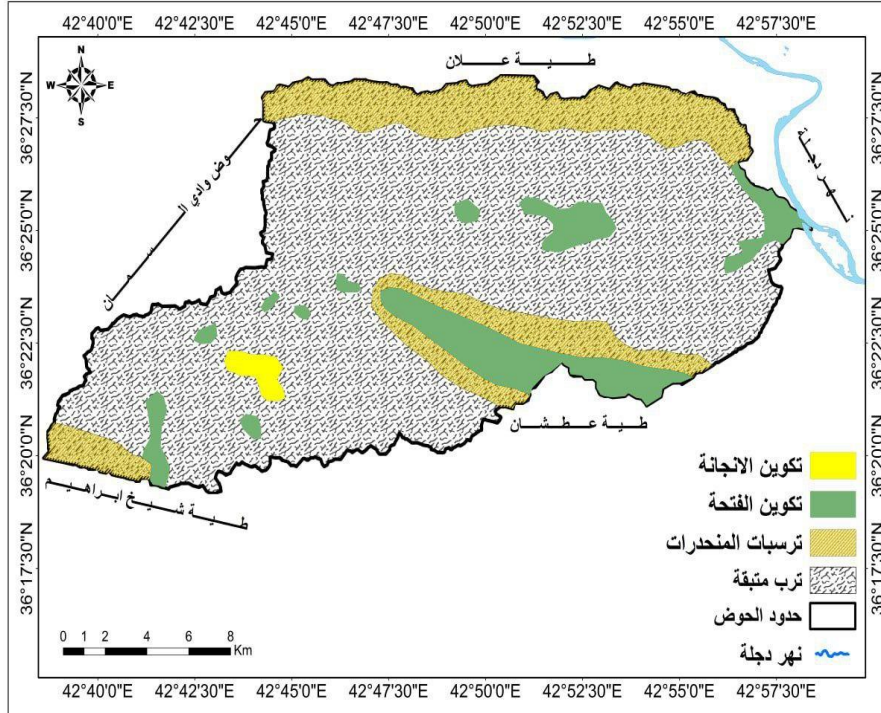
يعود هذا التكوين إلى عصر المايوسين الاوسط، ويتألف من تعاقب دوري لصخور الجبس والمارل والاطيان ضمن دورات ترسيبية، وتكون الطبقات الجبسية الاكثر انتشارا (Buday, 1980) ويشكل مساحة بلغت (21.14) كم² بما نسبته (6.60 %) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، ويوجد في الاقسام الوسطى والجنوبية الغربية منها.

-ترسبات المنحدرات:

تتكون ترسبات المنحدرات من مواد مختلفة وهي الرمل والطين والغرين والحصى وباحجام مختلفة، وتوجد هذه الترسبات في الاقسام الشمالية والجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية من منطقة الدراسة وتشغل مساحة تقدر بنحو (25,21) كم² مانسبته (7.87 %) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

الترسبات المتبقية:

تتكون الترسبات المتبقية من الصخور التي ارتكزت عليها (الصخور الام)، وتتكون من الحطام الصخري وغالبا ماتتألف من التراب الرملية والغرينية، وتعد من اوسع التكوينات انتشارا في منطقة الدراسة وهي تشكل مساحة تقدر بنحو (271.23) كم² بما نسبته (83.99%) من المساحة الاجمالية لمنطقة الدراسة، وتوجد في الاقسام الوسطى والجنوبية منها.



الشكل 2. التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة.

الجدول 1. نسب التكوينات الجيولوجية لحوض وادي باغال.

ت	التكوين	المساحة كم ²	النسبة المئوية %
1	تكوين انجانة	2.42	0.75
2	تكوين فتحة	21.14	6.60
3	ترسبات المنحدرات	25.21	7.87
4	تربة متبقية	271.23	84.75
	المجموع	320	%100

المناخ:

تعتمد الخصائص المناخية لأي منطقة على عوامل مختلفة من ابرزها الموقع الجغرافي والتضاريس والمساحات المائية والغطاء النباتي (Al-Mtiwoti, 2024)، لذلك تعد العناصر المناخية السائدة في اي منطقة انعكاسا للضوابط المتحكم فيها (Al-Akidi, 2023). وقد جرى تحليل للعناصر المناخية (الامطار وسرعة الرياح ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية والتبخر/ النتج الممكن) واستخراج قيمة الموازنة المائية المناخية لمحطة الموصل وللمدة من (1981-2023) ولفترة (43) سنة وذلك وصولا لتحقيق تمثيل للواقع المناخي في منطقة الدراسة، وقد تم ادراج نتائج العناصر المناخية في الجدول (2).

الجدول 2: العناصر المناخية لمحطة الموصل للمدة (1981-2023).

المتغيرات الأشهر	درجة الحرارة (°م)	الامطار (ملم)	الرطوبة النسبية (%)	سرعة الرياح (م/ثا)	السطوح الفعلي (ساعة/يوم) (n)	السطوح النظري (ساعة/يوم) (N)	التبخّر النتح الممكن (ملم)	معامل الموقع (c)	ارتفاع المحطة (م)
ك2	6.80	62.1	77	1.1	4.9	9.88	26.51		
شباط	8.3	57.8	75	1.3	5.20	10.20	35.47		
آذار	12.7	60.8	70	1.4	7.10	11.7	70.72		
نيسان	17.5	41.1	62	1.3	7.70	13.60	124.72		
آيار	24.2	17.2	45	1.7	9.8	13.65	190.73		
حزيران	30.1	1.1	30	1.8	12.10	14.50	269.06		
تموز	28.8	0.1	26	1.9	12.15	14.20	249.00	0.32	223
أب	33.5	0.0	27	1.4	11.10	13.1	279.41		
أيلول	28.2	0.2	33	1.2	9.80	12.20	208.13		
ت1	21.2	14.1	48	0.7	8.20	11.3	132.94		
ت2	13.9	47.9	64	0.6	6.15	10.5	71.40		
ك1	8.8	61.1	79	1.2	4.90	9.2	34.48		
المعدل	19.5	30.2	53	1.3	8.25	12.00			
المجموع		363.5				144	1692.51		

يتبين من الجدول (2) ان المعدل العام لدرجة الحرارة في منطقة الدراسة بلغ (19.5°) سليزية، وان معدل سرعة الرياح بلغت (1.3) م/ثا، ومعدل الرطوبة النسبية بلغت (53%)، ومعدل السطوح النظري والفعلي بلغ (12.00) و(8.25) على التوالي، فيما بلغ مجموع الامطار (363.59) ملم. اما نتائج قيم التبخر/النتح الممكن فقد تم الحصول عليها بتطبيق معادلة (Kharrufa, 1985) وفقا للمعادلة الآتية:

$$PET = C.P.T^{1.30} \dots \dots \dots (1)$$

إذ أن: PET : التبخر/النتح الممكن (ملم/شهر)؛ T : معدل درجات الحرارة الشهرية (سليزية)؛ P : النسبة المئوية لعدد ساعات النهار في الشهر نسبة إلى عددها في السنة؛ C : عامل محلي يحسب لكل موقع من معدل البيانات المناخية للأشهر (حزيران، تموز، آب) على وفق المعادلة الآتية:

$$C=0.22(1+n/N)(0.90+U2/100)(1-0.5RH)(0.97+Z/10.000) \dots \dots \dots (2)$$

إذ إن: n/N : نسبة سطوح الشمس؛ n : معدل سطوح الشمس المقاسة الفعلية (الساعة)؛ N : مدة سطوح الشمس القصوى المحتملة النظرية (ساعة)؛ $U2$: سرعة الرياح (كم/ساعة) على ارتفاع 2م؛ H : الرطوبة النسبية (%). Z : ارتفاع الموقع فوق سطح البحر (متر).

يوضح الجدول (2) ان مجموع نتائج قيم التبخر/النتح الممكن في حوض وادي باغال بلغ (1692.51) ملم، مع وجود تباين نسبي في هذه القيم وحسب اشهر السنة، فهي ترتفع اثناء فصل الصيف بسبب ارتفاع درجات الحرارة، فيما نقل خلال اشهر الشتاء بسبب انخفاض درجات الحرارة. يبين الجدول (3) قيم الموازنة المائية المناخية لمنطقة الدراسة والتي توضح وجود فائض مائي في ثلاثة اشهر فقط وهي (كانون الاول و كانون الثاني وشباط)، اما بقية الاشهر الاخرى من السنة فقد سجلت عجزا مائيا.

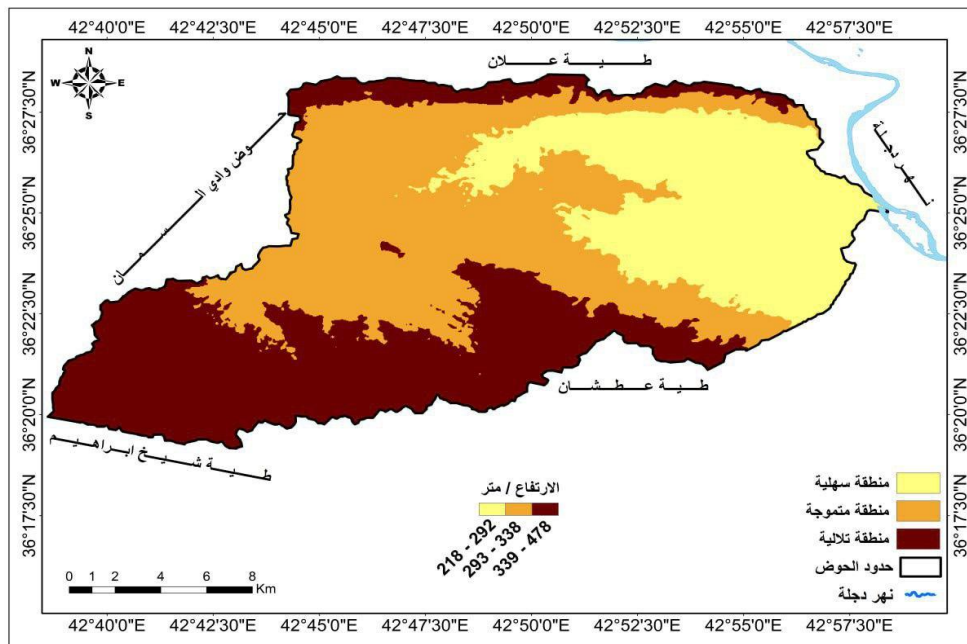
الجدول 3: نتائج قيم التبخر/النتح الممكن والموازنة المائية المناخية لمحطة الموصل للمدة (1981-2023).

الأشهر المحطة	ك2	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت1	ت2	ك1	المجموع السنتي
الامطار (ملم)	62.1	57.8	60.8	41.1	17.2	1.1	0.1	0.0	0.2	14.1	47.9	61.1	363.5
التبخر/النتح الممكن (ملم)	26.51	35.47	70.72	124.72	190.73	269.06	249.00	279.41	208.13	132.94	71.40	34.48	169251
الفائض المائي (ملم)	35.59	22.33										26.62	84.54
العجز المائي (ملم)			9.92	83.62	173.53	267.96	248.9	27.94	207.93	118.84	23.5		1162.14

ان تزايد سقوط الامطار وحصول فائض مائي في الاشهر (كانون الاول، كانون الثاني وشباط) في منطقة الدراسة مما يؤدي إلى تكوين جريان مائي سطحي في تلك الاشهر من السنة. وكما موضح في الجدول (3)، فقد بلغ مجموع الفائض المائي نحو (84.54) ملم مانسبته (23.25%) من مجموع الامطار الساقطة على حوض منطقة الدراسة، اذ يمكن الاستفادة من تلك المياه في الاستخدامات البشرية والحيوانية، فضلا عن انها تتيح فرص لزيادة مستوى الخزانات المائية الجوفية وزيادة رطوبة التربة.

التضاريس:

تعد خصائص التضاريس من العوامل الطبيعية المؤثرة في كمية الجريان المائي السطحي للاحواض المائية، وقد تمثلت الوحدات التضاريسية لمنطقة الدراسة بثلاث مناطق وكما يتضح في الشكل (3) والجدول (4).



الشكل 3. تضاريس منطقة الدراسة.

الجدول 4: بيانات تضاريس منطقة الدراسة.

ت	صنف الارتفاع	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية %
1	وحدة الاراضي السهلية	79.34	24.79
2	وحدة الاراضي المتموجة	124.68	38.96
3	وحدة الاراضي التلالية	115.98	36.24
	المجموع	320	%100

- وحدة الأراضي السهلية:

تتضمن هذه الوحدة المناطق الواقعة ما بين ارتفاع (218- 292) م، وتشغل مساحة تقدر بنحو (79.34) كم² بما نسبته (24.79%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وتوجد في الأقسام الشرقية منها، مما تساعد هذه الوحدة على نفاذ المياه إلى الطبقات تحت السطحية للتربة إذا ما توافرت العوامل الأخرى مثل توافر النبات الطبيعي وقلة الانحدار.

- وحدة الأراضي المتموجة:

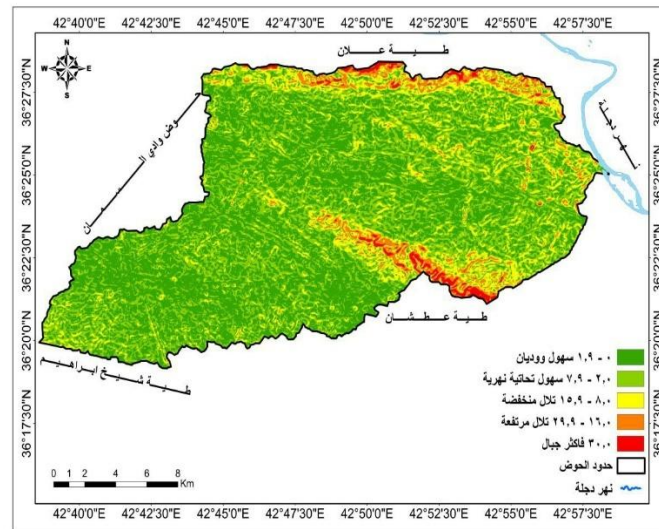
تتمثل وحدة الأراضي المتموجة بالأراضي المحصورة ما بين ارتفاع (293- 338) م، وتعد أكثر الوحدات الأرضية انتشاراً في منطّة الدراسة، إذ تشغل مساحة تقدر بنحو (124.68) كم² ما نسبته (38.96%) من مساحة منطقة الدراسة، وتوجد في الأجزاء الوسطى والغربية منها، وتتميز هذه الوحدة من التضاريس بحصول جريان مائي متوسط تماشياً مع عامل الانحدار التدريجي للأرض.

- وحدة الأراضي التلالية:

توجد وحدة الأراضي التلالية في الأقسام الشمالية والجنوبية من منطقة الدراسة ما بين ارتفاع (339- 478) م، وتشغل مساحة كبيرة تقدر بنحو (115.98) كم² ما نسبته (36.24%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وقد ساعد عامل الارتفاع في هذه الوحدة على حصول جريان مائي سطحي وقلة ارتشاح المياه إلى أسفل التربة.

الانحدار:

يتحكم عامل الانحدار في حركة المياه على السطح، لذا تعد دراسة الانحدار من الأمور المهمة في دراسة الأحواض المائية، وتم الاعتماد في دراسة خصائص الانحدار على تصنيف (Zink) بوصفه تصنيفاً شائعاً، إذ يتكون هذا التصنيف من خمسة مستويات وكما موضح في الشكل (4) والجدول (5) (Morain, 1999):



الشكل (4) الانحدار حسب (Zink) لمنطقة الدراسة.

الجدول 5: أصناف الانحدارات والتضرس الأرضي لمنطقة الدراسة بحسب تصنيف (Zink)

ت	شكل التضرس	درجة الانحدار	تصنيف السطح	المساحة كم ²	النسبة المئوية %
1-	مسطح-مستو	0°-1.9°	سهول-واديان	139.65	43.64
2-	تموج خفيف	2°- 7.9°	سهول نهريّة-سفوح-أقدام جبال	121.86	38.08
3-	متموج	8°-15.9°	تلال منخفضة	41.45	12.95
4-	مقطعة-مجزأة	16°- 29.9°	تلال مرتفعة	12.63	3.94
5-	مقطعة بدرجة عالية	+30°	جبال	4.41	1.37
	المجموع			320	%100

انواع الانحدار في منطقة الدراسة:

- نطاق الاراضي المستوية او المسطحة:

يضم نطاق الاراضي المستوية او المسطحة الاراضي التي لا يزيد انحدارها عن (1.9). ويتمثل بالاراضي ذات الانحدار القليل والمناطق السهلية، ويشغل مساحة تقدر بنحو (139.65) كم² مانسبته (43.64%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة. وتظهر اهمية هذا النطاق من خلال ما يوفره من امكانية رفع نسبة رطوبة التربة وترشيح المياه إلى الطبقات تحت السطحية، وينتشر هذا النطاق في المناطق الشمالية والوسطى والجنوبية الغربية من منطقة الدراسة.

- بقية الانطقة الاخرى:

وهي الاراضي ذات التموج الخفيف والاراضي المتموجة والاراضي المقطعة والمقطعة بدرجة عالية. تشغل هذه المناطق مساحة تقدر بنحو (180.35) كم² مانسبته (56.34%) من مساحة منطقة الدراسة، وتوجد في بعض المناطق الشمالية والجنوبية الشرقية من منطقة الدراسة. ومع تزايد مستوى الانحدار في السطح يزداد حجم الجريان المائي ويقل مستوى المياه المترشحة إلى اسفل التربة.

التربة:

للتربة دور كبير ومؤثر في كميات الجريان المائي، اذ تؤثر نسجة التربة في عملية الارتشاح (Al-Mzuory and Khadr, 2023). وتم الاعتماد في دراسة التربة على البيانات التي اعدتها منظمة التربة العالمية الموحدة (HWSD) والمنجزة من قبل منظمة الفاو (FAW) وشركائها (IIASA- ISSCAC- jRC) لسنة 2006. ويتبين من الشكل (5) والجدول (6) ان منطقة الدراسة تتكون من صنفين من الترب بحسب منظمة (FAW) وهي كالآتي:

- XY 5-a :

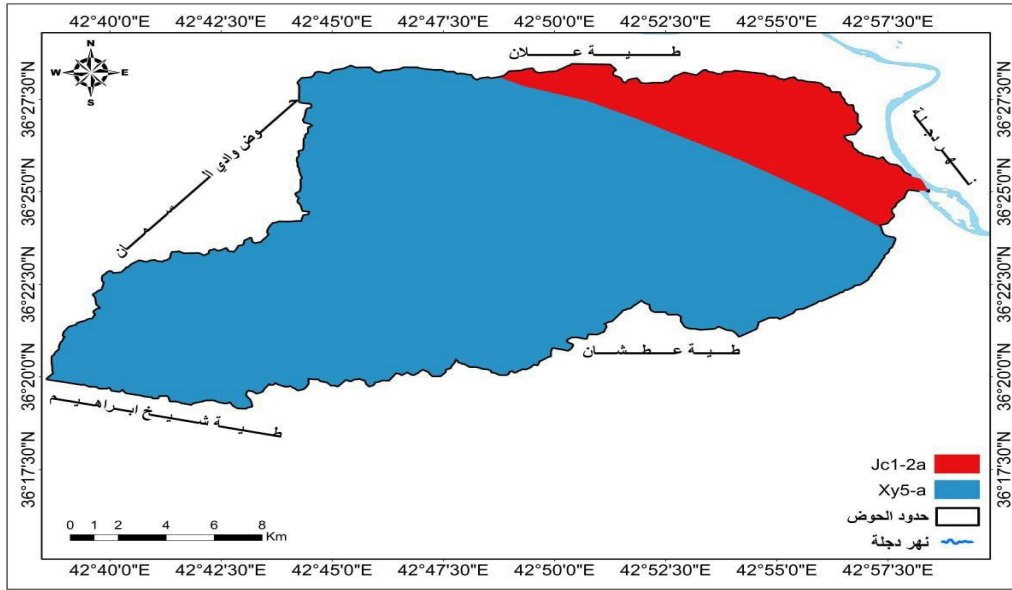
هي تربة بنية ورغم كونها مصنفة ضمن مايسمى تجميع الطين (Soil camp) الا ان قلة كميات الرطوبة فيها ضعف من شدة عمليات التجوية الداخلية في مقطع التربة، وبالتالي تقلل من فرص تشكيل الطين فيه (Al-Omary, 2018)، وتشغل مساحة كبيرة تقدر بنحو (269.01) كم² بما نسبته (84.07%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وتوجد في الاقسام الوسطى والجنوبية منها.

- JC 1-2 a :

مواصفات هذا الصنف من التربة مطابق لصنف (XY 5-a) (Al-Omry, 2018). ويوجد في الاقسام الشمالية من منطقة الدراسة، ويشغل مساحة تقدر بنحو (50.99) كم² بما نسبته (15.93%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

الجدول 6: اصناف الترب في منطقة الدراسة حسب تصنيف منظمة فاو.

ت	صنف التربة	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية %
1	JC 1-2 a	50.99	15.93
2	XY 5-a	269.01	84.07
	المجموع	230	100%



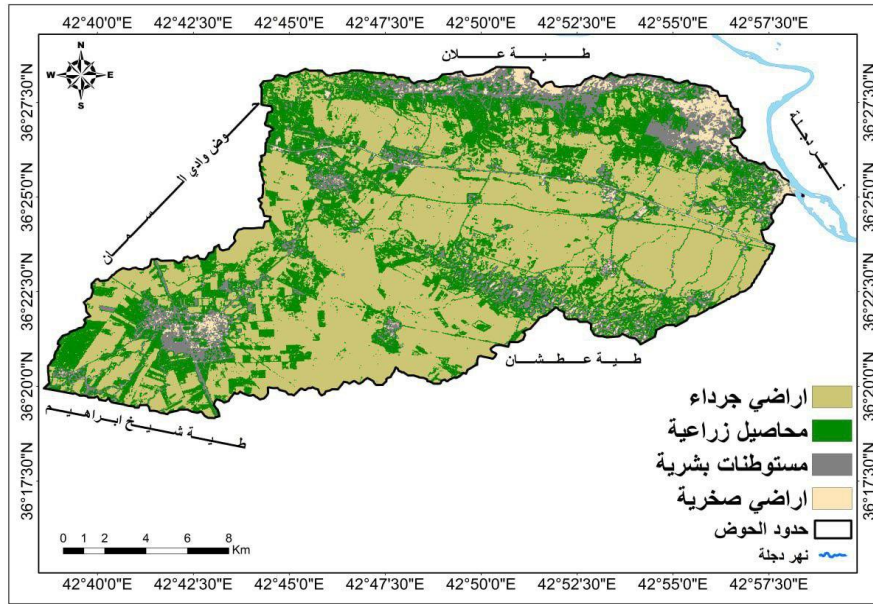
الشكل 5. تربة منطقة الدراسة حسب تصنيف منظمة لسنة 2006.

تصنيف استعمالات الارض والغطاء الارضي

يقصد باستعمالات الارض هو كيفية استخدامها من انها صناعية او زراعية او سكنية وغيرها، اما الغطاء الارضي فهو المكان الذي لا تمارس فيه نشاطات بشرية، كالمكاشف الصخرية والمراعي الطبيعية والانهار وغيرها. ويعمل الغطاء النباتي على اعاقه عملية الجريان المائي مما يساهم في تسرب المياه إلى اسفل التربة (Abdul Hussein, 2024). وتم الاعتماد في تصنيف استعمالات الارض والغطاء النباتي لحوض وادي باغال على المرئية الفضائية (Land sat 8. PATH 170 ROW 35 Acousmon DATE 4/4/2022) بدقة تمييزية (30) م واعتمادا على التصنيف الموجه (Supervised Classification) ، وهو عملية تصنيف خلايا الصور الرقمية إلى فئات متجانسة طيفيا، توضح عناصر وظواهر السطح ومجالات استخدامها في المنطقة (Al-Awadhi, 2018). وتم عمل خارطة لاستعمالات الارض والغطاء الارضي لمنطقة الدراسة (الشكل 6 والجدول 7) والتي تبين وجود (4) اصناف لاستعمالات الارض والغطاء الارضي في منطقة الدراسة وهي كالآتي:

-الاراضي الجرداء:

يشمل هذا الصنف الاراضي المرتفعة في الحوض، فضلا عن المناطق التي تسودها التربة المعراة في اجزاء الحوض المختلفة والتي تتميز بقله وجود الغطاء النباتي ووضوح المكاشف الصخرية والترب الرملية والحصى. ويعد هذا الصنف من اوسع اصناف استعمالات الارض انتشارا في منطقة الدراسة، فهو يشغل مساحة تقدر بنحو (178.14) كم² بما نسبته (55.67%) من اجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتم تمييز هذا الصنف من خلال الانعكاسية واللون الفاتح. اما من الناحية الهيدرولوجية، فان هذه المناطق تعمل على زيادة في حجم الجريان المائي وقلة نفاذية المياه ماعدا المناطق المغطاة بالتربة الرملية والحصى.



الشكل 6. استعمالات الارض في حوض وادي باغال

الجدول 7: استعمالات الارض في حوض وادي باغال

ت	اصناف استعمالات الارض	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية %
1	اراضي جرداء	178.14	55.67
2	محاصيل زراعية	98.42	30.76
3	مستوطنات بشرية	33.1	10.34
4	اراضي صخرية	10.34	3.23
	المجموع	320	%100

-المحاصيل الزراعية:

يستخدم هذا الصنف من استعمالات الارض في زراعة المحاصيل الغذائية (الحنطة و الشعير) التي تمتاز بزراعتها منطقة الدراسة وتنتشر في الاقسام الشمالية وبعض المناطق المتفرقة الاخرى من منطقة الدراسة، وتشغل مساحة تقدر بنحو (98.42) كم² مانسبته (30.76%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة. وتم تمييزها عن طريق الاشكال الهندسية التي يتميز به هذه الصنف، وتتميز تلك المناطق بقلة الجريان المائي السطحي مع تزايد نسبة المياه المترشحة إلى اسفل التربة بفعل وجود الغطاء النباتي.

-المستوطنات البشرية:

يتمثل هذا الصنف بجميع الاستعمالات السكنية والتجارية والصحية والطرق. ويشغل مساحة تقدر بنحو (33.1) كم² بمانسبته (10.34%) من مساحة منطقة الدراسة، وتم تمييز هذا الصنف من خلال الاشكال شبه الدائرية المتصلة بمجموعة من الطرق المبعثرة غير المنتظمة. وهيدرولوجيا، فان تباعد هذه المستوطنات يجعلها ليست اسطح كتيمة للمياه بقدر ماتكون اسطح شبه نفاذة للمياه، وتوجد في الاقسام الشمالية والوسطى والجنوبية من منطقة الدراسة.

-الأراضي الصخرية:

يتمثل هذا الصنف في مناطق المرتفعات الجبلية الواقعة في اجزاء الحوض الشمالية التي تتميز بوجود التربة المعراة من الغطاء النباتي وانتشار المكاشف الصخرية، ويشغل مساحة تقدر بنحو (10.34) كم² مانسبته (3.23%) من مساحة

الحوض الكلية. أما من الناحية الهيدرولوجية، فإن هذا الصنف يؤدي إلى حصول جريان مائي سطحي بسبب صلابة الصخور التي لا تسمح بنفاذ المياه في التربة.

استخلاص قيم (CN)

إن طريقة المنحنى الرقمي (CN) تتلخص بدمج طبقات الغطاء الأرضي والتربة الهيدرولوجية والحالة المسبقة لرطوبة التربة معاً بواسطة (Spatial Analyst Tools) في (Arc GIS) ليوضح العلاقة بين التربة والغطاء الأرضي ومقدار امتصاص المياه من خلال التربة (Al-Kanani, 2024). وتمثل قيمة (CN) مقدار النفاذية للسطح وتتراوح قيمتها ما بين (الصفر و 100)؛ فكلما اتجهت القيم نحو الصفر دل ذلك على زيادة نفاذية السطح، وإذا ما اتجهت القيم نحو الـ (100) دل على قلة نفاذيتها وصلابتها. وقد أوضح الجدول (7) وجود أربع أصناف لاستعمالات الأرض. أما الحالة المسبقة لرطوبة التربة (AMC)، فقد تم تحديد ثلاث حالات لرطوبة التربة وكما هو مبين في الجدول (8) (Silveira, Charbonnier, and Genta, 2000) وكما يأتي:

الجدول 8: الحالة المسبقة لرطوبة التربة.

ت	مجموع هطول الأمطار لخمسة أيام سابقة (مم)	الحالة المسبقة لرطوبة التربة
1	أقل من 35	AMC -1
2	25.5 – 35	AMC- 2
3	أكثر من 25.5	AMC-3

تمثل الحالة الأولى (AMC -I) التربة الجافة، والحالة الثانية (AMC-II) التربة الاعتيادية، أما الحالة الثالثة (AMC-III) فيشترط وجود أمطار خفيفة إلى سريعة مع انخفاض في درجات الحرارة خلال الخمسة أيام السابقة لحساب الجريان السطحي للمياه. في الدراسة الحالية، تم تحديد الحالة الاعتيادية (AMC-II). أما المجموعة الهيدرولوجية للتربة فتوجد أربع مجموعات للتربة حددتها طريقة (SCS) وفقاً لسرعة انتقال المياه من خلالها وهي (A,B,C,D) وكما في الجدول (9) (USDA, 1986).

جدول 9: المجموعات الهيدرولوجية للتربة بحسب طريقة (SCS).

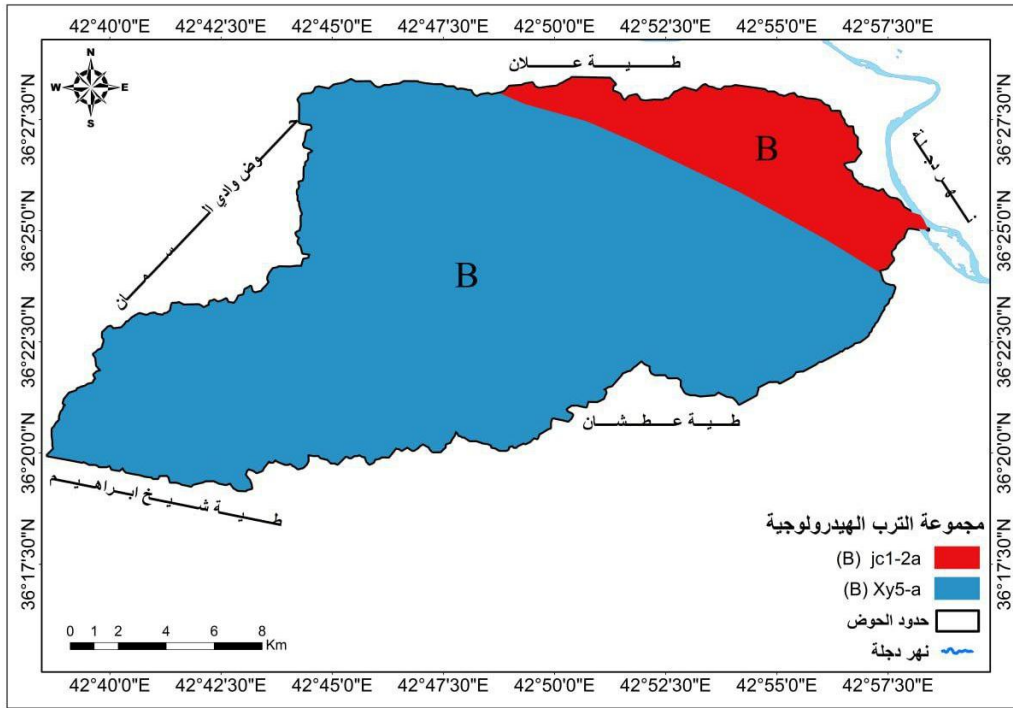
المجموعات الهيدرولوجية للتربة	صفات التربة
A	طبقة رملية عميقة مع كمية قليلة جداً من الطين والغرين
B	طبقة رملية أقل عمقاً من صنف A مع معدل ارتشاح متوسط بعد ترطيب التربة
C	طبقة طينية محددة العمق مع معدل ارتشاح دون الوسط قبل وصول التربة إلى حالة التشبع
D	طبقة طينية ذات نسبة انتفاخ عالية مع وجود طبقة ضحلة من التربة الناعمة الغرينية في السطح

وبالاستناد إلى الخارطة المعدة من منظمة (فاو) لسنة 2006 لمنطقة الدراسة، فقد تم إعداد خارطة المجاميع الهيدرولوجية للتربة (الشكل 7 والجدول 10).

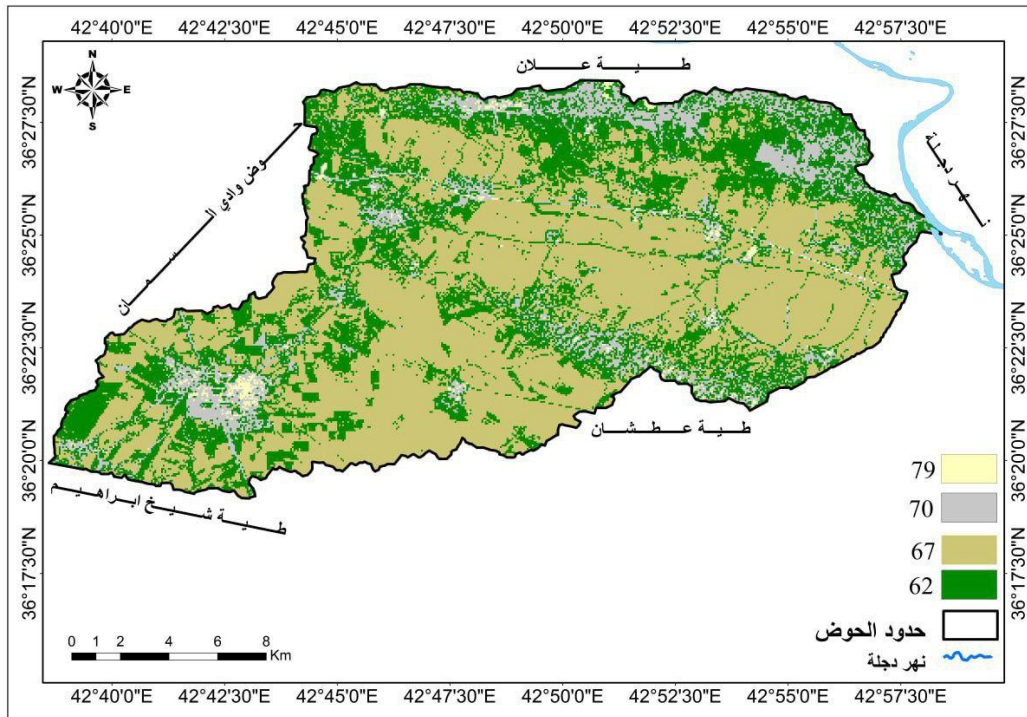
يتبين من الجدول (10) أن المجموعة الهيدرولوجية للتربة في منطقة الدراسة هي المجموعة (B). ومن الناحية الهيدرولوجية، فإن تربة هذه المجموعة تحقق نفاذية متوسطة وجرياناً سطحياً متوسطاً. ومن خلال دمج الطبقات الثلاثة بواسطة (combine)، فقد تم الحصول على قيم (CN) في منطقة الدراسة كما في الشكل (8) والجدول (11).

الجدول 10: توزيع مجموعة التربة الهيدرولوجية في حوض وادي باغال.

ت	مجموعة التربة الهيدرولوجية	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية%
1	JC 1-2 a B	50.99	15.93
2	XY 5-a B	269.01	84.07
	المجموع	320	100%



الشكل 7. المجموعة الهيدرولوجية للتربة في حوض وادي باغال.



الشكل 8. قيم (CN) في منطقة الدراسة.

الجدول 11: توزيع قيم (CN) المستخلصة لحوض منطقة الدراسة.

النسبة المئوية %	المساحة (كم ²)	(CN)	ت
3.23	10.34	79	1
10.34	33.1	70	2
55.67	178.14	67	3
30.76	98.42	62	4
%100	320	المجموع	المعدل
		69.5	

يتبين من الجدول (11) ان قيم (CN) في منطقة الدراسة تراوحت ما بين (62) وهي مناطق اكثر نفاذية و (79) للمناطق الاقل نفاذية وذات قدرة عالية على تكوين جريان مائي سطحي، علما ان هذه القيم هي دون قيمة الوسيط التي تبلغ (50)؛ ويبلغ معدل قيم (CN) في منطقة الدراسة (69.5)، مما يشير إلى ان الحوض يتجه نحو تحقيق جريان مائي سطحي؛ كما يبين الجدول (11) ان قيمة (67) هي اكثر قيم (CN) انتشارا في منطقة الدراسة بنسبة بلغت (55.67%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وهي تقابل صنف الاراضي الجرداء التي تشكل اوسع الفئات انتشارا في منطقة الدراسة ومجموعة التربة (B) التي تغطي كل مساحة منطقة الدراسة؛ تليها في ذلك قيمة (62) التي تشكل مانسبته (30.76%) من مساحة منطقة الدراسة، وهي تقابل صنف الاراضي الزراعية مع وجود التربة نوع (B) ايضا، وهذا يعني فرص تحقيق الجريان السطحي في هذه الفئة اقل نسبيا من الفئة السابقة، في حين ان قيمة (70) والتي تشكل ما نسبته (10.34%) من مساحة منطقة الدراسة والتي تقابل صنف المستوطنات البشرية فهي تحقق جريانا مائياً أكبر نسبياً، اما القيمة (79) والتي تمثل مساحة (3.23%) من مساحة منطقة الدراسة فتمتاز بتكوين جريان مائي اوسع من جميع قيم (CN) في منطقة الدراسة.

احتساب قيمة (S)

يمثل المعامل (S) الامكانية القصوى للاحتفاظ بالماء في التربة، او حبس الماء في التربة بعد بدء الجريان السطحي (Potential Maximum Retention After Runoff) حسب تعريف (USDA). ويعد هذا المعامل من اهم مدخلات تقدير احجام واخطار السيول حسب طريقة صيانة التربة الامريكية، ويرتبط بنوع وعمق التربة وغطاءات الارض (Salah and Maias, 2023)، ويتم احتساب قيمة (S) حسب المعادلة الاتية (Maidment, 1993):

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \dots \dots \dots (3)$$

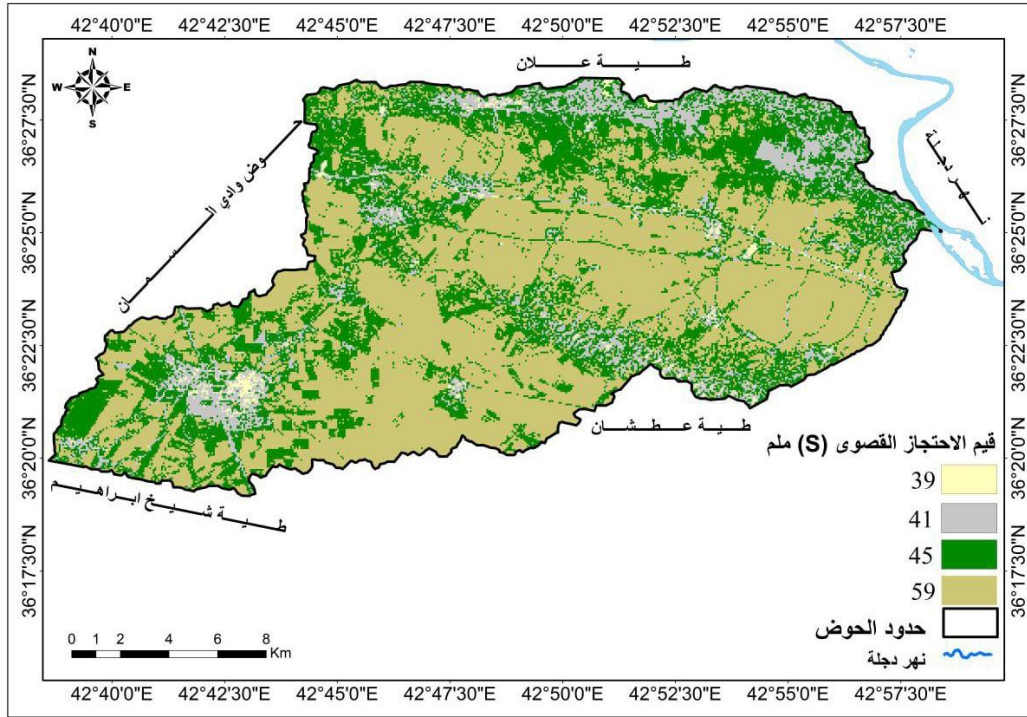
وتم اعادة ترتيب المعادلة وجعلها بالمقاييس المترية بعد ان كانت بالبوصة وضربها ب (25.4) وتحويلها إلى (مم) وعلى النحو التالي:

$$S = \frac{25400}{CN} \dots \dots \dots (4)$$

تعد قيمة (254) قيمة وسيط معامل (S)، وتعتبر القيم القريبة من الصفر إلى قلة امكانية الاحتفاظ بالماء في التربة بعد الجريان المائي السطحي وزيادة في كمية الجريان المائي السطحي (Al-Nafie, 2010)، ويعبر بالشكل (9) والجدول (12) عن قيم (S) في منطقة الدراسة:

الجدول 12: توزيع قيم (S) المستخلصة لحوض منطقة الدراسة.

النسبة المئوية %	المساحة (كم ²)	(S)	ت
3.23	10.34	67	1
10.34	33.1	108	2
55.67	178.14	125	3
30.76	98.42	155	4
%100	320	المجموع	المعدل
		113	



الشكل 9. قيم (S) في منطقة الدراسة.

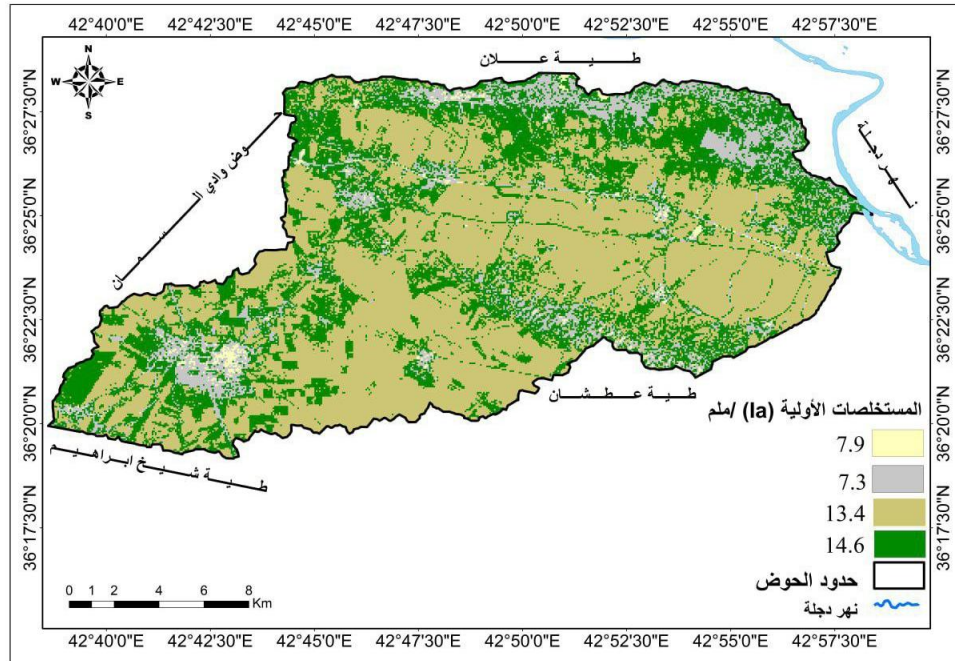
ومن خلال ملاحظة الشكل (9) والجدول (12)، يتبين ان قيم (S) قد تمثلت ب (4) قيم في منطقة الدراسة تراوحت ما بين (67 – 155) ملم وبمعدل بلغ (113)، وان جميع قيم (S) هي دون قيمة المتوسط البالغة (254)، مما يشير إلى ان حوض منطقة الدراسة يكون طبيعياً في الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان المائي السطحي مما يؤدي إلى زيادة في كمية الجريان المائي في الحوض. وتمثل قيمة (125) اكثر قيم (S) انتشارا في منطقة الدراسة والتي شكلت مانسبته (55.67%) من مساحة الحوض والتي تعبر عن قيمة (67) في قيم (CN)، تليها القيمة (155) بمانسبته (30.76%) من مساحة منطقة الدراسة والمعبرة عن قيمة (62) في قيم (CN)، ثم تليها قيمة (108) بمانسبته (10.34%) من مساحة منطقة الدراسة والمعبرة عن قيمة (70) في قيم (CN)، واخيرا قيمة (67) شكلت مانسبته (3.23%) من مساحة الحوض الكلية والمعبرة عن قيمة (79) في قيم (CN).

معامل الاستخلاص الاولي (Ia)

يمثل معامل الاستخلاص الاولي (Initial abstraction, Ia) كمية الفاقد من المياه قبل بدء الجريان نتيجة لتبخر المياه او اعتراض النباتات لمياه الامطار قبل بدء الجريان او بسبب التسرب، وهو يمثل خمس قيمة (S) (Al-Nafie, 2010). ويمكن احتساب قيمة (Ia) وفق المعادلة الاتية (Maidment, 1993):

$$Ia=0.2 S \dots\dots\dots (5)$$

تبلغ قيمة الوسيط للمعامل (Ia) (50.8) ملم، وان اقتراب قيم (Ia) من الصفر يشير الى قلة الفاقد من مياه الامطار قبل بدء الجريان، اما ابتعاد القيم عن الصفر فيدل على ارتفاع الفاقد، وبالتالي انخفاض في كمية المياه الجارية. ويمثل الشكل (10) والجدول (13) قيم (Ia) في منطقة الدراسة.



الشكل 10. قيم (Ia) في منطقة الدراسة.

الجدول 13: توزيع قيم (Ia) في حوض وادي باغال.

النسبة المئوية %	المساحة (كم ²)	(Ia)	ت
3.23	10.34	13.5	1
10.34	33.1	21.7	2
55.67	178.14	25	3
30.76	98.42	31	4
%100	320	المجموع	22.8

يتبين من الشكل (10) والجدول (13) وجود (4) قيم للمعامل (Ia) في منطقة الدراسة تراوحت ما بين (13.5 - 31) ملم، وان جميع هذه القيم هي دون قيمة الوسيط البالغ (50.8) ملم، وان المعدل العام لقيم الاستخلاص الاولي بلغ (22.8) ملم، وتدل هذه القيم على اقترابها من الصفر مما يشير إلى قلة الفاقد من التربة قبل بدء الجريان المائي السطحي، فضلا عن ان اغلب قيم (Ia) توزيعا في منطة الدراسة هي القيمة (25) بمانسبته (55.67%) من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة والمعبرة عن قيمة (67) في قيم (CN) و (125) في قيم (S)، تليها قيمة (31) بنسبة (30.76%) من مساحة منطقة الدراسة والمعبرة عن قيم (62) في قيم (CN) وقيمة (155) في قيم (S)، ثم تليها قيمة (21.7) بنسبة (10.34%) من مساحة منطقة الدراسة والمعبرة عن قيمة (70) في قيم (CN) وقيمة (108) في قيم (S)، واخيرا قيمة (67) بما نسبته (3.23%) من مساحة منطقة الدراسة والمعبرة عن قيمة (79) في قيم (CN) وقيمة (67) في قيم (S).

الاستنتاجات

1- بعد دراسة الخصائص الطبيعية، تم التوصل إلى مجموعة من النتائج، فقد تبين ان التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة هي انجانة (0.75%)، فتحة (6.60%)، ترسبات المنحدرات (7.87%)، الترب المتبقية (84.75%) من مساحة منطقة الدراسة. اما التضاريس، فقد تبين ان منطقة الدراسة تتكون من ثلاث مظاهر تضاريسية وهي نطاق الاراضي السهلية (24.79%)، ووحدة الاراضي المتموجة (38.96%)، ووحدة الاراضي التلالية (36.24%) من اجمالي مساحة منطقة الدراسة. ومن حيث الخصائص المناخية، فقد تبين من خلال تحليل عناصر المناخ وتطبيق معادلة خروفة واحتساب الموازنة المائية المناخية وجود فائض مائي في ثلاث شهور وهي (كانون الاول، كانون الثاني، شباط)، اما بقية الاشهر الاخرى فقد سجلت عجزا مائيا. ومن حيث الانحدار، فقد تبين ان نطاق الاراضي المستوية او المسطحة شكلت

نسبة (43.64)% ، التموج الخفيف (38.08)%، المتموج (12.95)%، المقطعة (3.94)%، المقطعة بدرجة عالية (1.37)% من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة. اما من حيث التربة، فقد تبين وجود نوعين من الترب في منطقة الدراسة وحسب تصنيف فاو وهي (Jc1-2a) بنسبة (15.93)%، و (xy5-a) بنسبة (84.07)% من مساحة منطقة الدراسة.

2- تبين من استعمالات الارض والغطاء الارضي وجود (4) اصناف وهي الاراضي الجرداء بنسبة (55.67)%، المحاصيل الزراعية بنسبة (30.76)%، المستوطنات البشرية بنسبة (10.34)%، الاراضي الصخرية بنسبة (3.23)% من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة.

3- تبين من نتائج تحليل الخصائص الهيدرولوجية ان عدد قيم (CN) في منطقة الدراسة بلغ (4) قيم، وقد تراوحت هذه القيم ما بين (62- 79) وجميعها اعلى من قيمة الوسيط البالغة (50) مما يشير إلى امكانية حصول جريان مائي في منطقة الدراسة. اما قيم الاحتجاز القصوى (S)، فقد تراوحت ما بين (67- 155)، وجميعها دون قيمة الوسيط البالغة (254)، مما يشير إلى ان حوض الدراسة يكون طبيعياً في الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان المائي. اما من حيث قيم الاستخلاص الاولي (Ia)، فقد تراوحت القيم ما بين (13.5- 31)، وجميعها دون قيم الوسيط البالغة (50.8) ملم مما يدل على ان حوض منطقة الدراسة يميل إلى امكانية حصول جريان مائي عالٍ.

References

- Abdul Hussein, A.H., 2024. Estimation OF Runoff Volume of AL-Tahinat Valley Basin Using SCS- CN Method. Journal of College of Education. 56(1). pp. 241- 262. <https://doi.org/10.31185/eduj.Vol56.Iss1.3900>
- Al-Nafie, H.M., 2010. Estimation of surface runoff and its risks in the upper basin of Wadi Arna east of Makkah Al-Mukarramah, using remote sensing and geographic information systems. M.Sc. thesis (unpublished). Umm Al-Qura University, Kingdom of Saudi Arabia. pp. 103-109.
- Al-Akidi. M.H., 2023. Determine the ideal comfort zone in Talafar district, MSc Thesis (unpublished), University of Mosul, Iraq.
- Al-Akkam, I.S. and Alwan, N.K., 2015. Estimate the volume runoff of the basin Valley Dwiridj on remote sensing technology and geographic information systems. Journal of Geographical Research. 21. pp. 347- 374.
- Al-Awadhi. H.A. 2018. Remote Sensing and Digital Image Analysis. University Knowledge House. 200 P.
- Al-Hussainawi, A.A. and Al-Khafaji, S.N., 2022. Estimation of the volume of surface runoff using the (SCS- CN) method for Wadi Abu Hadair Basin. Ibn Khaldon Journal of Studies and Researches. 2(9). pp. 227- 258.
- Al-Kanani, D.M., 2024. Estimating the surface runoff volume of the AL-Manziliyah valley Basin, northeast of Maysan Governorate, using Remote sensing and Geographic Information System (RS-GIS) techniques, Journal of College of Education 57(2). pp.201- 220. <https://doi.org/10.31185/eduj.Vol57.Iss2.4148>
- Al-Mtiwoti, W.M., 2024. Determining the amount of change in the thermal island of the city of Mosul and its relationship to environmental pollution is a study using geographic information systems and remote sensing, MSc Thesis (unpublished), University of Mosul, Iraq.
- Al-Mzuory, H.R. and Khadr. S.H., 2023. Estimating the hydrological characteristics of the city of Dohuk using the (SCS-CN) model. Madad Al-Adab Journal. Geography Department Conference. pp.1246- 1275.

- Al-Omary, S.K., 2018. Specifying the Hydrological Indication of Nineveh soil according to Harmonized World soil Database (HWSD). The Ninth Periodic Scientific Conference of the Dams and Water Resources Research Center.
- Al-Sabbagh, N.A. and Omari, A.A., 2019. Estimation of surface water flow of Wadi Shuaib basin by dealing with (SCS- CN) and (GIS and RS) techniques. 16(1). pp.191- 218.
- Al-Samarrai, S.G. and Al-Samarrai. H.L., 2024. Estimation of surface runoff for the Shesgen Valley Basin using the SCS- CN method. Madad Al-Adab Journal. Geography Department Conference. pp.747- 770.
- Al-Zaidy, A. SH. and Abdan. R.H., 2021. Estimation of the Depth and Volume of Surface Runoff of the Basin Wadi AL-Kaseer Using Remote Sensing and GIS. Journal of Sustainable Studies. 3(4). pp. 485-501.
- Al-Zarfi, N.M. and Al-Taie, A.F., 2021. Estimation of surface runoff volume of valley basin by (CN-SCS) method. Uruk Journal of Humanities. 14(4). pp. 3107-3127.
- Buday, T., 1980. The Regional Geology of Iraq. Stratigraphy and paleogeography. Dar AL-Kuttip published. House. University of Mosul. Mosul. 351 P.
- Daham, M.A. and Abdel Rahman, 2023. Estimation of the surface runoff volume of the valley basins west of Lake Sawa. Journal of Sustainable Studies. S (1). pp. 2042-2064.
- Elias, S.H. and Khader, S.H., 2022. Extracting the hydrological characteristics of the Quiesy Basin using the (SCS- CN) model. Special issue of the Fourth International Scientific Conference/Historical and Geographical Studies. pp.826-894.
- Ibrahim, M.A. and Hamid, D.K., 2022. Hydrological characteristics Analysis of Wadi Al-Sukran Basin using (CN-SCS) Method. Anbar University Journal of Humanities. 2(1). pp.25-49.
- Kharrufa, N.S., 1985. Simplified Equation for Evapotranspiration in Arid Regions Beitrage zun Hydrology, Sonderheft, 5.1, pp.39-47.
- Maidment, D.R., 1993. Handbook of Hydrology. University of Texas at Austin, Texas, USA, pp. 77-78.
- Ministry of Transport and Communications, General Authority for Meteorology and Seismic Monitoring, Climate Section, (unpublished) Report data of the period (1981-2023).
- Morain, S., 1999. GIS solution in natural resource management balancing the technical-political equation. 1st ed- Santa Fe, NM: On Word Press, p88.
- Salah, B.N. and Maias, M.H., 2023. Estimation of surface runoff volume using the SCS(CN) model in Wadi Zabid Basin- Yemen. Sanaa University Journal of Humanities. 4(1). pp. 112- 128.
- Saleh, A.H., 2024. Estimation the surface runoff volume of the Wadi AL-Hajjah Basin in Anbar Governorate using the (SCS-CN) method. Annals of Ain Shams Faculty of Arts. 52(April- June Issue). pp. 326-343.
- Silveira, L. Charbonnier, F. and Genta, J, L., 2000. The antecedent soil moisture condition of the curve number procedure. Hydrological Sciences Journal. 45(1). PP3-12. DOI:[10.1080/02626660009492302](https://doi.org/10.1080/02626660009492302)
- USDA, 1986. Urban Hydrology for small watershed technical releases 55,2, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation, USA. P.3.



التحليل الجيومتري لخزانات سدود مقترحة لحصاد مياه الامطار في مواقع مختارة على حوض وادي القصب شمالي العراق

اكرم محمد صالح سعيد^{1*}، صبار عبد الله صالح²

¹ مركز التحسس النائي، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

² قسم علوم الارض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

الملخص

تم عمل تحليل جيومتري لثمانية مواقع مقترحة لانشاء خزانات مائية وذلك لبناء سدود حصاد مياه الامطار في وادي القصب لأهمية هذه السدود في توفير المياه لسكان القرى المحيطة بوادي القصب ولزيادة الرقعة الزراعية لهذه المناطق التي تأثرت بالتقلبات المناخية وشحة الامطار في السنوات الاخيرة، اضافة الى حماية هذه المناطق من اخطار السيول والفيضانات. استخدم في الدراسة نموذج ارتفاعات رقمية ذو دقة (10m×10m) لاستقطاع حدود الخزانات في كل موقع من المواقع المختارة ، وبرامج جيولوجية تطبيقية مثل (Global Mapper, ArcGIS, Surfer) لاستنباط واستخراج العناصر الجيومترية التي تتضمن الحجم الموجب PV (حجم الجزر ضمن الخزان)، الحجم السالب NV (حجم الخزين المائي)، المساحة السطحية الموجبة PSA (المساحة الجزر ضمن الخزان)، المساحة السطحية السالبة NSA (مساحة قاع الخزان او المساحة المبتلة)، المساحة المستوية الموجبة PPA (مساحة مساقط الجزر في حدود الخزان)، معدل العمق للخزان (AD). تم ايجاد العلاقات بين العناصر الجيومترية ومواقع السدود لتحديد أفضل المواقع كخزان مائي وتبين من خلال هذه العلاقات ان الموقع الثاني في قرية نزازة يمثل أفضل المواقع كخزين مائي.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 03- مارس - 2025

تاريخ المراجعة: 05- ابريل - 2025

تاريخ القبول: 18- مايو - 2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

التحليل الجيومتري،

الخزانات المائية،

حوض وادي القصب،

المراسلة:

الاسم: اكرم محمد صالح سعيد

Email: akram-m-71@uomosul.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60498](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60498), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Geometric Analysis of Proposed Rainwater Harvesting Dam Reservoirs at Selected Sites in Wadi Al-Qasab Basin, Northern Iraq

Akram M. Saeed ^{1*} , Sabbar A. Salih ² 

¹ Remote Sensing Center, University of Mosul, Mosul, Iraq.

² Department of Applied Geology, University of Tikrit, Tikrit, Iraq.

Article information

Received: 03- Mar -2025

Revised: 05- Apr -2025

Accepted: 18- May -2025

Available online: 01- Apr-2026

Keywords:

Geometric Analysis,
Water Reservoirs,
Wadi Al-Qasab Basin,

Correspondence:

Name: Akram M.Saeed

Email: akram-m-71@uomosul.edu.iq

ABSTRACT

A geometric analysis is conducted on eight proposed sites for the construction of rainwater harvesting dam reservoirs to build rainwater harvesting dams in Wadi Al-Qasab, This give the importance of these dams in providing water to the residents of the villages surrounding Wadi Al-Qasab and in increasing the agricultural areas of these lands, which have been affected by climate fluctuations and scarcity of rain in recent years, in addition to protecting these areas from the dangers of torrents and floods, A digital elevation model with a resolution of (10mx10m) is used in the study to deduct the boundaries of the reservoirs in each of the selected sites, and geological programs are applied such as (Global Mapper, ArcGIS, Surfer) to deduce and extract the geometric elements that include the positive volume PV (volume of islands within the reservoir), negative volume NV (volume of water storage), positive surface area (PSA, the area of islands within the reservoir), negative surface area NSA (area of the reservoir bottom or wetted area), positive planar area (PPA, the area of island projections within the reservoir boundaries), and average depth of the reservoir (AD). Relationships are found between the geometric elements and the proposed dam sites to determine the best sites as a water reservoir, and it is shown through these relationships that the second site in the village of Nazaza represents the best sites as a water reservoir.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60498](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60498), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

في مناطق الاقاليم الشبه الجافة يزداد الطلب على المياه لاستخدامها في مجالات عديدة (انسانية، زراعية، تربية الحيوانات...الخ). في العراق، الحاجة الى المياه في تزايد مستمر بسبب النمو السكاني والتطور الاقتصادي والاجتماعي. تمتاز المنطقة الممتدة من غربي محافظة نينوى الى جنوبيها (وادي القصب) بوجود وديان موسمية لها القابلية على تصريف مياه السيول اثناء سقوط الامطار. ان عملية حصاد مياه الامطار في هذه الوديان الموسمية عن طريق بناء هياكل او سدود صغيرة على مجاري هذه الوديان تمكنا من تقليل مخاطر الفيضانات على القرى المجاورة لهذه الوديان في موسم سقوط الامطار بغزارة في الشتاء والربيع، وتوفر كذلك كميات من المياه يمكن الاستفادة منها في اوقات شحة الامطار (أشهر نيسان وايار وحزيران) تميزت هذه الدراسة باستخدام تقنية حديثة هي التحليل الجيومترى لخزانات سدود مقترحة لحصاد مياه الامطار في مواقع مختارة على حوض وادي القصب، كما استخدمت نموذج ارتفاعات رقمية بقدرة تمييز عالية (10m*10m) فضلا عن استخدام جهاز حديث (Differential GPS) من نوع (E600 GNSS Receiver) حديث لتحديد المواقع بطريقة الرصد المتحرك بالتصحيات اللحظية بدقة عالية (1cm) ثابتة وغير مسبوقه يستخدم هوائي عالي الدقة يمكنه من استقبال الارصاد من جميع منظومات الاقمار الصناعية الحالية. التحليل الجيومترى هو طريقة علمية هندسية يتم بواسطتها تحويل اشكال سطح الارض الغير المنتظمة الى اشكال هندسية منتظمة باستعمال قوانين رياضية، ومن خلالها يمكننا اجراء القياسات كالمساحات والحجوم لمعالم واشكال سطح الارض، ان التقدم التكنولوجي وتوفر

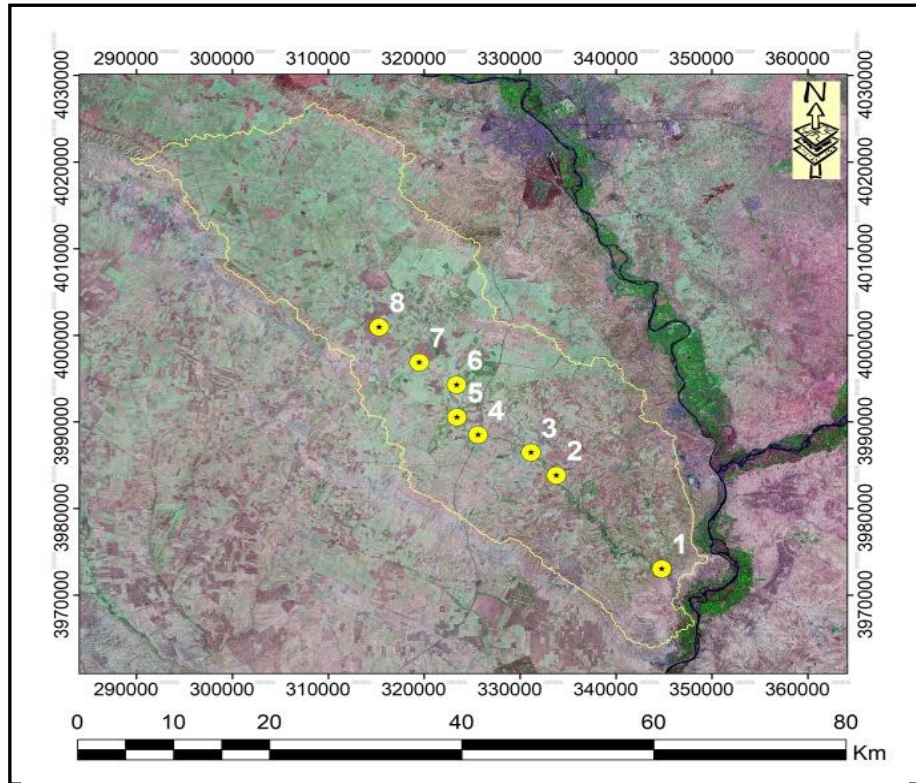
بيانات التحسس النائي والبرامجيات التطبيقية الحديثة وفرت دعماً كبيراً لاستخدام تقنية التحليل الجيومتري وتطبيقاته في دراسة اشكال ومعالم سطح الارض المختلفة كالخزانات المائية مثلاً، فمن خلال استخدام هذه الحزم البرمجية التطبيقية مثل (ArcGIS, Surfer, Global Mapper) يمكن اجراء قياسات رياضية متعددة واستخلاص عناصر هندسية بغية انشاء قاعدة بيانات يستخدمها المخطط والمصمم في تنفيذ مشروع سد على مجرى نهر معين حيث سيتمكن من تحليل المتغيرات المكانية للمعالم الجيومورفولوجية عند كل منسوب اضافة الى كشف التغيرات التي سوف تحدث على استخدامات الاراضي عند كل منسوب ومن ثم المقارنة بين المناسيب المختلفة لاختيار المنسوب الافضل للخزين المائي (Al-Karai, 2021). تبرز اهمية التحليل الجيومتري للخزان المائي بانها تمكننا من التنبؤ بالخصائص الجيومترية قبل مرحلة انشاء السد من اجل استخدام المعلومات المشتقة من هذا التحليل كقاعدة معلومات تمكن المصمم من الاعتماد عليها في وضع التصاميم الخاصة بجسم السد وتمكن صناع القرار والمسؤولين في الحكومات من اتخاذ القرارات المناسبة (Salih, 2014). يعتبر التحليل الجيومتري للخزانات والقنوات أمراً ضرورياً لبناء وتصميم السدود في اية بقعة من العالم، الهدف من هذه العمليات هو تحديد مستوى التشغيل الأمثل للخزان وخصائصه وبناء قاعدة بيانات للعناصر الجيومترية مثل الحجم الموجب والحجم السالب والمساحة السطحية الموجبة والمساحة السطحية السالبة والمساحة المستوية الموجبة والمساحة المستوية السالبة ومتوسط سمك الجزر، ومتوسط عمق الخزان، (Ahmed and Saleh, 2024).

يعتبر التحليل الجيومتري وايجاد عناصره معياراً اساسياً في انتخاب الموقع الأمثل والأنسب لبناء سد مقترح (AI-Jubouri, 2013). تعتبر تقنية التحليل الجيومتري باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) تعتبر من التقنيات الحديثة التي تستخدم بشكل محدود في العراق ودول العالم الاخرى (Ahmed and Saleh, 2024)، من بين الدراسات التي تناولت التحليل الجيومتري هي دراسة (Salih and Al-Tarif, 2012) التي تضمنت استخدام بيانات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في التحليل الهيدرومورفومتري والتحليل الجيومتري للمنخفضات حيث اوضحت هذه التحليلات دور مساهمة الودية الرئيسية في هيدرولوجية وادي الجرناف، كما اجري (Al-Jubouri, 2013) تحليلاً هيدرومورفومترياً وجيومترياً لخزان سد ابو خشب المقترح جنوب شرقي تكريت وحساب كمية الايراد المائي السنوي المتوقع بغية الاستفادة من مياه الامطار الموسمية واستغلالها من خلال بناء سد ابو خشب في ثلاثة مواقع مقترحة، درس (Salih, 2014) بدراسة هيدروجيومترية لاختيار المنسوب الافضل لخزان سد مكحول واشتملت الدراسة على تحليل متغيرات مكانية لمستويات مختارة من الخزان. انجز (Al-Shahry, 2016) دراسة تضمنت تتبع فيضان نهر دجلة في بيحي وخزان سد مكحول المقترح للتشغيل الافتراضي للسد. تناولت دراسة (Al-Karai et al., 2016) ايضا التحليل الجيومتري لموقع سد الجرناف المقترح في الشرقاط وخلصت الدراسة الى انشاء قاعدة بيانات لتحقيق مشروع استراتيجي يدعم استثمار وتطوير الموارد المائية في الشرقاط. وقد اجري (Saleh et al., 2018)، دراسة جيومترية لخزان سد الوند في ديالى، حيث تم استخدام انظمة تحليل مكانية لاستخراج مساحة خزان من (26) مستوى مختار ابتداء من مستوى (195m) إلى (219.5m) فوق مستوى سطح البحر، وتناول البحث دراسة المتغيرات المكانية عند هذه المستويات المختارة. تضمنت دراسة (Abdallah et al., 2021)، التي تضمنت طريقة (اسلوب) التحليل الجيومتري للتحقق من قدرة سد الصد (الحماية) في الفتحة للحد من انهيار سد مكحول. وتوصل (Hussein and Salih, 2023)، الى طريقة تضمنت استخدام تقنية المركبات الجوية غير المأهولة (UAV) في انتاج خرائط طبوغرافية عالية الدقة وانشاء نموذج ارتفاعات رقمية (DEM) وتحليل هذا النموذج الارتفاع الرقمي واستخلاص عناصر جيومترية. اما دراسة (Badowi et al., 2023)، فقد تناولت التحليل المكاني للعناصر الجيومترية لخزان سد بادوش شمالي العراق، كما أجرى (Laurence, 2007) دراسة لخزان سد (Mokihinui) تمثلت باجراء تحليل للعناصر الجيومترية للخزان من اجل التنبؤ بالمشاكل الهندسية المحتمل حدوثها للانزلاقات الارضية وتأثيرها على الخزانات. وقد اوجد (Mohammadzadeh-Habili et al., 2009) العلاقة بين سعة الخزان والمنسوب وتمثيل هذه العلاقة بيانياً وبشكل لوغارتمي لاستنباط معامل الشكل حيث يعتبر

من الخصائص الجيومترية الهامة للخزانات. بالرغم من التشابه في التحليل الجيومترى للمساحات الطبوغرافية المنخفضة بين خزانات وادي القصب المقترحة وخزانات السود الاخرى المذكورة انفاً، الا ان هدف الدراسة الحالية هو تخزين أكبر كمية من المياه للاستفادة منها في اوقات شحة الامطار مقارنة بالدراسات الاخرى والتي ركزت على تخمين حجم الخزين لكل منسوب. توفر برامج نظم المعلومات الجغرافية امكانية معالجة البيانات المأخوذة من نموذج الارتفاعات الرقمي بغية الحصول على المعلومات المطلوبة بشكل آلي واكثر سرعة وافضل دقة من الطرق اليدوية التقليدية (Mudhi et al., 2017)، فضلا عن اهمية هذه البرامج في تخطيط وادارة وتنفيذ المشاريع التي تتصف بالخصائص المكانية ولقدرتها على تجميع وادخال وتنظيم وتبادل وتحديث البيانات المكانية واختصارا للجهد والكلفة وبدقة وكفاءة عالية في تنفيذ المشاريع الهندسية (Mohammed and Abdilamer, 2012)، لذلك تم استخدامها في الدراسة الحالية في التحليل الجيومترى لمواقع مختارة لحصاد مياه الامطار في حوض وادي القصب شمالي العراق، اضافة الى استخدام وايجاد العناصر الجيومترية والعلاقات فيما بينها والتي تتضمن الحجم الموجب (PV) (حجم الجزر ضمن الخزان)، الحجم السالب (NV) (حجم الخزين المائي)، المساحة السطحية الموجبة (PSA) (المساحة الجزر ضمن الخزان)، المساحة السطحية السالبة (NSA) (مساحة قاع الخزان او المساحة المبتلة)، المساحة المستوية الموجبة (PPA) (مساحة مساقت الجزر في حدود الخزان)، معدل العمق للخزان (AD) لغرض تقييم هذه الخزانات من الناحية الجيومترية.

موقع منطقة الدراسة

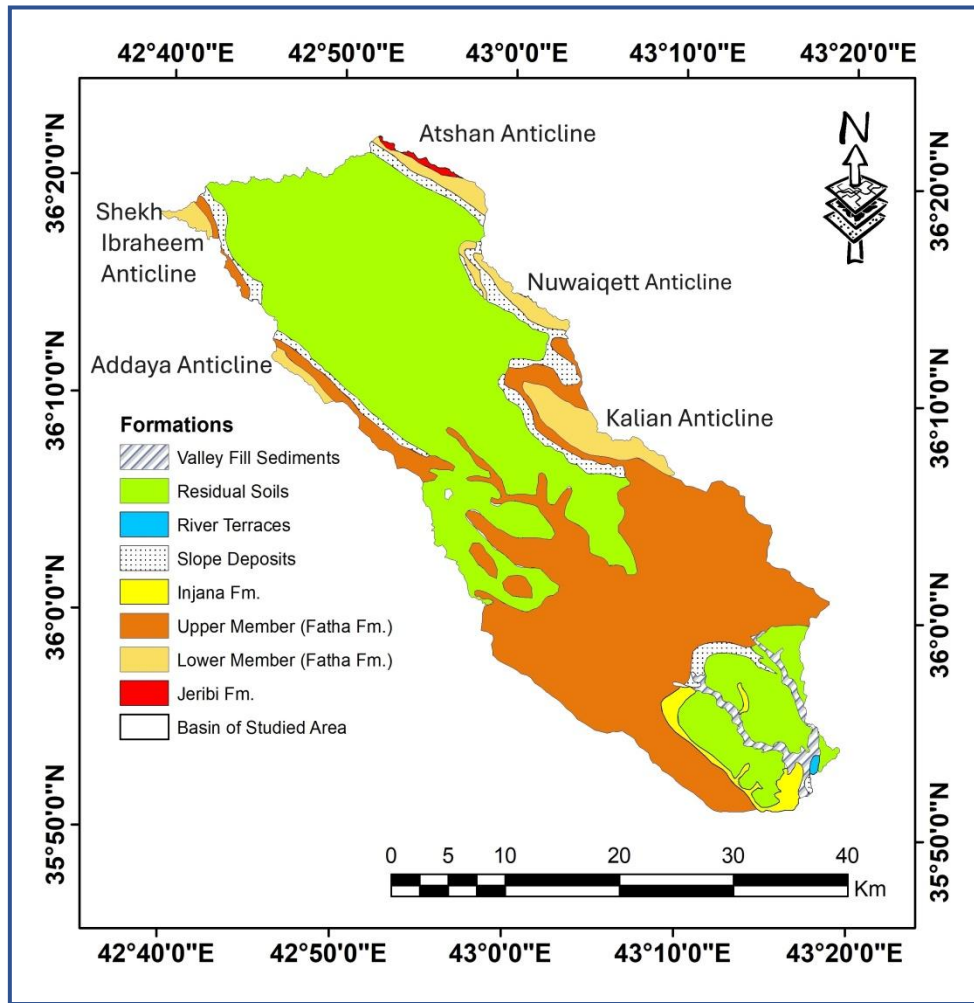
يقع حوض وادي القصب شمالي العراق الى الجنوب الغربي من مدينة الموصل بحوالي (30 Km)، احداثيات المنطقة بوحدات (UTM) هي (290134) و (349722) متر شرقاً، (3967462) و (4026784) متر شمالاً، وتكون منطقة اعالي الحوض محصورة بين كل من الطيات (عطشان، شيخ ابراهيم، نويقيط، عداية، قليان والقصب) مما يشكل حوضاً متميزاً بخصائصه الجيومورفولوجية والهيدرولوجية ويصب الحوض في نهر دجلة بالقرب من قرية الحود، (الشكل 1).



الشكل 1. خارطة موقعية لمنطقة الدراسة

الوضع الجيولوجي

تميزت منطقة حوض وادي القصب بأنها مغطاة بترسبات يعود زمنها للفترة ما بين عصر المايوسين الاوسط وحتى العصر الرباعي (Lower Miocene-Quaternary) والصخور المنكشفة في المنطقة هي صخور رسوبية يعود زمنها الى تكاوين الجريبي (Jeribi Formation) الذي ينكشف في لب الطيات المحدبة مثل طية شيخ ابراهيم، طية عطشان، طية نويقيط (Al-Salim, 2011)، وكذلك صخور تكوين الفتحة (Fat'ah Formation) الذي ينكشف في معظم طيات منطقة الدراسة مثل طية شيخ ابراهيم، طية عطشان، طية نويقيط، طية قليان و طية عداية (Al-Sayyab et al., 1982) فضلا عن صخور تكوين انجانة الذي يوجد في منطقة الدراسة بشكل محدود ويمتاز بقلة سماكته وانحساره على مساحة قليلة اضافة الى ترسبات العصر الرباعي التي تتألف من تربة متبقية، رواسب ملئ الوديان، رواسب السهل الفيضي، المدرجات النهرية ورواسب المنحدرات (الشكل 2).

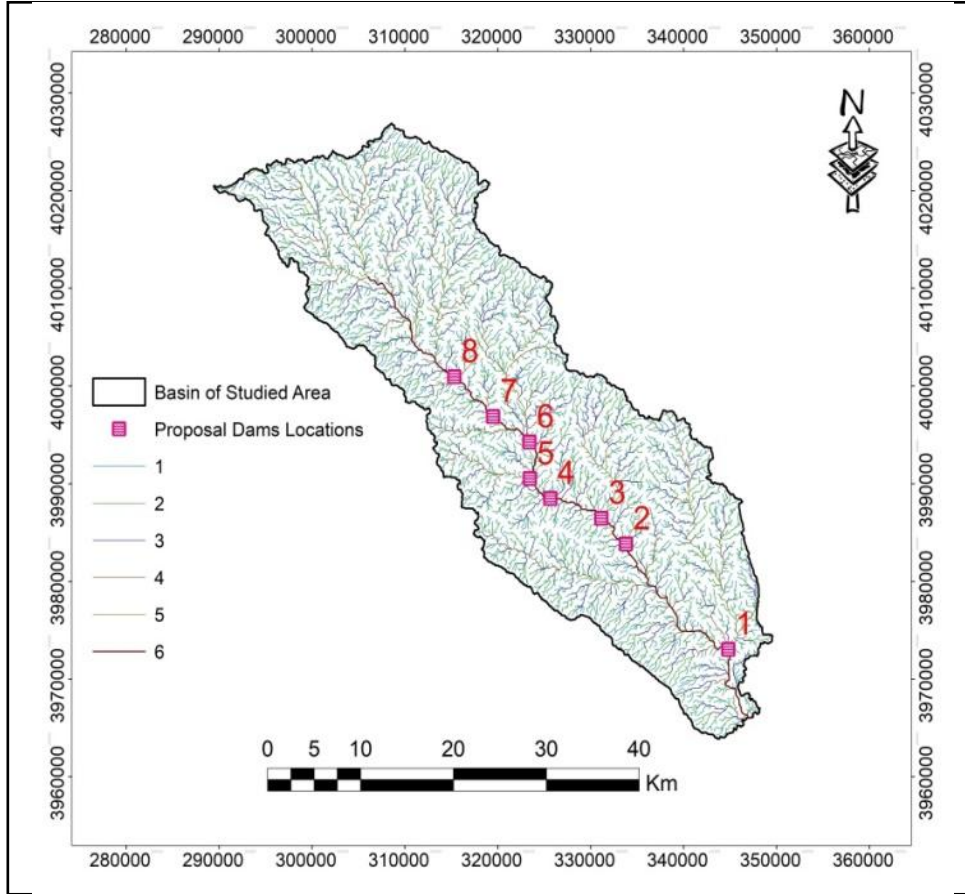


الشكل 2. خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة محورة عن (Sissakian et al. 1995)

جيومورفولوجية وطبوغرافية منطقة الدراسة

ان جيومورفولوجية المنطقة ذات اهمية كبيرة في عملية حصاد المياه، فمن خلال الخرائط الطبوغرافية والبيانات الفضائية وكذلك من خلال نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) والملاحظات الحقلية، تبين ان جيومورفولوجية منطقة الدراسة ملائمة لخزن مياه الامطار اذ ان وجود المرتفعات تعتبر مناطق تغذية وذات ساقط مطري وفير في موسم سقوط الامطار حيث بلغ اعلى ارتفاع بالحوض (550m) عن مستوى سطح البحر ووجود الاراضي المنخفضة والوديان حيث بلغ اخفض

منطقة بالحوض حوالي (135m) عن مستوى سطح البحر. تم اشتقاق شبكة التصريف لحوض وادي القصب من نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model DEM) وتبين ان الحوض من الرتبة السادسة للرتب المائبة بالاعتماد على طريقة (Strahler, 1975)، وتأخذ شبكة التصريف نمطا متوازيا (Parallel Pattern) عند اجنحة الطيات مثل طية عطشان، طية عداية، طية نويقيط، بينما تأخذ نمطا شجريا (Dendritic Pattern) في وسط الحوض، وتزداد كثافة التصريف باتجاه الوادي الرئيسي للحوض، وان الانحدار العام للحوض هو باتجاه نهر دجلة (الشكل 3).



الشكل 3. الشبكة النهرية لحوض وادي القصب موضعا عليها خزانات سدود مقترحة لحصاد مياه الامطار في وادي القصب

الهدف من الدراسة

ان الھف من هذه الدراسة والتي تميزت بها عن غيرها من الدراسات الاخرى هو استخدام تقنية جديدة تمثلت بإجراء تحليل جيومتري لخزانات سدود مقترحة لحصاد مياه الامطار في وادي القصب واستخدام نموذج ارتفاعات رقمية بقدرة تمييز عالية (10m*10m) فضلا عن استخدام جهاز حديث لتحديد المواقع (Differential GPS) من نوع (E600 GNSS Receiver) وايجاد العناصر الجيومترية والعلاقات فيما بينها والتي تتضمن الحجم الموجب (PV) (حجم الجزر ضمن الخزان)، الحجم السالب (NV) (حجم الخزين المائي)، المساحة السطحية الموجبة (PSA) (المساحة الجزر ضمن الخزان)، المساحة السطحية السالبة (NSA) (مساحة قاع الخزان او المساحة المبتلة)، المساحة المستوية الموجبة (PPA) (مساحة مساقط الجزر في حدود الخزان)، معدل العمق للخزان (AD) لغرض تقييم هذه الخزانات من الناحية الجيومترية.

المواد وطرائق العمل

تم تحديد مواقع السدود بالاعتماد على المشاهدات الحقلية ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومراعاة ان تكون هذه المواقع تمثل اقصر الخوانق، عميقة وضيقة، قادرة على تكوين خزانات ذات سعة تخزين كبيرة على طول المجرى الرئيسي

لوادي القصب، قريبة من القرى المجاورة لوادي القصب وقريبة من طرق المواصلات قدر الامكان. تم اجراء مسح حقلي طبوغرافي للمقاطع في ثمانية مواقع مقترحة لأنشاء سدود حصاد مياه الامطار على وادي القصب باستخدام جهاز تحديد المواقع Differential GPS من نوع (E600 GNSS Receiver) وهو جهاز استقبال لتحديد المواقع بطريقة الرصد المتحرك بالتصحيحات اللحظية بدقة عالية ثابتة وغير مسبوقه (1cm) يستخدم هوائي عالي الدقة يمكنه من استقبال الارصاد من جميع منظومات الاقمار الصناعية الحالية وهو من انتاج شركة E-Survey الصينية (لوحة 1). تضمنت طريقة اخذ مقاطع الوديان بتعيين نقطة على الكتف الايمن للوادي والتحرك بشكل مستقيم وصولا الى الكتف الايسر للوادي وبطريقة (distance interval) وبفاصلة مكانية قدرها (1m).



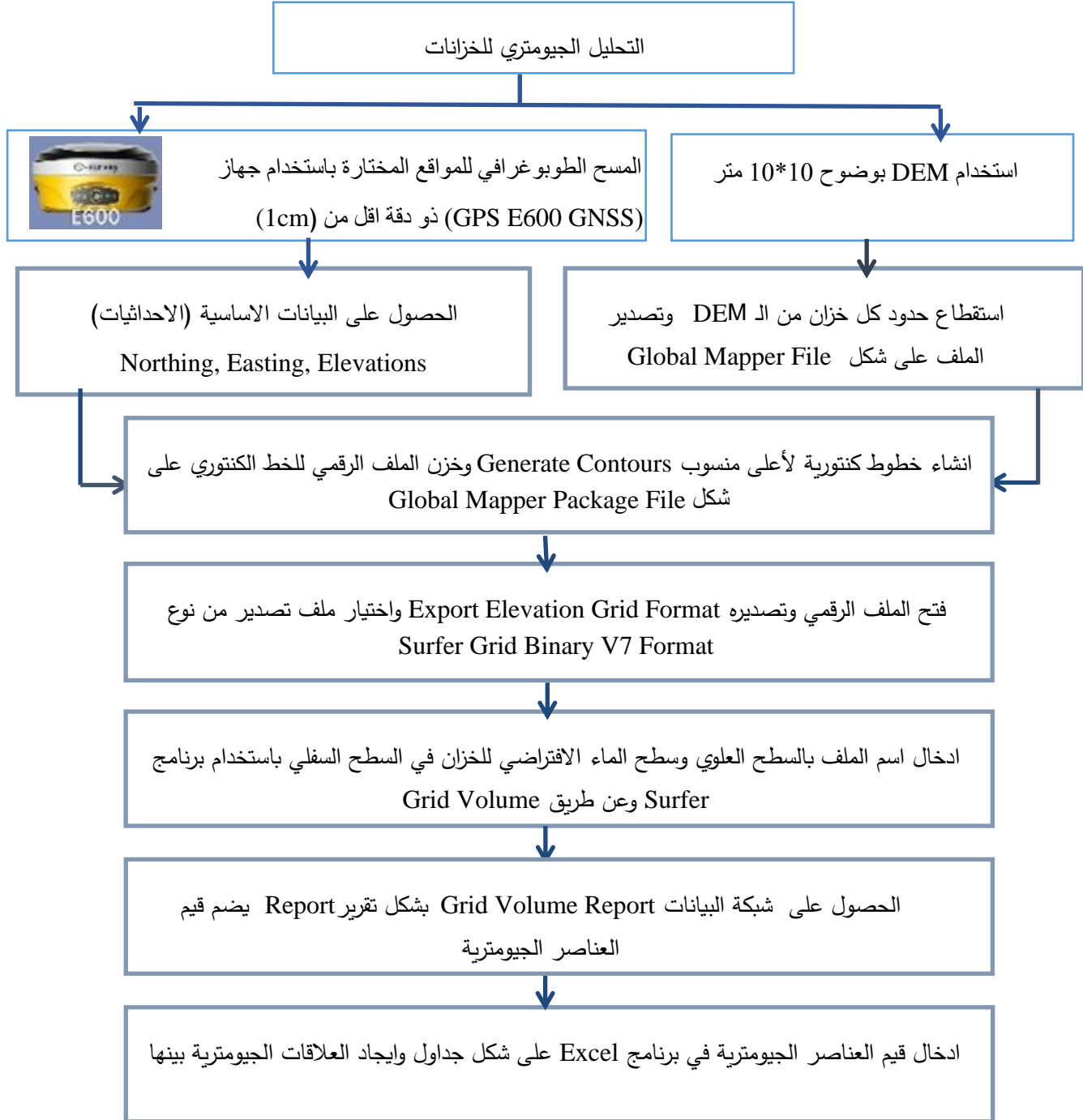
لوحة 1. Differential GPS (E600 GNSS Receiver) يستخدم لأغراض المسح الميداني

تم استخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) Digital Elevation Model ذو الدقة (10x10 m) لكل وحدة صورية وبرامج تطبيقية جيولوجية ومكانية مثل (Global Mapper V.20, ArcMap V.10.7.1, Surfer V.13) لمعالجة نموذج الارتفاع الرقمي واستخلاص العلاقات بين العناصر الجيومترية بكل خزان مائي من خزانات السدود في المواقع المقترحة الثمانية في وادي القصب (الشكل 4) وكما مبين ادناه:

1. بعد اجراء المسح الميداني لمنطقة الدراسة باستخدام جهاز تحديد المواقع Differential GPS من نوع (E600 GNSS Receiver) ، تم ادخال هذه البيانات الى جهاز الحاسوب وباستخدام برنامج (Global Mapper V.20)، تم استقطاع نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لحدود كل خزان مائي في كل موقع من مواقع السدود المقترحة وتصديره على شكل ملف (Global Mapper Package File).
2. تعيين نقطة على كتف وادي القصب ومن ثم تعيين النقطة الاخرى على الكتف الايسر لمجرى الوادي (لكل موقع من مواقع السدود المقترحة).
3. انشاء وتوليد خطوط كنتورية عند اعلى منسوب (لكل موقع من مواقع السدود المقترحة) لغرض تحديد قيم العناصر الجيومترية عن طريق الامر (Generate Contours).
4. خزن الملف الرقمي للخط الكنتوري على شكل (Global Mapper Package File).
5. فتح هذا الملف الرقمي واختيار الامر (Export Elevation Grid Format) ومن ثم اختيار نوع الملف (Surfer Grid (Binaryv7 Format) الذي سوف يستخدم في برنامج (SurferV.13) لإيجاد قيم العناصر الجيومترية.
6. من خلال برنامج (Surfer) يتم حساب المساحات والحجوم للعناصر الجيومترية، حيث ان البيانات التي تم استقطاعها من برنامج (Global Mapper) يتم تصديرها بصيغة (Surfer Grid File) وبعد فتح برنامج (SurferV.13) يتم استدعاء هذه البيانات وباستخدام الامر (Grid-Volume) نقوم بادخال اسم الملف في السطح العلوي وفي السطح السفلي ندخل سطح الماء الافتراضي للخزان من اجل الحصول على ملف شبكة البيانات (Grid Volume Report).
7. من خلال برنامج (SurferV.13) نحصل على تقرير يتضمن قيم العناصر الجيومترية الحجمية والمساحية مثل الحجم الموجب (PV) والحجم السالب (NV) والمساحة المستوية السالبة (NPA) والمساحة المستوية الموجبة (PPA)

والمساحة السطحية السالبة (NSA) والمساحة السطحية الموجبة (PSA) للجزر ضمن محيط الخزان وعمق الماء في الخزان.

8. ادخال قيم العناصر الجيومترية التي حصلنا عليها من الخطوة السابقة في برنامج (Excel) على شكل جداول ومن خلال البرنامج يتم ايجاد العلاقات بين هذه العناصر الجيومترية (الجدول 1).



الشكل 4. مخطط انسيابي يوضح منهجية التحليل الجيومترى

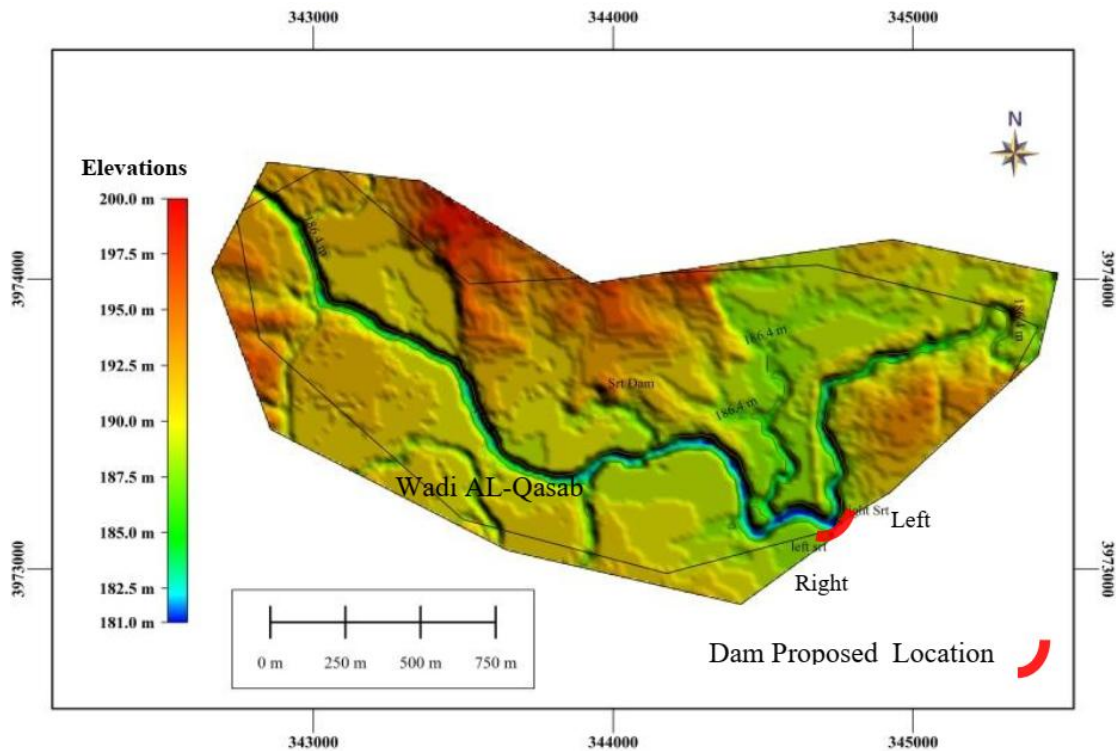
الجدول 1: بيانات العناصر الجيومترية لخزانات السدود في المواقع المقترحة الثمانية لوادي القصب

اسم الموقع / القرية	المنسوب m.a.s.l	الحجم الموجب m ³	الحجم السالب m ³	المساحة لمستوية الموجبة m ²	المساحة لمستوية السالبة m ²	المساحة السطحية الموجبة m ²	المساحة السطحية السالبة m ²	معدل العمق m
1/سرت	188	801.9	41832	498	133916	513.6	136375	3.12
2 /نزارة	230.5	23428	4786497	40895	1226278	40978.5	1234892	3.90
3/المخلط	237.5	569	1613258	2222	544630	2226.5	546359	2.96
4/ الشك	249.5	346	910166	180	276049	182.0	277725	3.29
5/ دحلة	261	49.9	54265	10	16822	11.2	16989	3.22
6/سن الذبان	272	135	260826	37	80413	38.4	81543	3.24
7/المرج	276	174	66521	93	30556	95.0	30834	2.17
8/ابو جرادي	289	47	46115	14	25633	13.7	25773	1.79

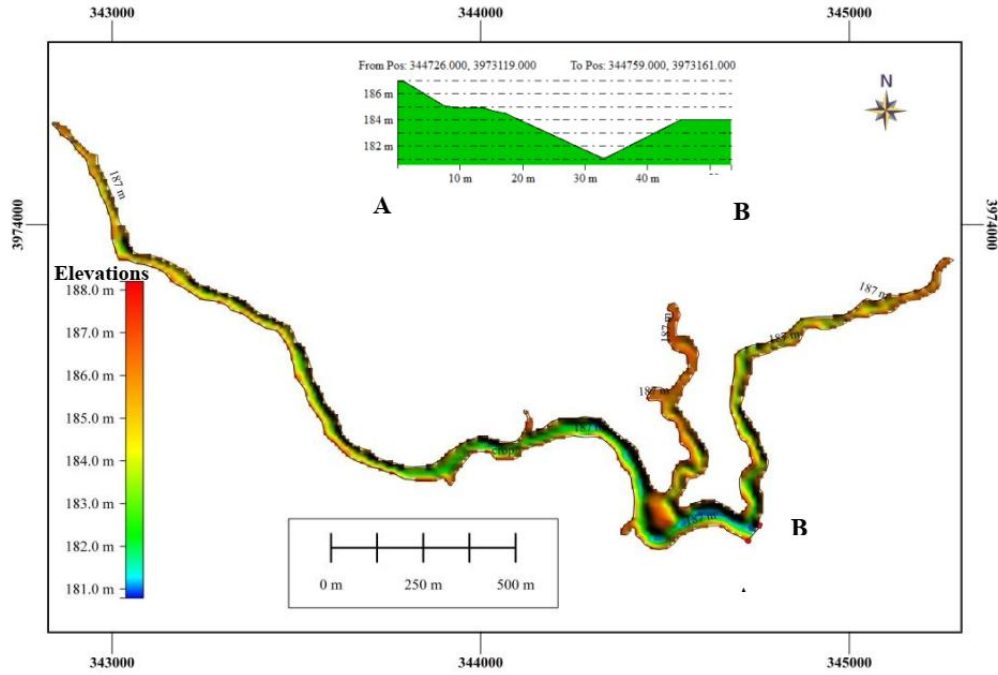
النتائج والمناقشة

الموقع الاول:

يقع موقع السد المقترح في قرية سرت (عند مصب وادي تل واعي في وادي القصب) واحداثيات الموقع هي (X: 344758, Y: 3973161)، بلغت مساحة الجابية لهذا الموقع (1290 km²)، الوادي الرئيسي شكله ملتوي ويكون اتجاهه العام من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي، وادي تل واعي الفرعي الذي يجري من الشمال الشرقي باتجاه الجنوب الغربي يصب في وادي القصب الرئيس عند موقع السد الذي ينعطف من ثم ليجري من الشمال الى الجنوب (الشكل 5). بلغ اقصى حجم خزين لخزان السد في هذا الموقع (418325.6 m³)، اقصى مساحة سطحية (136375.9m²)، اقصى حجم موجب (حجم الجزر) هو (801.9 m³) عند المنسوب (188m)، الحجم السالب (حجم الخزين) (418325.6 m³)، المساحة المستوية السالبة (133915.9 m²) وبمعدل عمق (3.12m) اذ بلغ اقصى عمق عند صدر السد حوالي (7m)، طول الخزان الواقع على مجرى تل واعي (1200m)، بينما طول الخزان الواقع على امتداد وادي القصب (2400m)، عرض الوادي (47m)، (الشكل 6).



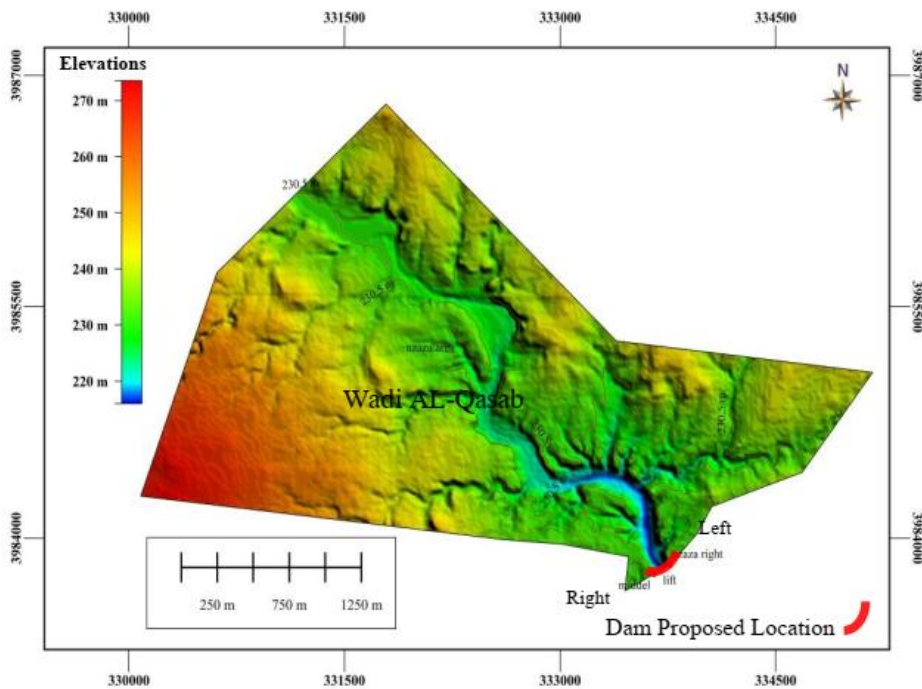
الشكل 5. موقع السد في الموقع المقترح الاول



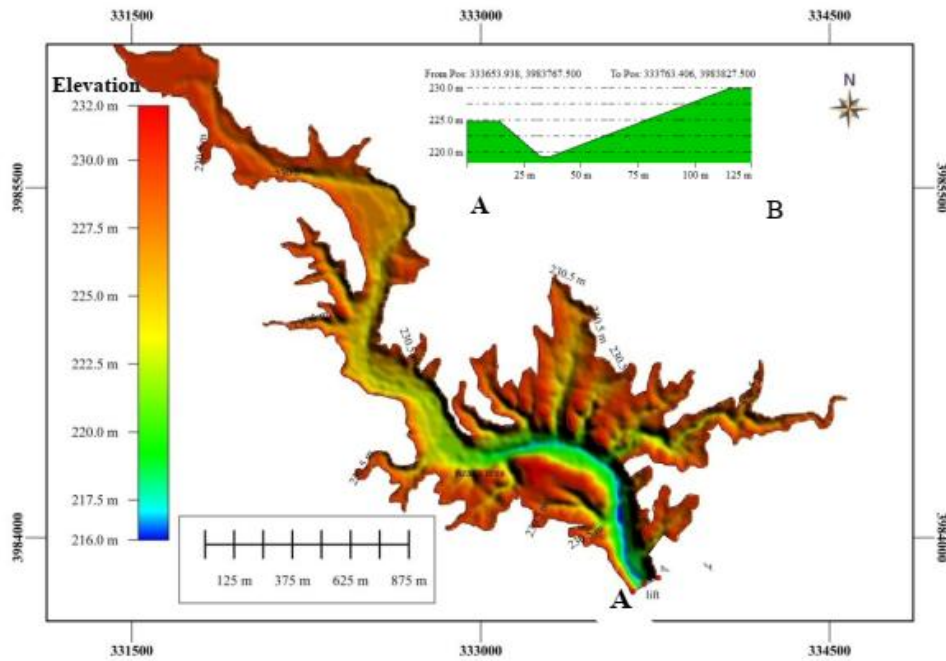
الشكل 6. خزان السد في الموقع المقترح الاول

الموقع الثاني:

يقع موقع السد المقترح في قرية نزازة على المجرى الرئيسي لوادي القصب، بإحداثيات (X: 333763, Y: 3983827)، مساحة الجابية (901.7 km²)، الوادي يكون عميقاً ويجري من الشمال الغربي باتجاه الجنوب الشرقي، وشكل الوادي متعرج خصوصاً في وسط الوادي (الشكل 7)، بلغ أقصى حجم خزين لهذا الخزان (4786497.5 m³)، أقصى مساحة سطحية (1234892m²)، أقصى حجم موجب هو (23428m³) عند المنسوب (232m)، الحجم السالب(حجم الخزين) (4786497 m³)، المساحة المستوية السالبة (1226277 m²)، معدل العمق (3.9m)، اذ بلغ أقصى عمق عند صدر السد حوالي (14.5m)، طول الخزان (3500m)، عرض الوادي (118m)، (الشكل 8).



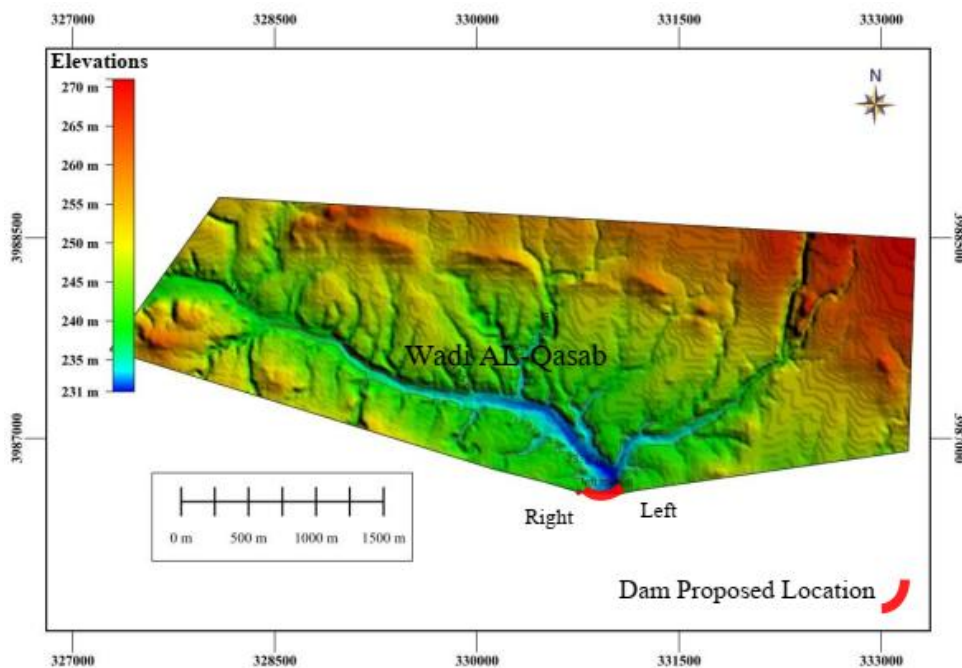
الشكل 7. موقع السد في الموقع المقترح الثاني



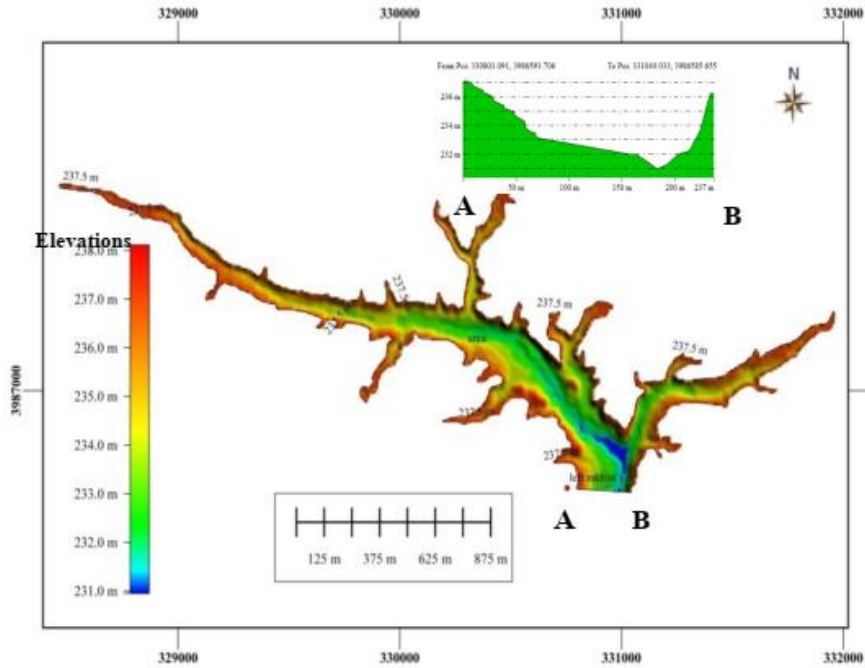
الشكل 8. خزان السد في الموقع المقترح الثاني

الموقع الثالث:

يقع موقع السد المقترح في قرية المخلط بعد النقاء الوادي القادم من قرية ابو فشكة مع وادي القصب الرئيسي، بإحداثيات (X: 331042, Y: 3986580)، مساحة الجابية (874.7 km²)، يجري الوادي من الشرق نحو الغرب (الشكل 9). بلغ أقصى حجم خزين لهذا الخزان (1613258.7m³)، أقصى مساحة سطحية (546359.2 m²)، أقصى حجم موجب (569.3m³) عند المنسوب (238m)، الحجم السالب (حجم الخزين) (1613258.7m³)، المساحة المستوية السالبة (544630 m²)، معدل العمق (2.9m)، اذ بلغ أقصى عمق عند صدر السد (7m)، طول الخزان الواقع على وادي ابو فشكة (1000m)، طول الخزان الواقع على مجرى وادي القصب (2650m)، عرض الوادي (300m)، (الشكل 10).



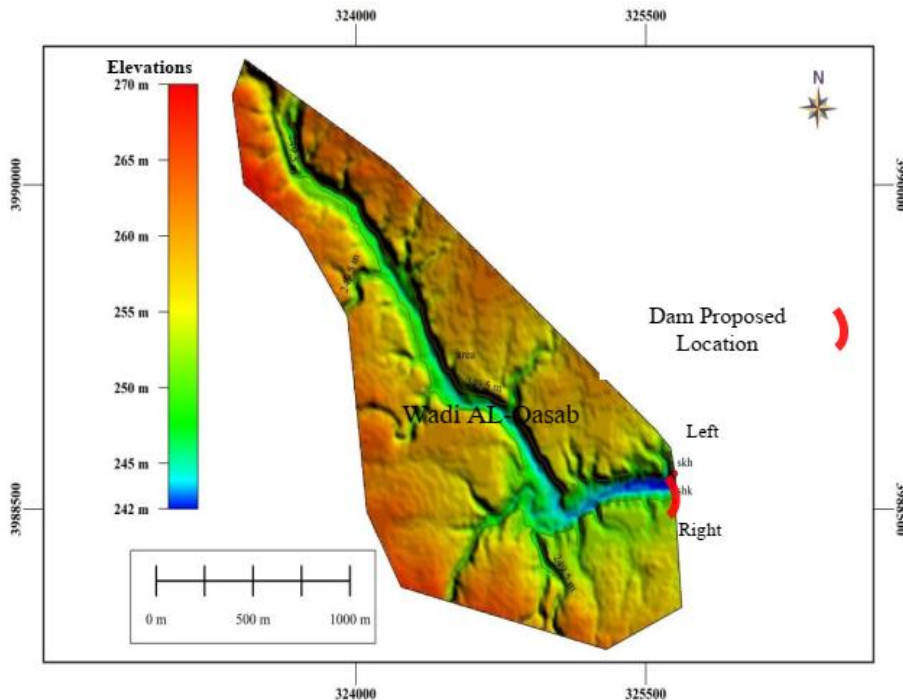
الشكل 9. موقع السد في الموقع المقترح الثالث



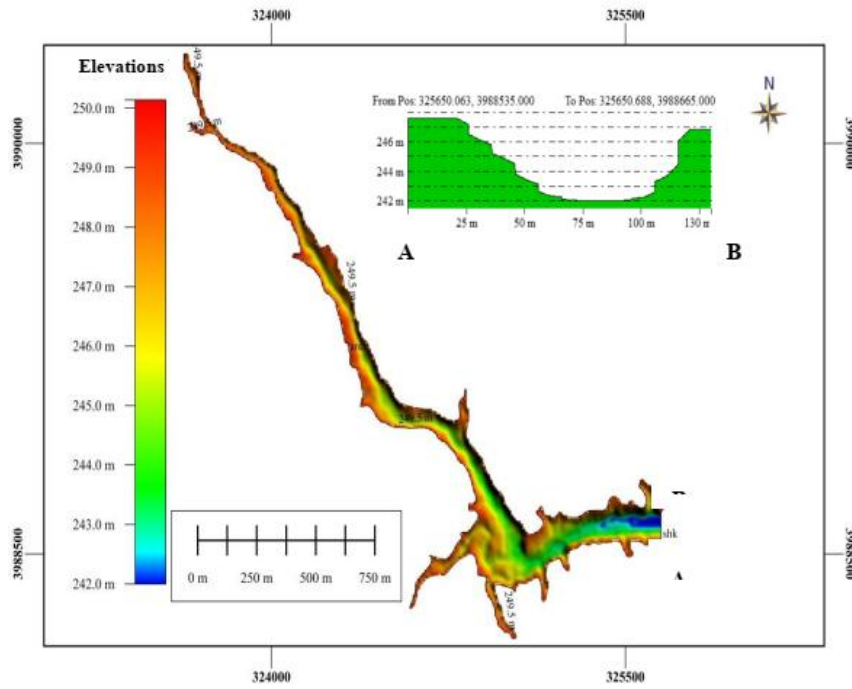
الشكل 10. خزان السد في الموقع المقترح الثالث

الموقع الرابع:

يقع موقع السد المقترح في قرية الشك باحداثيات (X:325650, Y:3988664)، مساحة الجابية (755.3 km^2)، وشكل الوادي في بدايته مستقيم تقريبا لكن قبل موقع السد بقليل ينحرف اتجاهه ليجري من الغرب الى الشرق (الشكل 11)، بلغ اقصى حجم خزين لهذا الخزان (910166.9 m^3)، اقصى مساحة سطحية (277725.7 m^2)، اقصى حجم موجب (346.6 m^3) عند المنسوب (250m)، الحجم السائب (حجم الخزين) (910166.9 m^3)، المساحة المستوية السالبة (276048.9 m^2)، معدل العمق (3.2m)، اذ بلغ اقصى عمق عند صدر السد حوالي (8m)، طول الخزان (3000m)، عرض الوادي (120m)، (الشكل 12).



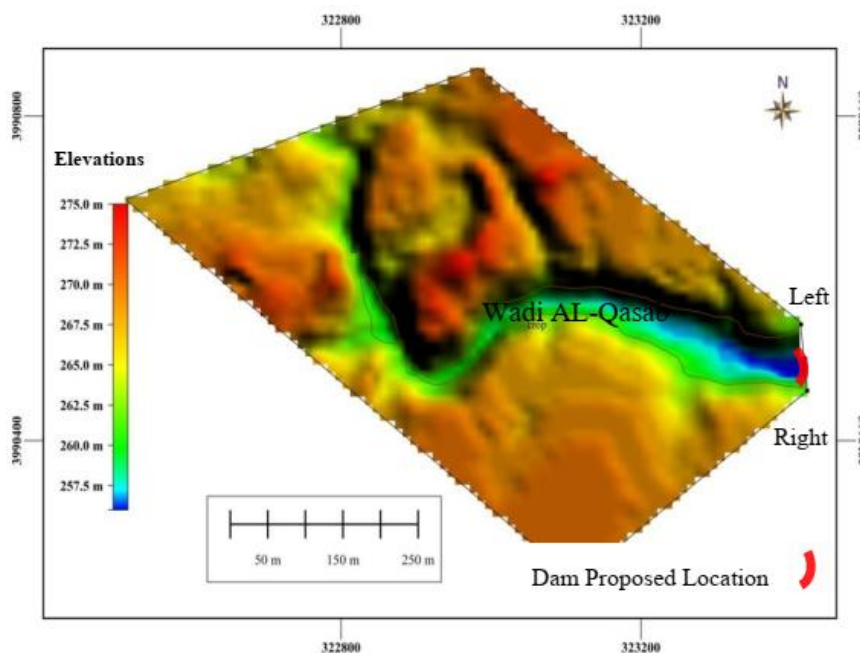
الشكل 11. موقع السد في الموقع المقترح الرابع



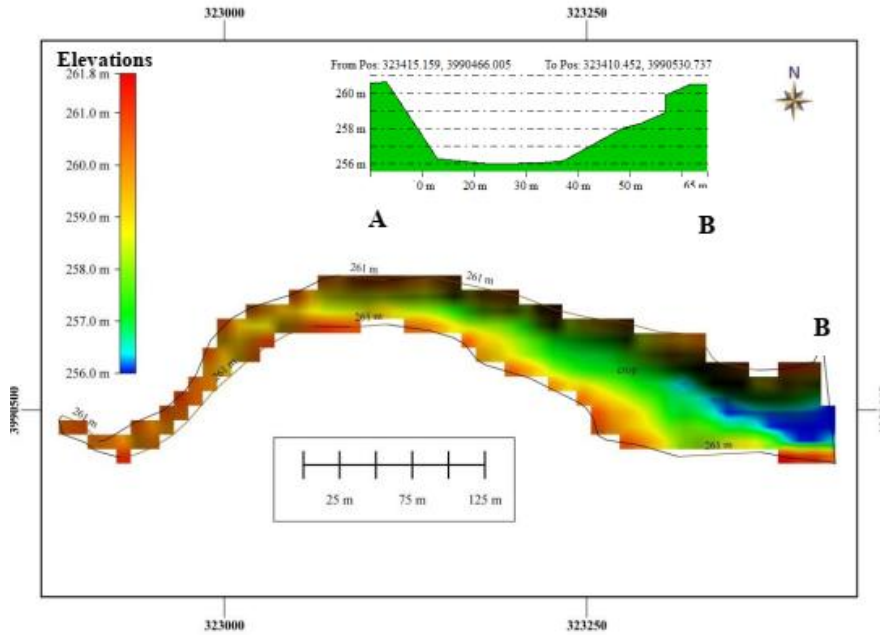
الشكل 12. خزان السد في الموقع المقترح الرابع

الموقع الخامس:

يقع موقع السد المقترح في قرية دحلة بإحداثيات الموقع (X:323413, Y: 3990543)، مساحة الجابية (687.8 km^2) ، يجري الوادي من الشمال الغربي باتجاه الجنوب الشرقي ويوجد التواء شديد في وسط الوادي ثم يغير الوادي اتجاهه ليكون من الغرب الى الشرق، معدل العمق $(54265.15 / 16821.97 = 3.22 \text{ m})$ ، (الشكل 13)، بلغ اقصى حجم خزين لهذا الخزان (54265.1 m^3) ، اقصى مساحة سطحية (16989 m^2) ، اقصى حجم موجب (49.9 m^3) عند المنسوب (261.8 m) الحجم السالب (حجم الخزين) (54265.1 m^3) ، المساحة المستوية السالبة (16821.9 m^2) ، معدل العمق (3.2 m) ، اذ بلغ اقصى عمق عند صدر السد حوالي (5.8 m) ، طول الخزان (550 m) ، عرض الوادي (80 m) (الشكل 14).



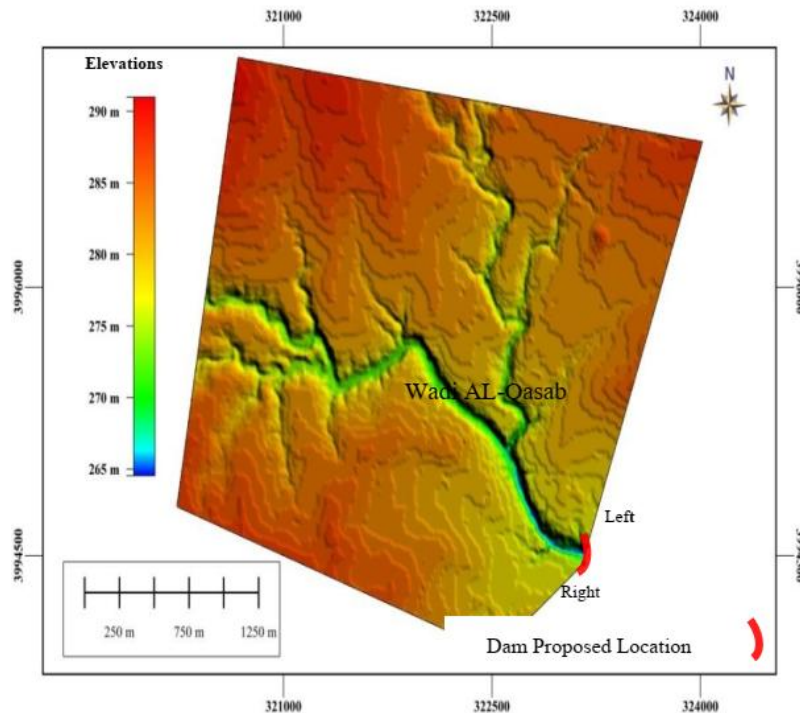
الشكل 13. موقع السد في الموقع المقترح الخامس



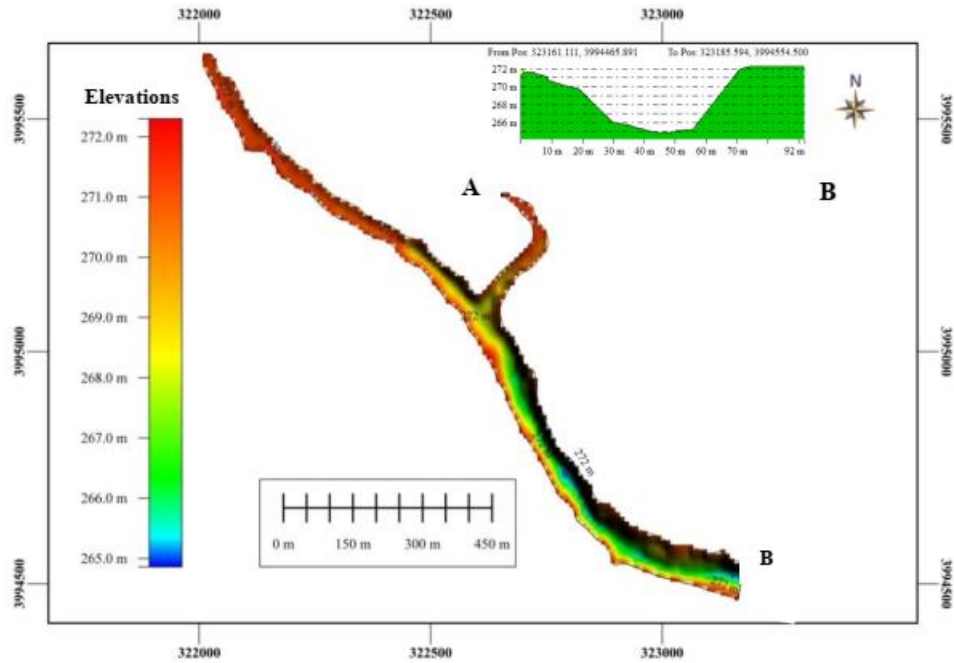
الشكل 14. خزان السد في الموقع المقترح الخامس

الموقع السادس:

يقع موقع السد المقترح في قرية سن الذبان بإحداثيات (X: 323185, Y: 3994554)، مساحة الجابية (658.3km^2)، يجري الوادي من الغرب الى الشرق وفي وسطه التواء ثم يغير اتجاهه من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي (الشكل 15)، بلغ اقصى حجم خزين لهذا الخزان (260826.8m^3)، اقصى مساحة سطحية (81543m^2)، اقصى حجم موجب (135.3m^3) عند المنسوب (272m)، الحجم السالب (الخزين) (260826.8m^3)، المساحة المستوية السالبة (80413.3m^2)، معدل العمق (3.2m)، اذ بلغ اقصى عمق عند صدر السد حوالي (7m)، طول الخزان (1500m)، عرض الوادي (90m)، (الشكل 16).



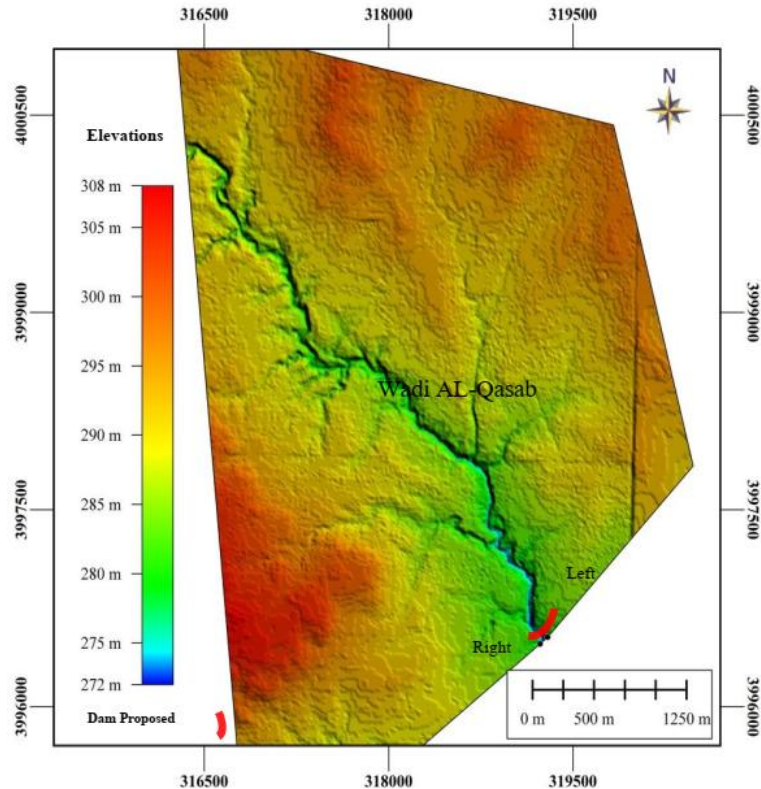
الشكل 15. موقع السد في الموقع المقترح السادس



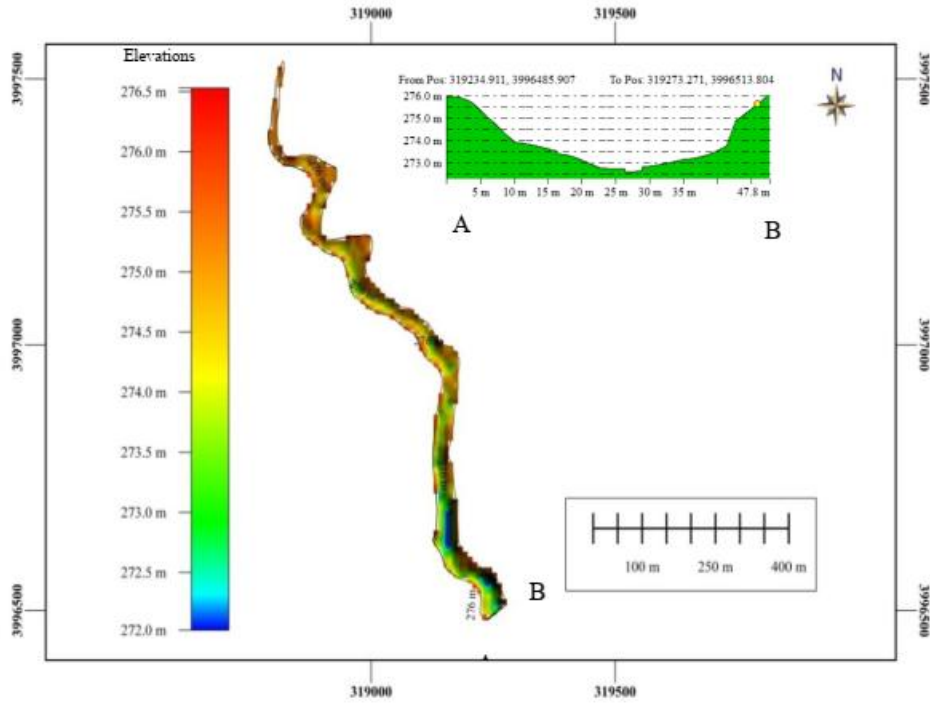
الشكل 16. خزان السد في الموقع المقترح السادس

الموقع السابع:

يقع موقع السد المقترح في قرية المرح باحداثيات (X: 319293, Y: 3996530)، مساحة الجابية (506.6km^2) ، يجري الوادي من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي ولا يحوي الوادي التواءات شديدة (الشكل 17)، بلغ اقصى حجم خزين لهذا الخزان (66521.0m^3) ، اقصى مساحة سطحية (30834.6m^2) ، اقصى حجم موجب (174.1m^3) عند المنسوب (276.5m) ، الحجم السالب (الخزين) (66521.0m^3) ، المساحة المستوية السالبة (30555m^2) ، معدل العمق (2.1m) ، طول الخزان (1000m) ، عرض الوادي (85m) ، (الشكل 18).



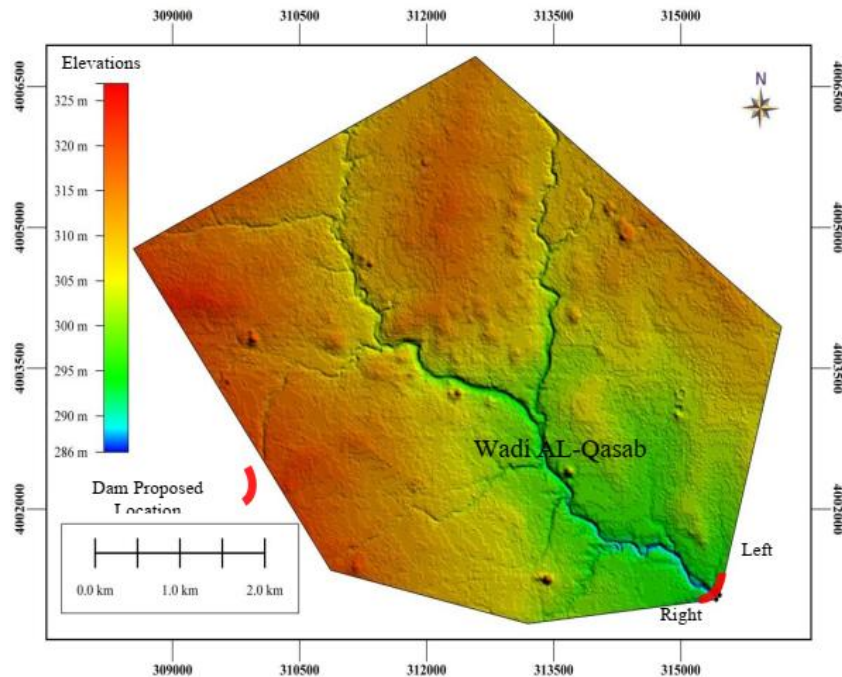
الشكل 17. موقع السد في الموقع المقترح السابع



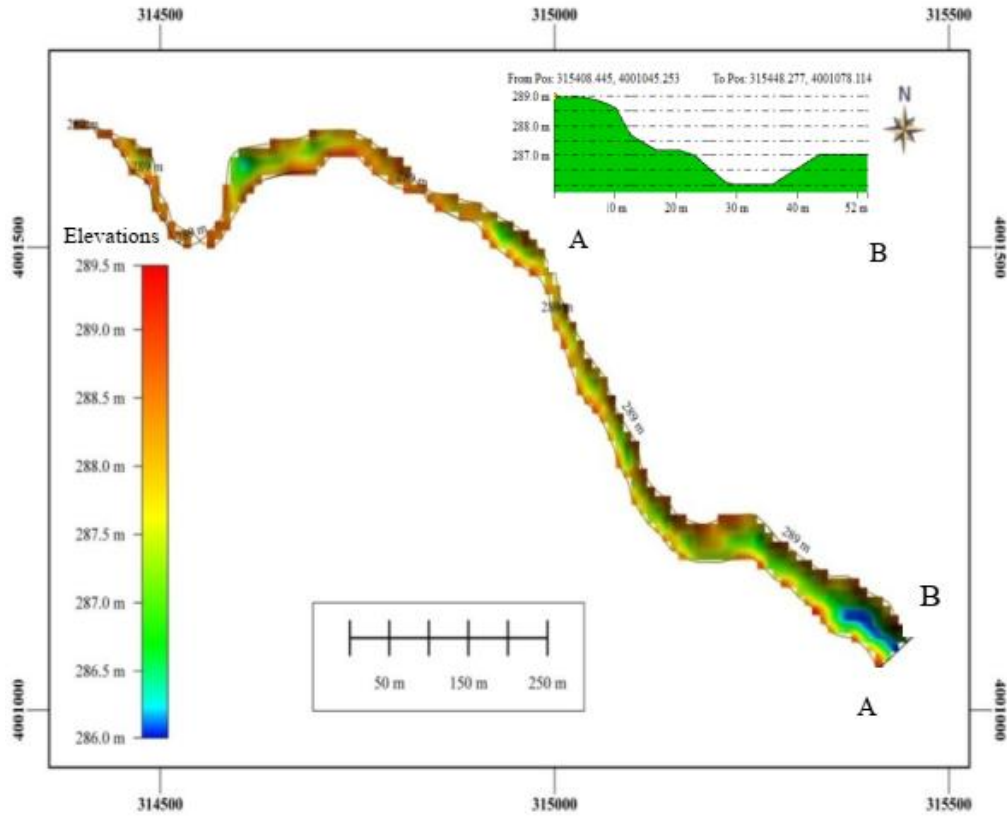
الشكل 18. خزان السد في الموقع المقترح السابع

الموقع الثامن:

يقع موقع السد المقترح في قرية ابو جرادي في اعلى حوض وادي القصب (upstream) ، وتكون احداثيات الموقع (X: 315458 Y: 4001088) ، مساحة الجابية (459.2 km²) ، يجري الوادي من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي ، معدل العمق هو (1.79 m) (46115.41/ 25632.72= 1.79 m) ، الشكل (19) ، بلغ اقصى حجم خزين لهذا الخزان (46115.4m³) ، اقصى مساحة سطحية (25773.4 m²) ، اقصى حجم موجب (47.5m³) عند المنسوب (289.5m) ، الحجم السالب (حجم الخزين) (46115.4m³) ، المساحة المستوية السالبة (25632.7) ، معدل العمق (1.7m) ، اذ بلغ اقصى عمق عند صدر السد حوالي (3.5m) ، عرض الوادي (39m) الشكل (20).



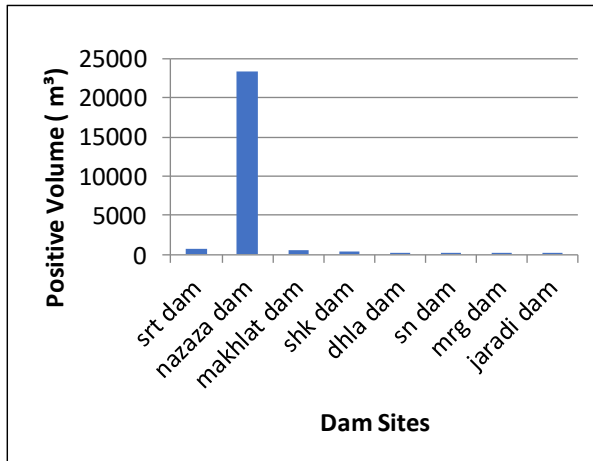
الشكل 19. موقع السد في الموقع المقترح الثامن



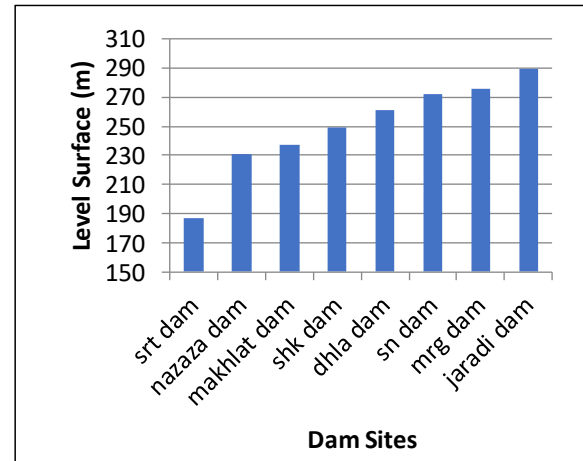
الشكل 20. خزان السد في الموقع المقترح الثامن

المناقشة

اظهرت نتائج الدراسة ان المنسوب يقل عند اسفل الحوض (downstream) باتجاه قرية سرت (188m) واقصى منسوب للخزانات يكون عند اعالي الحوض (upstream) باتجاه قرية ابو جرادي (290m)، (الشكل 21)، ان معظم مواقع السدود لاتحتوي جزر (حجوم الجزر قليلة جدا) ما عدا موقع نزارة الذي فيه جزيرة ذات مساحة واسعة (الشكل 22).

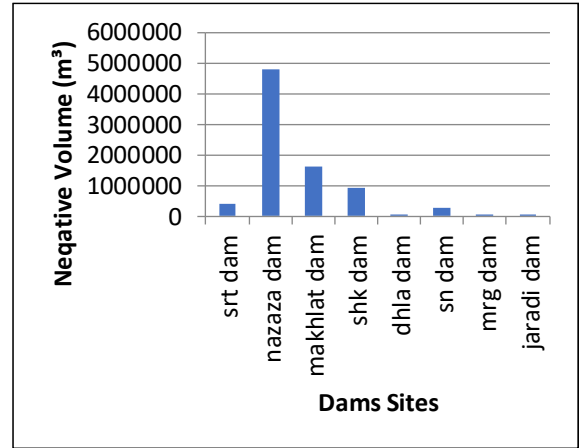
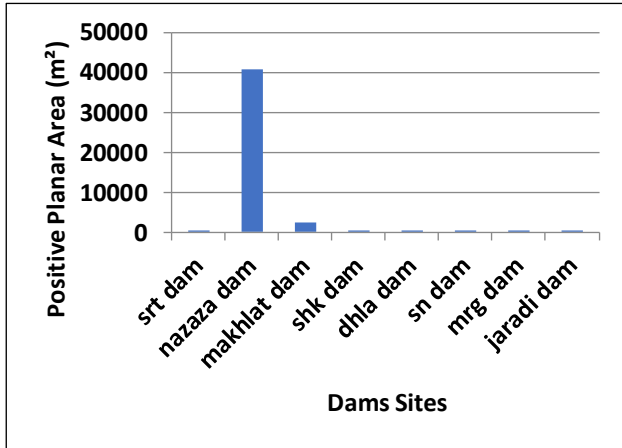


الشكل 22. العلاقة بين مواقع السدود والحجم الموجب



الشكل 21. العلاقة بين مواقع السدود واقصى منسوب

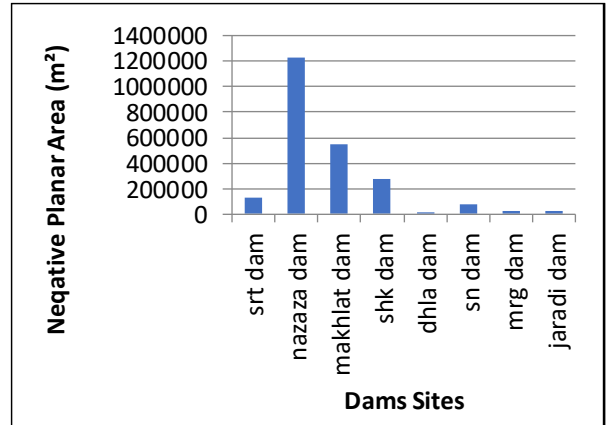
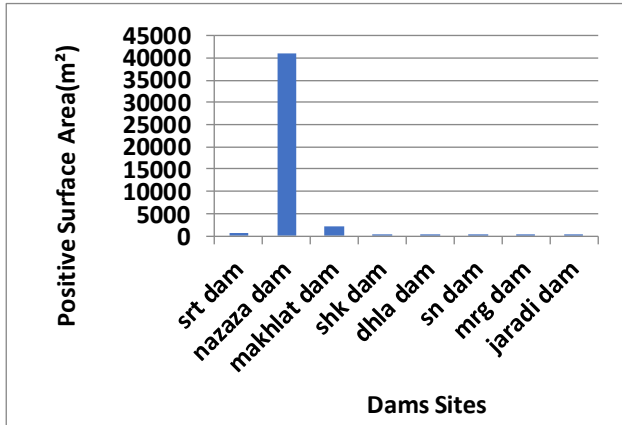
ان اقصى حجم خزين مائي (الحجم السالب) بلغ (4786497 m^3) في موقع نزازة بينما حجم الخزين المائي في بقية المواقع قليل مقارنة بموقع نزازة ، اما حجم الخزين المائي في موقعي الشك والمخلط فهو تقريبا متوسطة بين موقع نزازة وبقية المواقع (الشكل 23)، ان المساحة المستوية الموجبة (وتمثل مساحة مساقت الجزر في الخزان) وهي متوافقة مع الحجم فتكون اكبر ما يمكن في موقع نزازة حيث بلغت (40895 m^2) في حين بقية المواقع صغيرة جدا مقارنة بموقع نزازة (الشكل 24).



الشكل 24. العلاقة بين مواقع السدود والمساحة المستوية

الشكل 23. العلاقة بين مواقع السدود والحجم السالب(اقصى حجم خزين) الموجبة

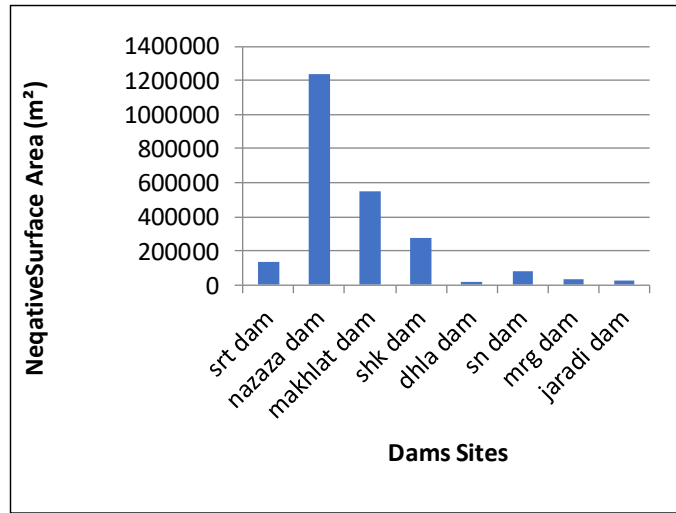
ان اكبر مساحة لسطح الماء في الخزان (وتمثل المساحة المستوية السالبة) موجودة في موقع نزازة ويليها موقع المخلط ثم الشك (متوافقة مع الحجم السالبة للخزانات)، (الشكل 25)، ان اكبر مساحة غير مستوية للجزر (المساحة السطحية الموجبة) تقع في موقع نزازة (متوافقة مع الحجم الموجبة للخزانات)، (الشكل 26).



الشكل 26. علاقة مواقع السدود والمساحة السطحية الموجبة

الشكل 25. علاقة مواقع السدود والمساحة المستوية السالبة

ان اكبر مساحة غير مستوية لقاع الخزان (المساحة السطحية السالبة) موجود في موقع نزازة ويليها موقع المخلط ثم موقع الشك (الشكل 27).



الشكل 27. علاقة مواقع السدود والمساحة السطحية السالبة

ركزت الدراسة على التحليل الجيومتري لخزانات سدود مقترحة لحصاد مياه الامطار في مواقع مختارة على حوض وادي القصب دون التطرق الى التكاليف الإنشائية الامر الذي يتطلب اجراء دراسة تتعلق بالكلف المادية لإنشاء هذه السدود.

الاستنتاجات

يعتبر وادي القصب من المناطق الزراعية حيث يعتمد سكان القرى المحيطة به على مياه الامطار بشكل رئيسي وعدد محدود من الابار المحفورة، تبلغ مساحة حوض وادي القصب (1345Km²) ويعتبر من الاحواض الكبيرة المهمة في غربي محافظة نينوى، لذلك من الاهمية بمكان الاستفادة من هذا الحوض في عمل سدود حصاد مياه الامطار لتقليل الاخطار المحدقة بالقرى المحيطة بوادي القصب الناجمة عن الفيضانات في هذا الوديان الموسمية خلال موسم الامطار ولتوفير المياه (قدر الامكان) خلال فترة انقطاع الامطار. ان التحليل الجيومتري للخزانات المتولدة من عمل سدود حصاد المياه في وادي القصب مهم جدا لانه يوفر معلومات اولية للخصائص الجيومترية قبل انشاء هذه السدود، فالخصائص الحجمية والمساحية هي المرتكزات الاساسية في الدراسات الجيومترية وعلى اساسها تبنى وتصمم سياسة تشغيلية للخزانات وهي التي تسيطر على التغيرات التي تحدث في استعمال الاراضي بعد ملئ الخزانات. اظهرت نتائج التحليل الجيومتري لخزانات سدود حصاد مياه الامطار في مواقع مختارة لحوض وادي القصب ان خزان الموقع الثاني في قرية نزاة يمثل افضل الخزانات حيث بلغ اقصى حجم خزين لهذا الخزان (4.786.497m³) وبمعدل عمق (3.9m) واكبر مساحة مستوية موجبة (مساحة مساقط الجزر في الخزان) بلغت (40895 m²) واكبر مساحة مستوية سالبة (مساحة سطح الماء في الخزان) بلغت (1,226,277 m²) واكبر مساحة سطحية سالبة (المساحة الغير مستوية لقاع الخزان) بلغت (1,234,892 m²). توصي الدراسة انه من الافضل للجهات المستفيدة او صناع القرار التوجه الى الموقع الثاني في قرية نزاة لإنشاء سد حصاد مياه الامطار في وادي القصب قبل غيره من المواقع الاخرى.

References

- Abdallah, S.S., Ali, B. A. D. R., and Ahmed, M.M., 2021. Study of Geometric Elements for the Proposed Protecting Dam Reservoir in Al-Fat'ha Area, Iraq. In E3S Web of Conference (Vol. 318, p. 01009). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131801009>

- Ahmed, B.I. and Saleh, S.A., 2024. Geometric Analysis of the Proposed Al-Baghdadi Dam Reservoir, Anbar Governorate, Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 100-110. <https://doi.org/10.46717/igj.57.1A.9ms-2024-1-20>
- Al-Jubouri, A.H.M., 2013. Hydromorphometric and geometric analysis of the Abu Khashab Dam reservoir, southeast of Tikrit/Iraq, University of Tikrit, College of Science, MSc Thesis (unpublished). (In Arabic).
- Al-Karai, N.A.K., Al-Jubouri, A.G.A., and Al-Kaisi, M.Q., 2016. Geometrical Analysis of the proposed Al-Jurnaf Dam site /Al-Sharqat, northern Iraq. *Tikrit Journal of Pure Science*. Vol.2, No.21, pp. 112-135. (In Arabic).
- Al-Karai, N.A.K., 2021. Geomorphological and Geometric Study of the Bakhma Dam Reservoir/Erbil. University of Tikrit, College of Education for Humanities, PhD Thesis (unpublished). (In Arabic).
- Al-Salim, T.H., 2011. Rainwater harvesting of Wadi Al-Kassab catchment's area by weir construction, West of Mosul City, North of Iraq. *Journal of Geology and Mining Research*, 3(12), 318-324. <https://doi.org/10.5897/JGMR11.013>.
- Al-Sayyab, A., Al-Ansary, N., Al-Rawi, Dh., Al-Jassim, J., Al-Omary, F., and Al-Shaeikh, Z., 1982. *Geology of Iraq*, Dar Al-Kutub for Printing and Publishing, University of Mosul, 280 P. (In Arabic).
- Al-Shahry, G.S.N., 2016. Flood Routing of Tigris River in Baiji Station and Makhoul Dam Reservoir Under Supposed Operation of the Dam, University of Tikrit, College of Science, MSc Thesis (unpublished). (In Arabic).
- Badowi, M.S., Saleh, A., and Abood, M.R., 2023. Spatial analysis for geometric parameters of Badush dam reservoir, Mosul, Northern Iraq. *Tikrit Journal of Pure Science*, 28(6), pp. 112-121. <https://doi.org/10.25130/tjps.v28i6.1391>.
- Day, T., 2010. *Strahler's Physical geography*, New York: Wiley (1951; 1960; 1969; 1975). *Progress in Physical Geography*, 34(4), pp. 587-594.
- Hussein, A.J. and Salih, S.A., 2023. Unmanned Aerial Vehicle Derived DEM Using in Accurate Geometric Analysis for Water Harvesting in Small-Scale Depressions. *The Iraqi Geological Journal*, pp. 82-94. <https://doi.org/10.46717/igi.56.2E.6ms-2023-11-11>.
- Laurence, C., 2007, *Effect of landslides on dam reservoir, Mokihinui Dam*, Opus International Consultants Limited, internal technical report, Wellington, New Zealand.
- Mohammed, S.R. and Eyad, Abdilamer, 2012. Using Geographic Information Systems to create a database for project management in Baghdad Governorate (Al-Rusafa). *Journal of Engineering*. Vol.18. No.10, pp. 208-232. (In Arabic).
- Mohammadzadeh-Habili, J., Heidarpour, M., Mousavi, S.F. and Haghiabi, A.H., 2009. Derivation of reservoir's area-capacity equations. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(9), 1017-1023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000074](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000074)
- Mudhi, R.H., Salih, S.A. and Arzouki, R.H., 2017. The use of digital elevation model and GIS for geometric analysis of the water reservoir to feed the hypothetical irrigation project west Makhoul in Salahddin province. *Tikrit Journal of Pure Science*. Vol.3, No.22, pp. 130-139. (In Arabic).
- Saleh, S.A., Qadir, I.T.A., Ibrahim, A.M. and Hussain, H.M., 2018. Geometric investigation of Al-Wind Dam reservoir Northeastern Iraq, using digital elevation models and spatial

analyses system. Tikrit Journal of Pure Science, 23(3), pp. 75-86.
<https://doi.org/10.25130/tjps.v23i3.503>.

Salih, L.M., 2014. Hydrological and geometric study to select the optimal level for the Makhoul. University of Tikrit, College of Education for Humanities, PhD Thesis (unpublished). (In Arabic).

Salih, S.A. and Al-Tarif, A.S.M., 2012. Using of GIS spatial analyses to study the selected location for dam reservoir on Wadi Al-Jirnaf, West of Shirqat Area, Iraq. Journal of Geographic Information System, 4(2), pp. 117-127.
<https://doi.org/104236/jgis2012.42016>.

البحوث باللغة الانكليزية

Arabic Section



Mechanism of Hydrothermal Dolomitization in Shallow and Deep Burial Diagenesis: Implications for Hydrocarbon Migration in the Cretaceous Formation, NE-Iraq

Zana Muhammad¹ , Namam Salih^{2*} , Alain Preát³ 

¹ Department of Petroleum Geosciences, Science Faculty, University of Soran, Erbil, Iraq

² Department of Petroleum and Mining Engineering, College of Engineering, University of Soran, Erbil, Iraq.

³ Res. Grp. —Biogeochemistry and Modelling of the Earth System, Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium.

Article information

Received: 03- Feb -2025

Revised: 05- Mar -2025

Accepted: 29- Mar -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Saddle dolomitization,
Hydrothermal fluids,
early and late diagenesis,
shallow and deep reservoir
conditions,
inversion law,

Correspondence:

Name: Namam Salih

Email:

namam.salih@soran.edu.iq

ABSTRACT

Hydrothermal dolomitization (HTD) is a major diagenetic process of carbonate rocks, significantly impacting reservoir storage, reservoir quantity, and hydrocarbon migration. This paper adds a new insight in contrasting HTD mechanisms under shallow and subsurface deep settings, and focuses on dolomite characterization and properties in the Cretaceous Qamchuqa Formation. Shallow burial HTD produced four phases of saddle dolomites, SDI, SDII, SDIII, and SDIV. The deep burial HTD at least shows one type of saddle dolomitization phase, "SDs". The hydrothermal dolomitization in a shallow system, which is related to an open system, offers growth of large, well-formed dolomite crystals, forming massive dolomite bodies due to high fluid-rock interaction. In contrast, deep burial HTD occurring under elevated temperature is primarily driven by low fluid-rock interaction in a semi-open system. The semi-open system requires a high pressure that deformed the SD formation, which coincides with an increasing of the vertical stress. As a result, the SD formation is a transfer from a ductile phase to a brittle deformation, and led to an in-situ saddle brecciation, facilitating the creation of a conduit for fluid/hydrocarbon migration.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.61224](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.61224). ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

آلية الدلمة الحرارية المائية في عملية النشوء والتطور الضحلة والعميقة: الاستدلال على هجرة الهيدروكربونات في تكوين العصر الطباشيري، شمال شرق العراق

زانا محمد¹ ID، نام صالح² ID، آلان بريات³ ID

¹ قسم علوم الأرض البترولية، كلية العلوم، جامعة سوران، أربيل، العراق.

² قسم هندسة البترول والتعدين، كلية الهندسة، جامعة سوران، أربيل، العراق.

³ مجموعة أبحاث الكيمياء الحيوية الجيولوجية ونمذجة نظام الأرض، الجامعة الحرة في بروكسل، بروكسل، بلجيكا.

معلومات الاشارة	الملخص
تاريخ الاستلام: 03- فبراير - 2025	تعد عملية الدولوميت الحرارية المائية عملية تشخيصية رئيسية للصخور الكربوناتيّة، وتؤثر بشكل كبير على تخزين الخزانات وكميتها وهجرة الهيدروكربونات. تضيف هذا البحث نظرة ثاقبة جديدة في مقارنة آليات عملية الدولوميت الحرارية المائية في البيئات الضحلة والعميقة تحت السطح، وتركز على وصف الدولوميت وخصائصه في تكوين قمجوكا الطباشيري. أنتجت عملية الدولوميت الحرارية المائية للدفن أربع مراحل من الدولوميت السرجي: SDI و SDII و SDIII و SDIV. أظهرت عملية الدولوميت الحرارية المائية للدفن العميق على الأقل نوعاً واحداً من مراحل الدولوميت السرجي SDS. توفر عملية الدولوميت الحرارية المائية في النظام الضحل، والتي ترتبط بنظام مفتوح، نمو بلورات دولوميت كبيرة جيدة التكوين، وتشكل أجسام دولوميت ضخمة بسبب التفاعل العالي بين السوائل والصخور. على النقيض من ذلك، فإن عملية الدولوميت الحرارية المائية التي تحدث في درجات حرارة مرتفعة، مدفوعة في المقام الأول بتفاعل منخفض بين السوائل والصخور في نظام شبه مفتوح. يتطلب النظام شبه المفتوح ضغطاً عالياً يؤدي إلى تشوه تكوين SD، والذي يتزامن مع زيادة الإجهاد الرأسي. ونتيجة لذلك، فإن تكوين SD هو انتقال من مرحلة بلاستيكية إلى الحالة الهشة، مما يؤدي إلى كسر سرج في الموقع، مما يسهل إنشاء قناة لهجرة السوائل/الهيدروكربون.
تاريخ المراجعة: 05- مارس - 2025	
تاريخ القبول: 29- مارس - 2025	
تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026	
الكلمات المفتاحية: الدولوميت السرجي، السوائل الحرارية المائية، التشخيص المبكر والمتأخر، حالة الخزانات الضحلة والعميقة، قانون الانقلاب،	
المراسلة: الاسم: نام صالح Email: namam.salih@soran.edu.iq	

DOI: [10.33899/injes.v26i2.61224](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.61224), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

In recent years, petroleum exploration has progressed from shallow to deep reservoirs within worldwide petroliferous basins. Carbonates serve as the primary reservoirs for petroleum exploration, drilling, and production. Carbonate reservoirs comprise porous dolomites, which are partially of hydrothermal origin (Davies and Smith, 2006; Salih et al., 2019a). To develop a model for the dolomitization process, particularly hydrothermal dolomitization, which may be of major economic importance (Shah et al., 2012), Comprehensive integration tools are necessary. Hydrothermal dolomitization (HTD) is typically influenced by basement faults and is extensively examined as a unique phenomenon on a worldwide scale (Davies and Smith, 2006; Barale et al., 2016; Salih et al., 2019b; Salih, 2023; Koeshidayatullah et al., 2020). HTD generally occurs in extensional tectonic settings and can result in the development of remarkable porosity oil and gas reserves (Friedman, 2007). Meanwhile, the hydrothermal impact on carbonate reservoirs is complex, including constructive and destructive of any texture, including fracturing (Slater and Smith, 2012; Zhou et al., 2018). Hydrothermal fluids infiltrate the reservoirs, inducing substantial fluid/rock interaction that ultimately influences reservoir growth (Yang et al., 2024). The dissolution of carbonate rocks caused by these fluids

normally occurred in the vicinity of migration pathways (faults or others), which can enhance good porosity/permeability zones leading to valuable reservoirs (Liu et al., 2017). The hydrothermal alteration of carbonates has been documented in various basins, and its characterization is crucial for distinguishing conventional diagenetic evolution from hydrothermal processes that may positively or negatively influence the quality and performance of reservoirs (Machel et al., 2004; Davies and Smith, 2006; Wang et al., 2025).

Saddle dolomite is considered one of the major products and a key indicator of hydrothermal fluid involvement in a late diagenesis setting (Davies and Smith, 2006, Du et al., 2018). Variations in temperature and Mg²⁺ concentrations of the hydrothermal fluids result in diverse textures and filling sequences of dolomite precipitation (Guo et al., 2021). The saddle dolomites in the subsurface are linked to the matrix dolomites, which include two genetically distinct varieties: One is silt-fine crystalline dolomites (dolomudstones), resulting from early seepage-reflux dolomitization, for example, reported by Guo et al. (2021) in the Late Cambrian seawater in Tarim Basin, China. Recently, the origin of the HT dolomitization fluids in carbonate reservoirs attracted many researchers to characterize the diagenetic fluids in heterogeneous carbonate rocks. Many scholars provided a deep understanding of sources and paleo-temperature of HT fluids based on the geochemical data (Salih et al., 2021, Su et al., 2021, Li et al., 2024, Xu et al., 2025). The sources derived from high temperature and brine fluids, related to evaporative rocks (Carpenter, 1978, Zhang et al., 2009, Azmy and Conliffe, 2010), reflux of cold-meteoric fluids (Iannace et al., 2012) or microbial activity in environments conducive to sulfate-reducing species (Vasconcelos and McKenzie, 1997, Bontognali et al., 2010). However, the origin of HTD fluids remains debatable. Several researchers follow the abovementioned fluid sources to establish the paragenetic sequence (Salih et al., 2021, Li et al., 2024).

Paragenesis serves as a crucial indicator for understanding the intricate diagenetic phases, referred to as "subsequent events," occurring during the dolomitization process under subsurface settings. Comprehensive optical microscopy and supporting results from oxygen-carbon isotopes of saddle dolomite demonstrate the influence of hot fluids under the subsurface resulting from deep burial conditions. The fluids are directed through the fractures and pore spaces, corresponding with hydrocarbon migration (Salih, 2023). The dolomitization pathway significantly influences the formation, development, and distribution of dolomite, as well as dolomite reservoirs, resulting in an impact on the determination of exploration directions in targeted oil and gas fields (Shen et al., 2022). The Lower Cretaceous Qamchuqa Formation represents a significant reservoir in the Middle East, associated with the development of fracturing and dolomitization processes (Salih, 2022). The initial porosity of sedimentary successions filling a basin is controlled by depositional processes. To develop a diagenetic setting model in the Qamchuqa Formation, it is crucial to comprehend the origin and timing of fluid movement through the sedimentary rocks.

The Upper Qamchuqa Formation in NE Iraq is part of an extensive dolomitized carbonate platform developed during the Barremian – Albian over the passive continental margin of NE Arabia. The Hydrothermal (HT) in the Qamchuqa Formation has been studied well in exposed sections from the Kirkuk oil field, and might have a significant influence on reservoir petrophysics and quality (Salih, 2023). Therefore, HT is essential for carbonate reservoir formation, which could increase or decrease the HT fluid-rock interaction. This interaction usually produces typical saddle dolomites in hot setting conditions. To conduct any evaluation for secondary porosity in a reservoir, a deep petrographical observation has been carried out to characterize the diagenesis and establish the whole paragenesis to qualify the reservoir enhancement. The previous scholars have studied well the characteristics of HTD in shallow diagenetic settings, but not extended them to deep burial settings. Therefore, the novelty of our study is to show and present a comprehensive set of data comparing HTD in shallow and deep subsurface conditions. In brief, understanding the HT interaction with host reservoir rocks will

define the target in deep settings wells during exploration and even throughout the whole lifetime of any petroleum field.

Geological and geo-tectonic setting

The Early Cretaceous Arabian platform comprises a substantial sequence of dolomites and limestones. This sequence covers the majority of Iraq, a portion of southwestern Iran, the Arabian Gulf, and Saudi Arabia. In the Albian period, the Qamchuqa Formation was formed in a shallow water, low-energy lagoonal environment covering Dohuk, Mosul, Erbil, and Kirkuk. (Buday et al., 1980, English et al., 2015), with several sub-environments such as tidal flat, reef (barrier reef), lagoon, shoal, patch reef, and fore slope to ramp environments (Al-Juboury et al., 2006, Ameen, 2008; Al-Qayim et al., 2010). The Qamchuqa formation is one of the main reservoir rocks and displays a highly intercrystalline porosity with important large vuggy porosity linked to fracturing (Sadooni and Alsharhan, 2003).

The Taq Taq oilfield lies within the Zagros Sedimentary Basin along the Zagros thrust belt, which is a world-class hydrocarbon province located on the NE margin of the Arabian Platform. The structural characteristics in this field consist of an asymmetric double plunging anticline. The structure trends NW-SE, parallel to the main axis of the Zagros fold belt, and the structures at the Khabbaz, Chemchemal, Kirkuk, and Bai Hassan fields (Aqrabi et al., 2010). To the NE, a narrow syncline separates the Haibat Sultan ridge of the Khalakan anticline from the Taq Taq structure, with outcrop of Miocene, Eocene, Paleocene, and Late Cretaceous units. The basin is a characteristic foreland compressional basin created by the collision of the Afro-Arabian and Euro-Asian plates during the Late Cretaceous and Cenozoic times. The Qamchuqa Formation is the main reservoir at the Taq Taq oilfield and presents different thicknesses between 213 m and 219 m. It overlies the Cenomanian Dokan Formation (Al-Qayim and Rashid, 2012).

The Qamchuqa Formation at the Gali Ali Bag Gorge is located in the High Folded Zone within the NW segment of the Zagros Fold Thrust Belt (Al-Kadhimi et al., 1996, Machel et al., 2004, Jassim and Goff, 2006). This zone is considered to be a vast number of sub-parallel high amplitude anticlines and synclines. The fold trends exhibit an abrupt variation from NW-SE trend in the east of the study area to E-W oriented folds, curved trends toward the western part of the Zagros basin within the part of Zagros Fold Thrust Belt, accompanied by stresses that generated many thrust and transverse faults and fault-related folds. Moreover, several gorges in the high folded zone occur along the traverse normal and strike-slip faults (Alavi, 2004). The Lower Cretaceous Qamchuqa Formation (Barremian to Early Cenomanian) is a significant rock unit in terms of outcrop, thickness, and regional distribution in the NE Iraq-Kurdistan Region (Sissakian et al., 2015). In the Gali Ali Bag gorge, the exposure carbonates formed of several hundred meters of neritic, thickly-bedded shallow water platform settings of the Qamchuqa Formation (Fig. 1). The study area is located in the NW plunge of Korak anticline in High Folded Zone in NE-Iraq (Fig. 1). The Qamchuqa Formation is considered as a giant Cretaceous reservoir in Taq Taq and Kirkuk Oilfields, thickness is estimated to be nearly 600 m in the main reservoir region. This region is affected by diagenetic fluids of highly fractured and faulted dolostones of the Lower Cretaceous carbonates of the Qamchuqa Formation in the subsurface.

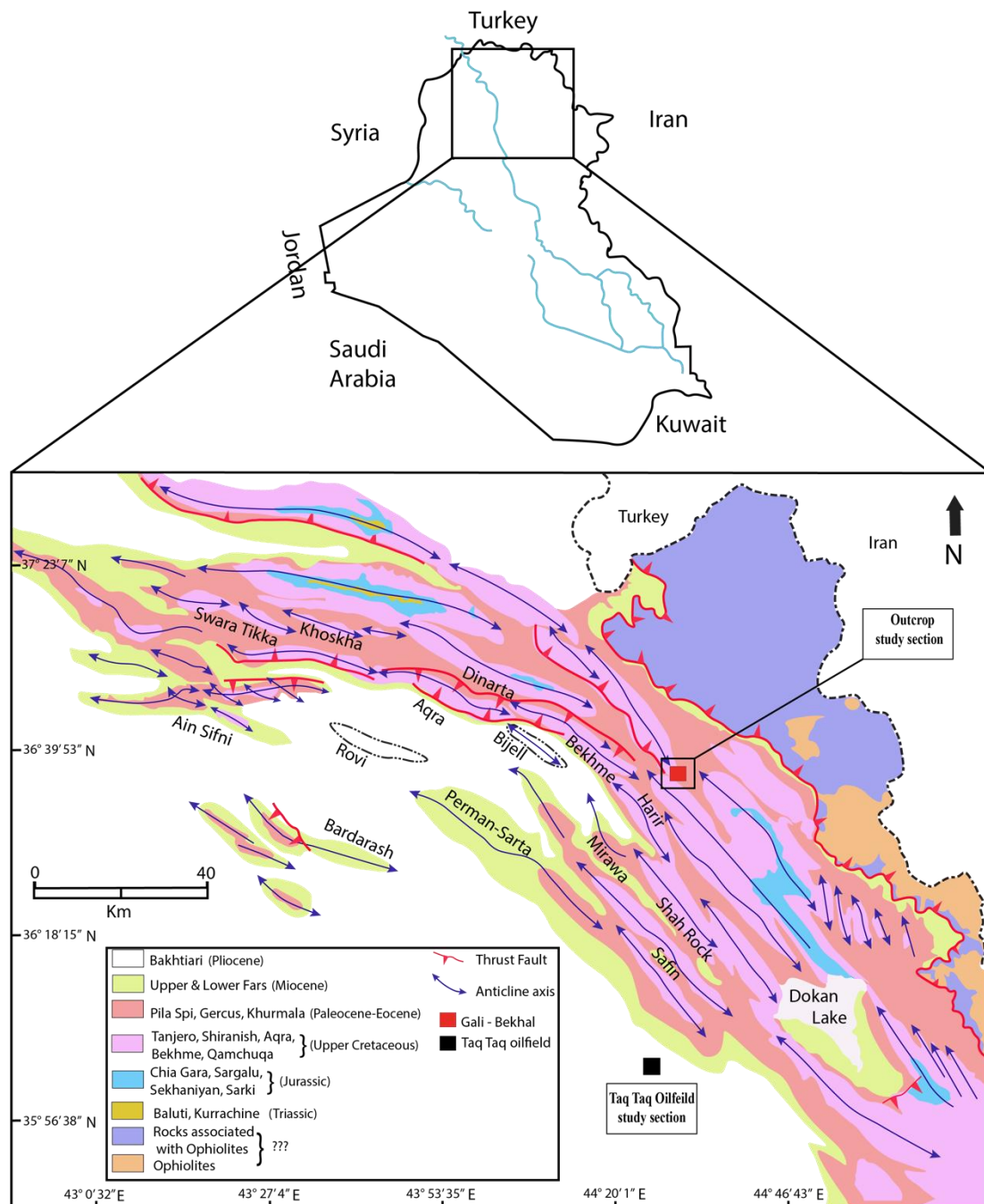


Fig 1. The geological and tectonic map illustrates the precise location of the studied sections, depicted as a (Green and black cubic) (Salih et al., 2019a).

Materials and Method

Extensive fieldwork was carried out at the studied outcrops in the Gali-Bekhal region (Fig. 1). Twenty-two samples belonging to the Qamchuqa Formation were collected from dolomites, limestones, and zebra dolomites to infer the direction of the hydrothermal fluid body that caused the dissolution and also the cementation at the origin of significant variations of diagenesis, which influenced the reservoir quality. In well 16 at Taq Taq Oilfield, 11 core samples were also collected from the Qamchuqa Formation. Thirty-nine thin sections (need a stratigraphic log of the well with location of samples and thin sections), prepared within the standard thickness of around 30 μm , for classical petrographic analysis (facies and diagenesis) utilizing an optical microscope (LEICA DM2700P), were utilized at the scientific research center in Soran University, Erbil, Iraq

Field observation

The Qamchuqa Cretaceous formation presents a diverse geological facies and textures, characterized by a variety of sedimentary and diagenetic processes influenced by tectonic activities. In the studied regions, such as the Zagros Foreland Basin in Iraq, the Cretaceous Qamchuqa Formation has been extensively altered and produced a complex diagenetic history. The main alteration is likely caused by hydro-fracturing and hydrothermal fluids (Fig. 2). Field observations in the studied section (Gali-Bekhal) frequently show an intermittent occurrence of zebra-like texture, hydro-brecciation texture, and voids and fractures-filling saddle dolomites following the horizontal direction of the formation along the whole road direction from Gali to Bekhal areas.

Six sites were sampled and investigated intensively for tracing the distribution of hydrothermal fluids and hydrothermal dolomitization (Fig. 3a-f). Starting from Gali, site 1 is started with dolomitic limestone and dolostone rocks, the rocks in places are cross-cut by several vines and small-sized fractures, and vuggy structures are also observed. The rapid changes were recorded in Site 2, where very coarse calcite crystalline cementation filled the chambers and void spaces inside the bioclasts, like rudists, forams, bryozoan, etc. Besides the cementation, the replacement process within the matrix of the rock is more prevalent and dominant. Obviously, in Site 3, the alternative occurrence of white and gray bands, named zebra texture, is the main signature that appears in this site. The white band-like layers are the fractures giving a parallel appearance to the bedding planes, these fractures filled by coarse crystalline dolomite, named saddle dolomite (Fig. 3a-d). The new HT indicator in Site 4 is the hydro-fracturing features, the host dolomite grains are floating within this texture and cemented by saddle grains (Fig. 3e-f). Site 5 is lacking any traces of hit dolomitizing fluids, only represented by host limestone and Marly limestone as well. While at the final Site (6), the HT fluid signatures again occurred, mostly zebra texture interbedded with thick-bedded dolomitic limestone. The Qamchuqa Formation at Taq Taq oilfield lacks any textural features of HT diagenetic fluids under a subsurface deep setting.

In the context of the high folded zone region of NE-Iraq, the Cretaceous formations, particularly the Qamchuqa Formation, have been identified as significant reservoirs for the reasons behind the undiscovered large part of oil and gas resources for this formation. The stratigraphic and diagenetic complexity and the presence of various lithologies and textures suggest a dynamic depositional and diagenetic environment influenced by both hydrothermal and tectonic processes during the Cretaceous interval.

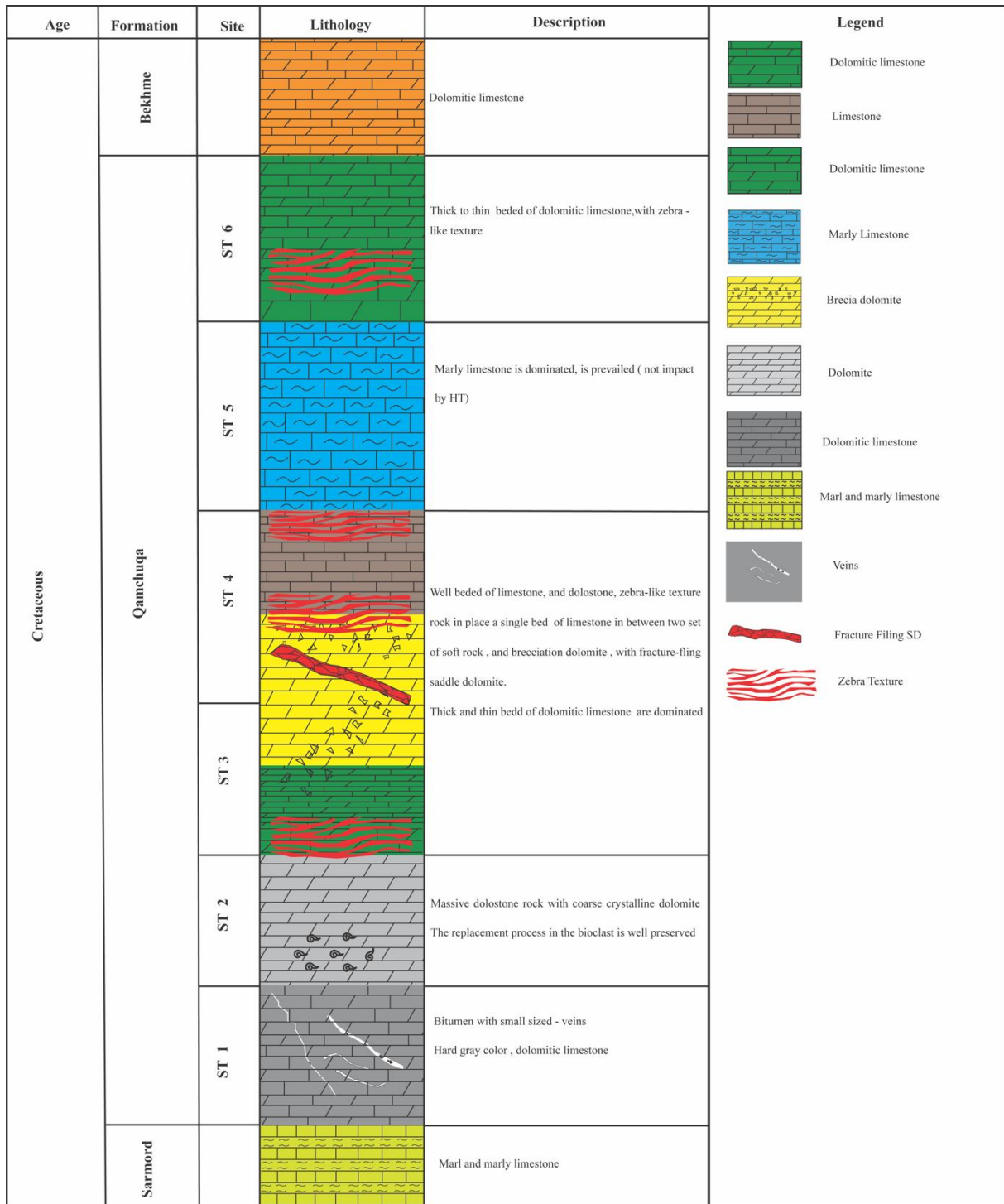


Fig 2. Columnar litho-facies of Qamchuqa Formation and the contact boundaries in the Gali-Bekhal section (not to scale).

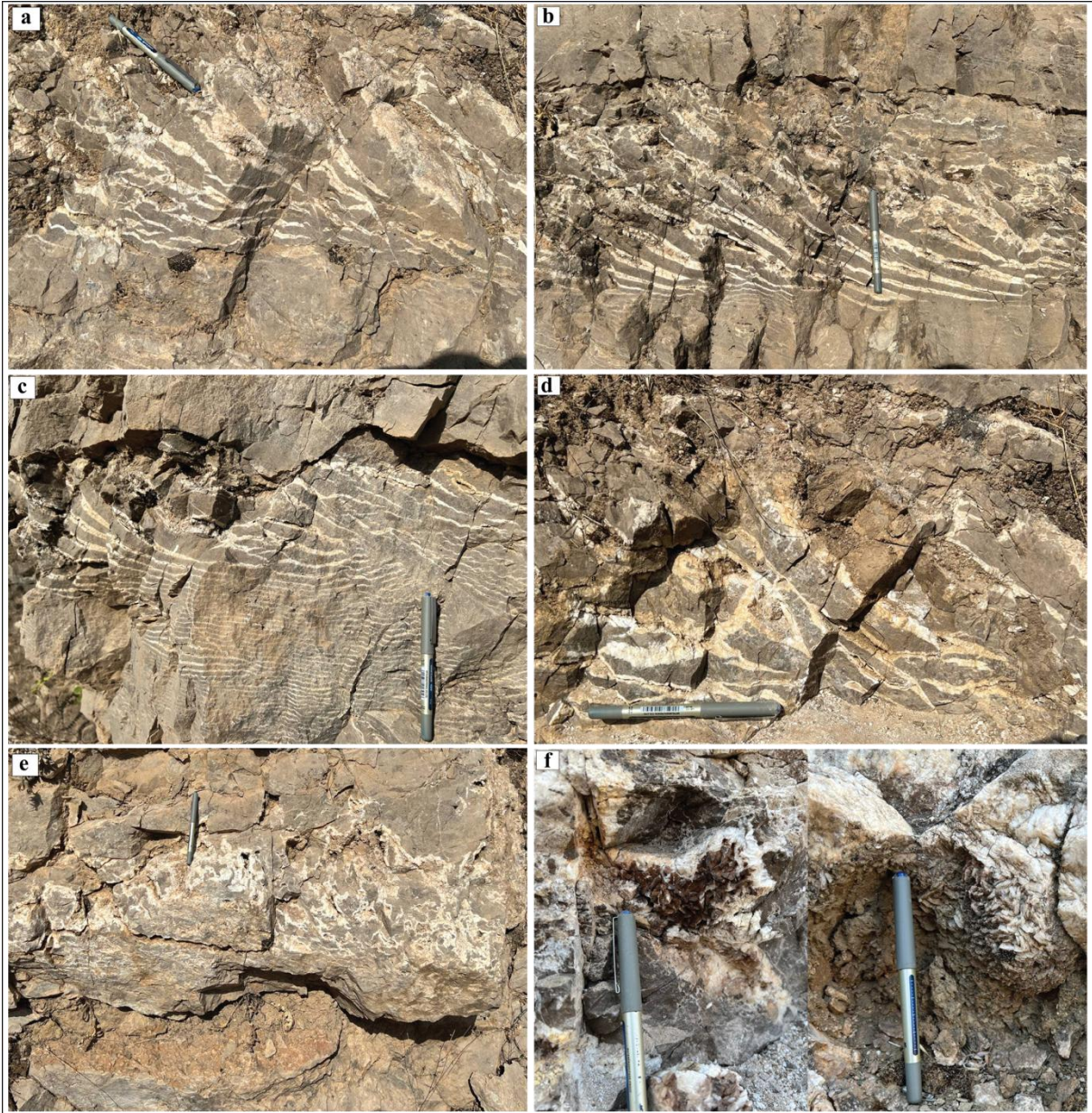


Fig. 3. Field photographs showing Qamchuqa Formation: (a) Massive dolomitic limestone affected by hydrothermal dolomitization, causing a zebra-like texture and hydro-fracture, (b, c) Fracture filling saddle dolomite.

Result and Discussion

Carbonate microfacies

Mudstone microfacies contains benthic foraminifers (miliolids) and is partly dolomitized. It is the predominant facies in the lower and middle parts of the Qamchuqa Formation, which consists mainly of micrite, slightly influenced by recrystallization processes; the percentage of grains is less than 10%; all the contained grains belong to skeletal grains and have been documented by Salih (2022). This microfacies was identified in both outcrop and subsurface samples.

The second microfacies is wackestone, which is characterized by sand-sized bioclasts, varying between 10% to 45%, floated in micritic groundmass. The skeletal grains are represented by miliolids, globogirina, and foraminiferal, with dominate of pressure solution. In the core samples subsurface, the fossiliferous wackestone is also recognized as a marine facies. No clear evidence of porosity is visible, suggesting it might have undergone compaction or cementation. While episodic hydrocarbon migration linked to hydrothermal fluids is

predominantly observed in the Qamchuqa Formation (e.g., Salih, 2023). This diagenetic stage significantly influences reservoir porous media, which demonstrates the enhancement of pore spaces following the injection of host limestone with hot fluids. Packstone is the major facies in the Qamchuqa Formation and consists mostly of Globogerina, Rotalina, miliolids, bioclasts, and foraminiferal limestones. The grains are broken down by physical compaction and cement formation, and recognized within the chamber of miliolid. The boundstone microfacies is represented by bryozoa and rudist clasts, and other secondary components are gastropod, rotaliids, and miliolids (Fig. 4a-d). The rudists are filled with cement (silica or dolomite) and are cut by stylolites.

Diagenetic Facies

Micritization and Microspar

Micritization is an early diagenetic facies formed by the activity of (micro)organisms. Due to the small size of grains in the micrite, the identification of their origin is difficult. Dunham (1962) selected 0.02mm as a boundary between sand and mud. The present study shows that micritization in the surface preferentially affects the thin edge of foraminifera (Globigerina and miliolids). The early diagenesis of the micritic groundmass that was changed by the replacement process still preserved the remnant of the original facies of mudstone. The facies are commonly linked to early fractures and stylolitization. Micritization is a fundamental diagenetic process characteristic of the shallow marine environment (Flügel, 2004). This process leads to destroying the original structures of the grains. Continual micritization leads to the formation of carbonate muds (Flügel, 2004). The micrite is mostly slightly affected by early dolomitization, and these grains undergo chemical compaction, which causes the pressure solution. The packstone microfacies consists of a micrite matrix that is affected by neomorphism to microspar.

Microspar

Microspar is the early diagenetic stage with very fine grains, and the crystal size is less than 10 μ m, and is dominated by closely packed grains. Microspar can be distinguished from micrite by its larger size and clarity, and from carbonate grains by their crystal shapes and lack of internal texture (Flügel, 2004). Longman (1977) has been suggested that the main factor affecting microsparite formation is the Mg ions, which are removed by meteoric water, forming microsparite and sparry calcite.

Equant calcite cement

This cement is one of the most abundant cements in the Qamchuqa Formation. This cement occludes fracture or vein spaces, with crystal sizes slightly larger than 100 micrometers, and this cement usually fills the void spaces within the miliolid shell. This equant cement is characterized by euhedral to subhedral crystals, and the crystals exhibit high relief. The equant cement crystals are relatively large compared to the surrounding matrix, indicating later-stage cementation compared to the microspar phase, and the crystals display bright interference colors, suggesting they are likely composed of calcite cement. Equant cement is formed in early diagenesis after the neomorphism of microspar. This type of cement is found in meteoric-vadose, meteoric-phreatic, and shallow burial environments, while originating from the re-crystallization of preexisting cements (Flügel, 2004).

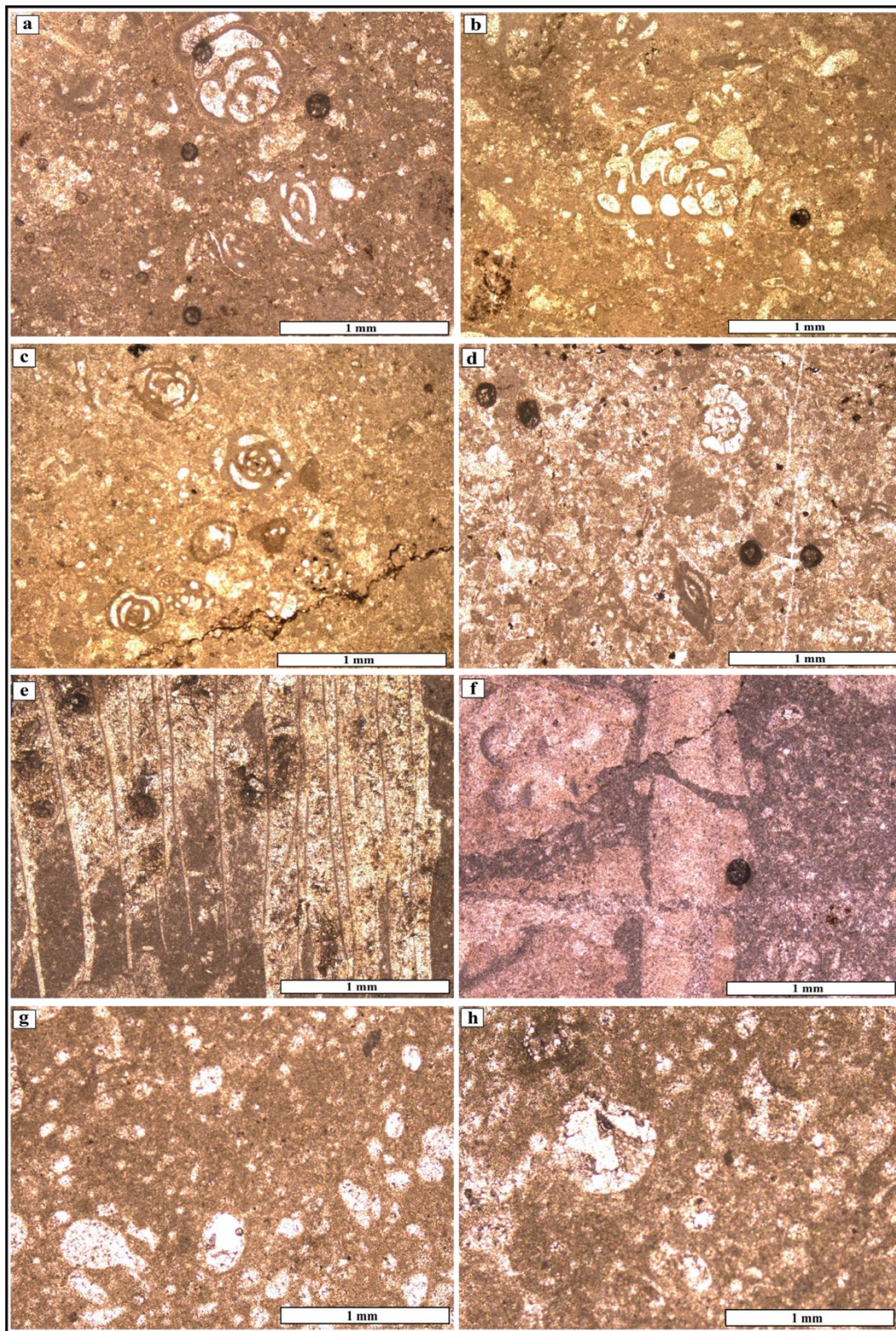


Fig. 4. (a-h) Photomicrographs showing carbonate depositional microfacies: the main components are micrite and skeletal grains that are considered the majority of the grains, including *globigerina*, *rotalina*, *miliolids*, and other bioclasts.

Early Dolomitizing fluids

The following diagenetic phases are recognized in both sections, outcrop and core samples. The description and classification of dolomite grains were based on Sibley and Gregg (1987):

Anhedral replacive dolomitization (DI, DI_s)

The dolomite of this type, surface dolomite (DI) and subsurface dolomite (DI_s), is the first phase that belong to early dolomitization, characterized by fine, non- or anhedral, non-planar dolomite crystals (ranging from 130 to 320 μm) observed from Gali-Bekhal section (DI) (Fig. 5a, b) and Taq Taq well section (DI_s) (Fig. 5c, d).

The same properties of anhedral dolomite crystals having the same characterization in subsurface sample (DI_s). Replacive dolomite (DI_s) is the earlier diagenetic phase consist of a very fine crystalline dolomite replacing partially the wackstone microfacies. Intercrystalline porosity is often found associated with the (DI_s) that filing with hydrocarbon. The same replacive dolomite is reported in the literature and characterized by very fine- to medium-crystalline, planar-subhedral to nonplanar-anhedral texture (Györi et al., 2020). The remnants of precursor micrite or bioclasts were observed in the replacive dolomite, which suggests that the replacive phase was not completely fabric-destructive, and both micrite and bioclasts dissolved before dolomitization and reprecipitated as an early cement in the micrite, and these phases were subsequently replaced by anhedral dolomite.

Subhedral growing dolomitization (DII-surface, DII_s-subsurface)

This phase of dolomite grains replaced the microspare in aggrading growth, and precipitated in a condition of non-hydrothermal dolomitization as they lack the definition of saddle dolomite characteristics, which also shown by its textural evolution and crystal properties. This type of dolomite in both sections post-date the previous replacive dolomite. DII and DII_s phases are characterized by fine-grained, subhedral dolomite crystals (ranging from 120 to 300 μm) originated from a shallow depth and considered as an early diagenetic phase (Fig. 5a, b and c). DII_s also appear in pore-space and has the same properties as DII. DII_s dolomite crystals show a preservation of the original facies of the rock despite there being no remaining micrite develop, and sometimes known as mimicking or mimetic dolomites.

The subhedral dolomitization in the subsurface depth shows the complete replacement of dolomite characterized by very tight and compact dolomitization due to burial weight, with obvious zonation texture on the surface of crystals. The solubility boundaries between the grains, “the contact between compacted grains of dolomite,” indicate that the porosity and permeability are decreasing because the grains are very close and pressure increases due to burial weight.

Euhedral dolomite DIII-surface and DIII_s-subsurface

The dolomite exhibits a typical rhombohedral shape between anhedral and subhedral dolomite crystals (up to 200 μm) in both exposed (Fig.5a) and core sections (Fig. 5c, d). In cases, this rhombohedral dolomite is considered the replacement process, and the tiny crystals of dolomite can be seen floating in a micritic matrix, which indicates a high number of nucleation points and/or high supersaturation. Similar dolomitization patterns in sediment succession have been described in Jurassic and Cretaceous carbonates from France, Switzerland, and Italy (Rameil, 2008, Iannace et al., 2013). The crystal size varies slightly, with most of the crystals appearing to be medium and coarse-grained. The co-occurrence of pre-dated dolomites (DI and DII) suggests that dolomite likely formed as early diagenetic dolomitization; however, the amount of nucleation of dolomite rhombs is quite low, therefore, the replacement process becomes limited at this stage. This texture indicates that the dolomite was not significantly recrystallized or changed by subsequent hydrothermal processes, maintaining its initial rhombohedral form. These textures are typically observed in shallow marine to subtidal environments where micrite facies predominate, and dolomitization has been documented by Ramadan (2014).

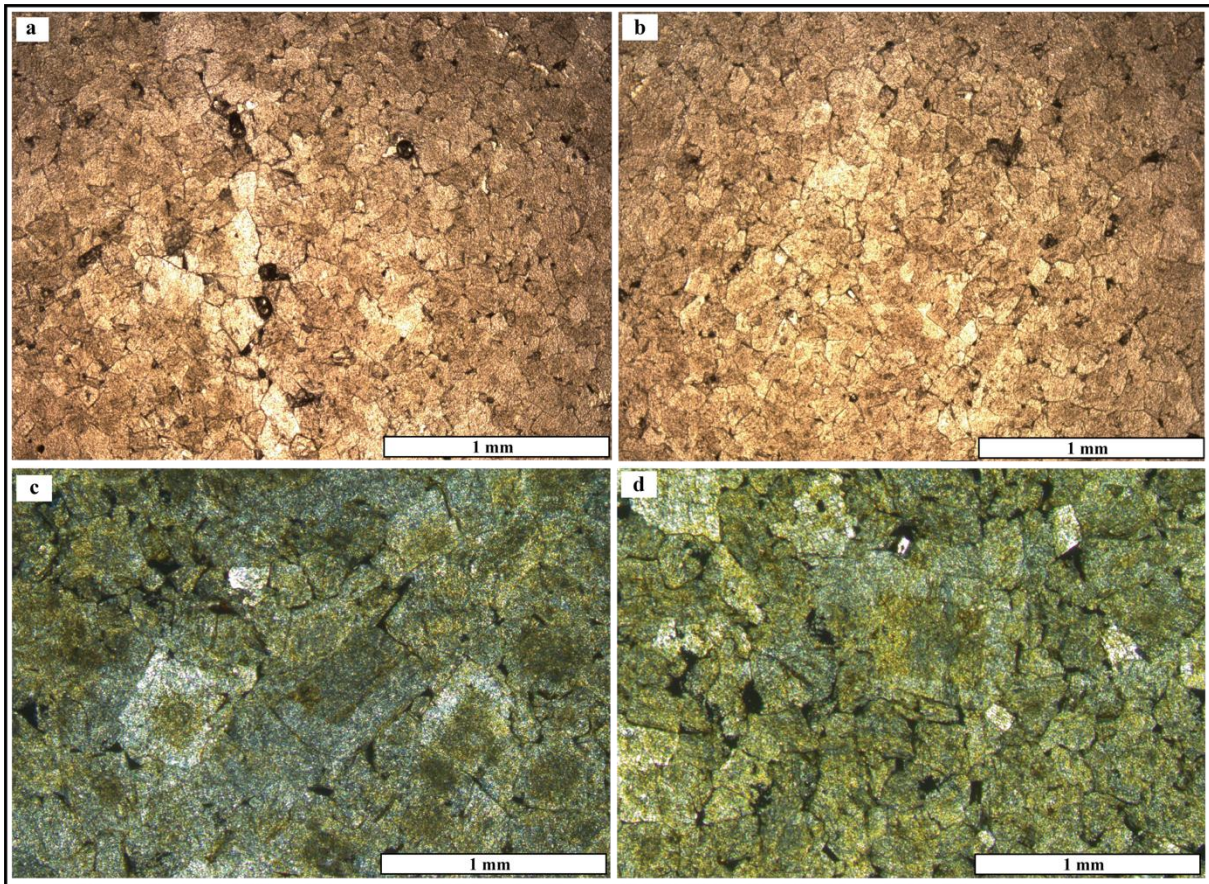


Fig. 5. Photomicrographs (a and b) showing the early dolomitization processes in outcrop sample; (c and d) illustrate the early dolomitization under subsurface setting.

Late Dolomitizing fluids

The following phases of dolomite postdated the early diagenetic processes in the Cretaceous reservoir formations (Qamchuqa and Bekhme formations):

Elongate-sized dolomite crystals are the first and earliest saddle dolomite formation (SD_I); this type of dolomite predominantly occurs in the alternating white and dark bands from zebra-like texture (Fig. 3a-d). while the next phase of saddle dolomite (SD_{II}), dirty dolomite, or dark saddle dolomite postdates the SD_I and predates the SD_{III} . SD_{III} is considered translucent saddle dolomite (SD_{III}). The dolomitization fluids produced a final phase of coarse-crystalline saddle dolomite (SD_{IV}). The late dolomitization in the Taq Taq subsurface section, at least one phase of saddle dolomite was identified (SD_s). In addition to saddle dolomite, a radiaxial dolomite cement filling the pore spaces and fractures is also considered as a product of the late diagenetic stage.

Characteristic types of these dolomites are assigned to the various conditions of burial realm, which includes saddle and radiaxial dolomites (Fig. 6a-f). Saddle dolomites characterized various shapes and properties, often anhedral, but euhedral morphologies are dominant in this study. The main properties of saddle dolomitization have been described in the literature as well (e.g., Radke and Mathis, 1980; Salih et al., 2019b). Saddle dolomite is characterized by a warped crystal face, curved cleavage, and undulous extinction in cross-polarized light (cf., Searl, 1989; Warren, 2000; Salih et al., 2021). Saddle dolomite crystals can vary in size, color, and properties, and occur as void and fracture filling cement and as replacement minerals (Radke and Mathis, 1980). Therefore, the recent paper demonstrates and classifies the saddle dolomite accordingly into various phases. Saddle dolomite formation commonly originates from high temperature fluids and salinities (Salih et al., 2019), although it may also be associated with sulphate-reduction processes. Various fluid and formation

temperatures that are responsible for saddle dolomite formation are reported and range from ca 50–320°C (Davies and Smith, 2006; Liu et al., 2014; Salih et al., 2021). The characteristics of burial dolomite fabric are zebra dolomite (Vandeginste et al., 2005), while zebra-like texture associated with HTD is well recognized in the exposed rocks. The zebra-like texture in the Gali-Bekhal section (Fig.3) characterized a banded carbonate texture formed by rhythmic millimeter to centimeter-scale alternations of dark and translucent laminae, which is indicative of voids in the context of late burial tectonic stress and hydrothermal formation fluids (Wallace and Hood, 2018; Mueller et al., 2020).

Elongate-sized saddle dolomite crystals (SD_I) composed of coarse euhedral to subhedral crystals with non-planar tight, cemented dolomite, with sizes growing up to a few millimeters, displaying a typical wavy extinction observed under cross-polarized light. These latter characteristics are characteristic of saddle dolomite, and probably could prove a recrystallization under high-temperature conditions, which is typical of hydrothermal dolomitization processes. The tight cementation and the occurrence of these dolomites within fractures support their genesis from hydrothermal fluids. These fluids enriched in magnesium and carried through the rock matrix, likely replaced pre-existing carbonate matrix and/or filled fractures and cavities (Immenhauser, 2021). Coarse crystalline dirty and dark saddle dolomite (SD_{II}) usually precipitates in open cavities and fractures and indicates the hydrothermally rich fluids, and could suggest a late diagenetic environmental setting with hot fluid movement. Translucent saddle dolomite (SD_{III}) observed in zebra-like texture composed of coarse anhedral to subhedral crystals with non-planar tight cemented dolomite that is postdate SD_I and SD_{II} in zebra-like and predate (SD_{IV})

Coarse to very coarse-crystalline saddle dolomite (SD_{IV}) has curved crystal faces with two sets of cleavage, wavy extinction, and curved faces, with sizes up to millimeters. This indicates precipitation from late hydrothermal fluids (Fig. 6d). Planar-euhedral dolomite vugs and fractures occur as predominant void-filling dolomite, thus decreasing the pore spaces and fractures. This type includes dolomite cement, which substitutes the precursor cement (Fig. 6d). The replacement and cementation of SD filled the fractures and voids/vugs were distinguished in the absence and existence of precursor limestone (Fig. 6d). These dolomites in the Gali-Bekhal section did not show any keys for supporting a deep burial setting. While the subsurface samples and deep burial HTD are rarely described in the literature, if so, the scholar relied on geochemical analyses without referring to any comparison study for SD properties, “physical properties of HTD” in the shallow and deep burial realm. In addition to the multi-phase dolomitizing rock, another phase of late diagenesis is represented by blocky calcite. Blocky calcite crystals have a euhedral planar crystal with growing up to centimeter size, meaning they have well-formed, distinct crystal faces but may also have some irregularities and a transparent color with clear fluid entrapment. The irregular boundaries are probably linked to the post-dating dissolution fluids (Fig. 6f). This coarse-crystalline, blocky calcite may extend as veins and patches into adjacent host limestone and dolostone. The dark and large inclusion within the surface of blocky calcite and corrosion of saddle grains due to blocky calcite aggregation suggest that the calcite is the final stage of diagenesis, post-dated the saddle formation.

In the subsurface setting of Qamchuqa Formation within >2km depth, the formation at least injected one episode of dolomitizing fluid, producing a dolomitizing product SD_s. In the subsurface section, the SD_s phase is usually formed within matrix dolomites (dolostones) with low nucleation points. This dolomite shows very coarse rhombs and clear zonation growth with a transparent rim and a cloudy core (Fig. 5c-d). Since this dolomite is absent in fractures and other void spaces, and is only observed within matrix facies that occupied a very low volume of the total dolostone matrix, this phase is probably formed due to a replacement process and in a closed or semi-open system. Consequently, SD_s require a deep closed system (Fig. 7a, b).

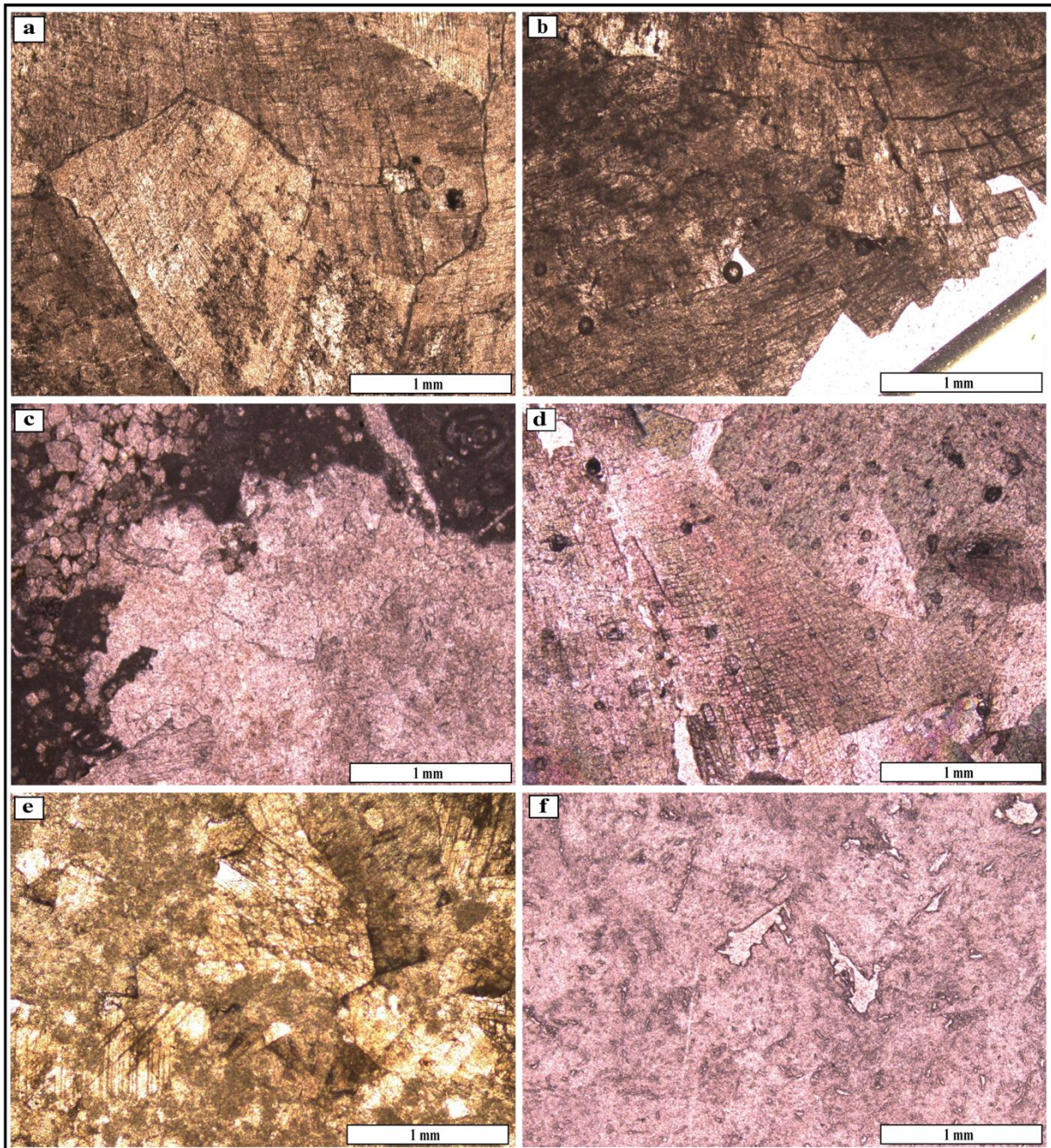


Fig. 6. Photomicrographs of various phases of saddle dolomite, polarized light. (a, b) Coarse crystalline dirty and dark saddle (SD_I) dolomites.Q8c.XPL. (c) Translucent saddle dolomite (SD_{III}). Q8a.XPL (d) Coarse to very coarse-crystalline saddle dolomite (SD_{IV}). Q7b.XPL (e) Radiaxial cement. Q8a.XPL. (f) Blocky calcite.Q6c.XPL Gali-Bekhal section.

Under subsurface settings, one of the distinctive features associated with the saddle dolomite is the distortion. This distortion is the evident feature from SD that characterizes the curved nature of crystal faces and has 2 sets of cleavages, in addition to their sweeping extinction in cross-polarized light. The distortion of saddle dolomite is more affected by corrosion and solubility than the suture contact between the saddle dolomite grain formed by the burial weight. This distortion of saddle dolomite is a direct indicator of increasing burial weight and subsidence rate. This kind of saddle dolomite, which shows twisting out of the SD shapes, could be directly linked to the mesogenesis phase (Fig. 7c, d).

The early diagenetic fluids produce a sequence of growing various dolomite generations from both sections, starting with non-planar, anhedral dolomite grains, which occur as a replacement of the pristine facies. Even the replacement phase destroys the original features of pristine facies except for the traces of micrite product. The non-planar, anhedral dolomite could

result from temperatures higher than those that form a dolomitic crystal with planar and euhedral shape characteristics. This suggestion has been reported by Gregg and Sibley (1984, 1987) and added that these dolomites originated from burial diagenetic conditions. However, in our study, the progressive generation of dolomite phases, intercrystalline truncation, corrosion, and zigzag suture contact between grain boundaries are well recognized, particularly starting with the formation of planar, rhombohedral dolomite crystals. These features are more shaded in subsurface samples than in surface sections (Figs. 5 -7).

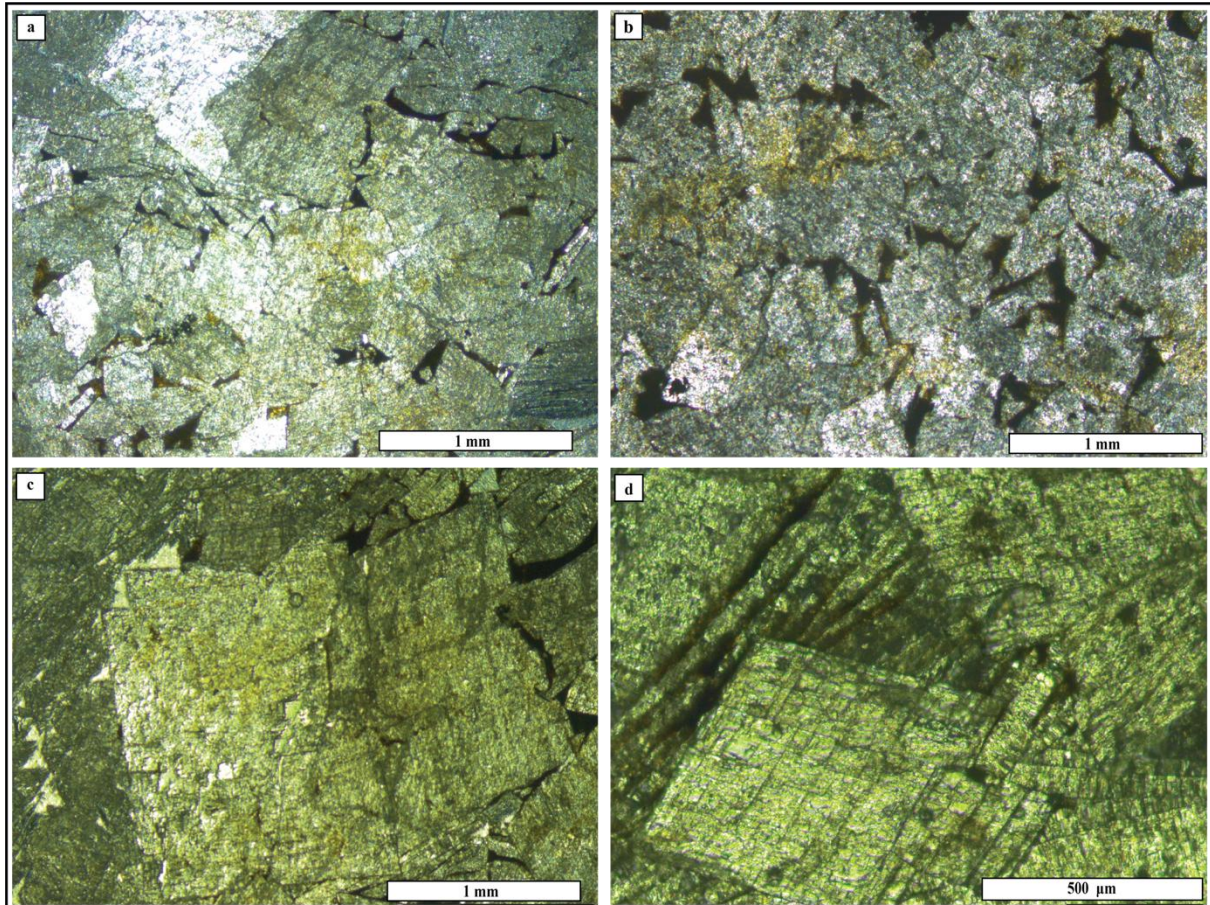


Fig.7. Photomicrographs show the deformation and textural evolution of saddle dolomite (SDs) under subsurface burial conditions. (a–d) show saddle dolomite crystals characterized by distortion, including curved and twisted crystal faces, two cleavage sets, and sweeping extinction under cross-polarized light. These crystals exhibit dissolution along crystal boundaries and the development of zigzag sutured contacts between adjacent grains, indicating the breakdown of saddle dolomite along grain boundaries and cleavage sets. W16.TT 2296m and 2394m XPL. Taq Taq Oilfield.

Fluid evolution in burial dolomitizing

The burial dolomitization is formed due to the alteration of limestone, which is deeply buried during the later diagenetic stage. This process is driven by the migration of Mg-rich fluids, typically expelled from compacting sediments or basinal brines. The burial dolomite (SDs) forms as void-filling cement, often leading to porosity reduction, which is considered a common feature in deeply buried carbonate rock as a distortion SD. In the subsurface case, the diagenetic SD condition evolved from a semi-open deep-burial mesogenesis stage that ascended from the hydrothermal fluid along faults and fractures. These fluids promoted dolomitization, and recrystallization expanded the reservoir distribution and improved the reservoir quality, mostly developing a pore-vug reservoir (Zhang et al., 2012).

The zigzag and suture contact between the SD grains due to compaction and compacted grains is the direct indicator of the deep burial diagenetic stage (Fig. 7a, b). The SDs contained samples show a clear distortion, probably due to increasing of burial depth. Furthermore, the compaction in the subsurface conditions is driven by sutured grain contact and the tightened

grains of dolomite filling the fracture. During burial, pressure dissolution occurs along grain contacts, reducing porosity and creating tightly interlocking grain textures, and concavo-convex sutures are also dominant in the Taq Taq Oilfield. These processes are indicative of a burial diagenetic condition involving both mechanical compaction and chemical processes. Such compaction-related textures are widely reported in carbonate systems undergoing burial diagenesis (Tucker and Wright, 1990).

During the entire burial process, the rocks adjacent to the vugs and fractures shared the hydrostatic formation pressure, largely leading to the increased compaction of the adjacent rocks. The intracrystalline porosity within the pore spaces continued to remain intact and was semi-filled with calcite cement and bitumen (Jiang et al., 2023). Hydrothermal activity is another critical factor in dolomitization, often associated with the movement of magnesium-rich fluids along faults and fractures. Davies and Smith (2006) have reported that the hydrothermal dolomite formed at shallow depths and originated from very saline fluids with temperatures and pressures higher than the ambient temperature and pressure of the host formation. The occurrence of saddle dolomite in our series indicates elevated temperature conditions during late diagenesis. Saddle dolomite formation linked to hydrothermal systems suggest a fluid involvement not lower than 60-80°C, and mostly ranging from suggested most saddle dolomite formed in temperature between 100-180°C, by Davies and Smith (2006). In this study, if we consider that the geothermal gradient for one kilometer is 25 to 30°C, the ambient formation where the saddle dolomite is formed (up to 2300m), then the ambient temperature is not higher than 60 °C.

SD crystals in the subsurface are characterized as tight and more highly compacted than the shallow “surface setting”; the shape of the grain is more distorted and shows a smaller grain size compared to the shallow setting because the mechanism of the SD formation is closely related to temperature and pressure. The SD in shallow setting forms under hydrothermal conditions with relatively open system fluid dynamics and moderate compaction, subsurface SD forms under more constrained, closed or semi-closed systems, characterized by intense compaction and higher temperature-pressure regimes. This distinction explains the differences in crystal size, morphology, crystallization rate, and structural features. The restricted fluid movement has been documented in the surface and in the subsurface (Roger Ngia et al., 2019; Salih, 2023).

The contrasting characteristics of saddle dolomite crystal in surface and subsurface conditions reflect the interplay between temperature, pressure, system openness, and fluid dynamics. In surface settings, hydrothermal fluid activity dominates the process, leading to the formation of large crystal sizes, while in subsurface conditions, the combination of increasing compaction, high pressures, and semi-closed-system behavior prefers the formation of small-grain-size saddle dolomite, more increasing of dolomite filling fractured. Understanding these mechanisms is critical for interpreting diagenetic histories and fluid migration pathways in sedimentary basins and for future oil and gas exploration. The hydrothermal alterations have a strong impact on the porosity and permeability enhancement (Fig. 8a-d). The enhancement of the porous media has been linked to the fracturing and dissolution of precursor rock, and was reported as an excellent production performance of hydrocarbon reservoirs (Lima et al., 2020; Salih, 2023). The distribution of HTD aligned with the direction of the fracture and open space system, as evidenced by the destructive dolomite fabric. The Qamchuqa Reservoir Formation exhibits significant dolomitization through two mechanisms: fracture and dissolution by hot fluids. This process resulted in increased porosity during both early and late dolomitizing phases, indicating that hot fluids facilitate the enhancement of porous media and the migration of hydrocarbons (Fig. 8a-d) (Salih, 2023).

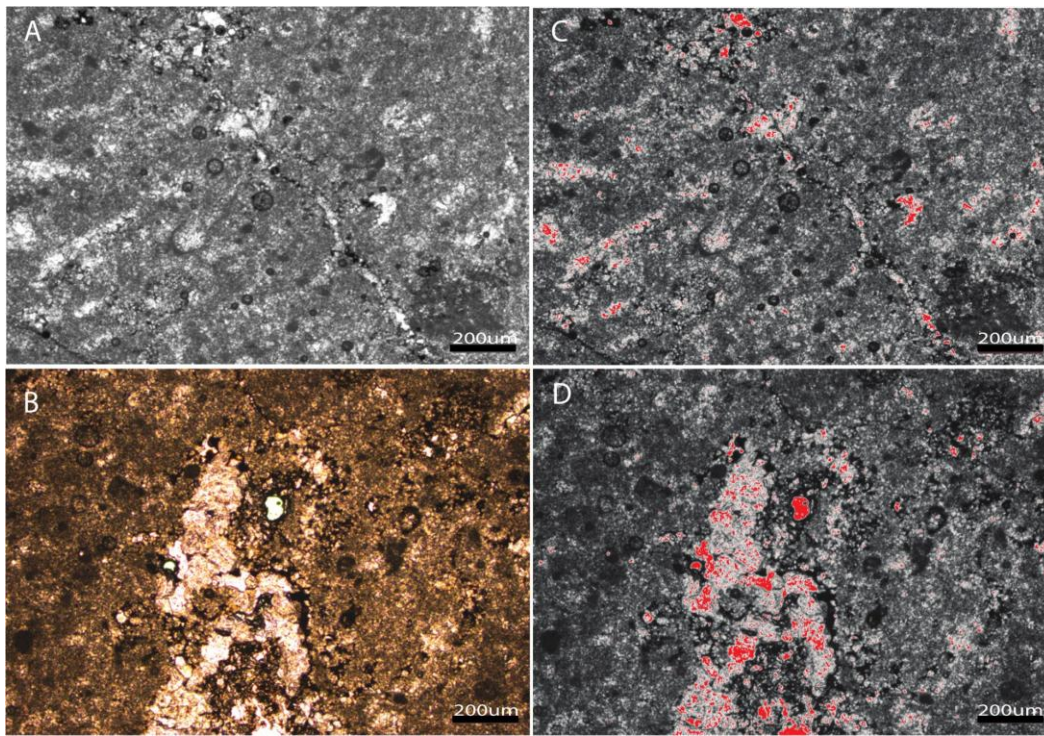


Fig 8. Thin section photomicrographs: (a) early diagenesis microfacies and (b) Late diagenesis microfacies, pre-analysis. (C, D) Post-analysis, the red contrast shows the porous media that range from 1.7% to 2.6%, respectively.

Hydrothermal fluids and non-hydrothermal diagenesis controlled the formation and alteration of the Qamchuqa Cretaceous Reservoirs

The Cretaceous reservoir is a widely distributed exploration target, a storage, and an economically significant hydrocarbon-bearing formation in various sedimentary basins (Naji et al., 2009; Al-Nafie et al., 2022; Aladwani and Diab, 2022; Asadi Mehmandosti et al., 2022). These reservoirs are common in both carbonate and sandstone formations. The Cretaceous reservoirs are usually injected by hydrocarbons generated from underlying Jurassic and Cretaceous source rocks that have undergone thermal maturation and migration (Abeed et al., 2013; Al-Khafaji et al., 2022). The timing of hydrocarbon generation and migration is usually recorded during the Late Cretaceous and Paleocene periods, utilizing maturity modeling and fluid inclusion (Scotchman et al., 2006; Xu et al., 2017). The reservoir quality of Cretaceous formations can vary significantly, with some exhibiting good porosity and permeability characteristics (Sajed and Glover, 2020; Yinguo et al., 2022), while others are considered low-quality, low-porosity, and low-permeability reservoirs (Yinguo et al., 2022; Marghani et al., 2023). The reservoir properties are influenced by various factors such as depositional facies, diagenesis, and structural features. Therefore, a deep understanding of lithological variation, timing of diagenetic stages, and the influence of lithological variation on reservoir quality is necessary for drawing the conceptual modelling of any reservoir.

The earliest alteration, “diagenetic phase” in Qamchuqa Formation from subsurface and surface samples, is characterized by micritization; the micrite envelope is a distinctive feature in surface samples, where it was absent in subsurface samples. However, the marine facies share the same globigerina limestone, but the formation in outcrop contains, in places, a large benthic foraminifer, which was absent in subsurface conditions. Consequently, a less porous medium is observed in subsurface samples than in surface samples within marine and earlier alteration (Fig. 4). This could be linked to compaction and tightened grains in deeper conditions.

Micritization may decrease permeability by filling pore throats or reducing the grain sizes. Then, early micritization may prevent porosity decrease throughout burial compaction (Taghavi Rad et al., 2006). Micritization significantly influences the formation by destroying

the entire skeletal and bioclastic grains, making them lose their internal structures and the development of micritic envelopes. This process can be associated with the effect of microbial activity (Shammary and Kurkchi, 2023). The second significant event is the radial cement, which postdates the micritization and microspar, and one of the main criteria that Kendall and Tucker (1973) and Bathurst (1972) to argue that radial fibrous calcite was a replacement of fibrous aragonite or high-Mg calcite. According to James and Jones (2015). The general understanding is that both cements can originate from the precipitation of low-Mg and high-Mg calcite, and that crystal development exhibits asymmetry. High-Mg calcite varieties will be substituted by low-Mg calcite during burial. This cement formed as 0.5 to 1.5 mm thick isopachous or fan-shaped cements on internal sediments and skeletal grains. They show irregular composite crystal boundaries and acute crystal terminations.

Later diagenetic fluids produce a sequence of growing various dolomite generations from both localities, starting from non-planar, anhedral dolomite grains, which occur as replacement of pristine facies. Even the replacement phase destroys the whole original features of pristine facies except the traces of micrite product. The non-planar, anhedral dolomite could have resulted from temperatures higher than those that formed a dolomitic crystal with planar and euhedral shape characteristics. This suggestion has been reported by Sibley and Gregg (1984, 1987) and added that these dolomites originated from burial diagenetic conditions. However, with the progressive generation of dolomite phases, the intercrystalline truncation, corrosion, and zigzag suture contact between grain-grain boundaries features are well recognized, particularly starting with the formation of planar, rhombohedral dolomite crystals. These features are more shaded in subsurface samples than outcrop ones (Figs. 6 and 7).

The euhedral, rhombohedral shapes of dolomite cementation indicate a high number of nucleation points and/or high supersaturation. Similar dolomitization patterns in sediment succession have been described by (Iannace et al., 2013, Rameil, 2008). The crystal size varies slightly, with most of the crystals appearing to be fine to medium-grained. The dolomite is floating within a micrite matrix, a fine-grained carbonate mud, which indicates that it likely formed as early diagenetic dolomitization. This texture suggests that the dolomite was not extensively recrystallized or altered by later hydrothermal processes, preserving its original rhombohedral shape. Such textures are commonly found in shallow marine to subtidal settings where micrite facies dominate, and dolomitization

The inversion law of deep burial HT dolomitization

In sedimentary reservoir rocks, porosity and permeability generally decrease with increasing burial depth and overburden pressure, a phenomenon extensively discussed in previous research for both clastic and carbonate reservoirs. In the subsurface of the Qamchuqa Formation within the Taq Taq oil field, hydrothermal fluids (HT) cause the formation of saddle dolomite (SD), which typically fills voids and fractures within the reservoir rock. Hydrothermal in the Bekhme Formation creates the cementation and fills voids and fractures, but does not completely block the pores and throats because the hydrocarbon migration was contemporaneous with the hydrothermal fluid. This migration of hydrocarbon filling a void and fracture prevents the primary porosity, but also creates dissolution and solubility of the formation (Salih et al., 2019a,b). Saddle dolomite in a subsurface setting formed under these conditions is characterized by two sets of cleavage and curved faces. With increasing vertical stress due to burial depth, the formation with subsequent behavior of SD produced a significant reduction in porosity and permeability. Previous research discussed that both SD precipitation and vertical stress contribute to the decreasing of petrophysical properties in carbonate and clastic petroleum reservoirs. Under conditions of high temperature and pressure, combined with increasing vertical stress, SD undergoes a clear change progressing from plastic phase to a brittle phase (Fig. 9a, b). This transition leads to crystal distortion, twisting of SD grains, and the formation of crystals (150 to 800 μm); however, the development of rhombohedral shapes due to breakdown under extreme vertical stress. In this brittle phase, SD dolomite often exhibits

a brecciated SD texture and floats within the HB phase, which is commonly associated with the charging episode of hydrocarbon migration and the inverse law of HT product (SD) (Fig. 9c).

The inversion law of hydrothermal dolomitization (HTD) becomes evident at this stage, increasing burial depth enables the SD crystals to further break down with increasing vertical stress, producing euhedral, rhombohedral grains along two sets of cleavage of SD. At this stage, the dissolution, enhancing secondary porosity and enabling hydrocarbon migration pathways are become dominate case in the subsurface realm. During the late diagenesis, the deep-sourced HT fluids, which migrate upwards, could indicate significant dissolution of carbonate and porosity increasing because the fluids became unsaturated with regard to calcite and dolomite as a gradual decrease in temperature and burial depth (Huang, 2010).

The inversion law is primarily associated with two mechanisms: first, decreasing porosity with increasing burial depth due to chemical and physical compaction; second, the porosity reduction caused by SD precipitation, which often fills pore spaces and fractures. During the brittle phase of SD, the breakdown and brecciation cause enhanced porosity and permeability, allowing hydrocarbon migration and accumulation. Two reasons influence this inversion law during HT dolomitization. first: is the increasing vertical stress, which increases the textural breakdown of SD crystals. Second: the characteristic of SD, where the presence of two sets of cleavage makes it particularly susceptible to brittle deformation, resulting in rhombohedral shapes and brecciated SD textures. This brecciated SD texture serves as a significant conduit for hydrocarbon migration during the charging episode, contributing to improved reservoir storage capacity. Consequently, the restoration of reservoir quality in the Qamchuqa Formation is essentially linked to the brittle phase of SD, where the textural breakdown and brecciation enable hydrocarbon migration and enhance storage of the reservoir. The latter emphasizes the importance of understanding hydrothermal dolomitization and burial stress in reservoir quality.

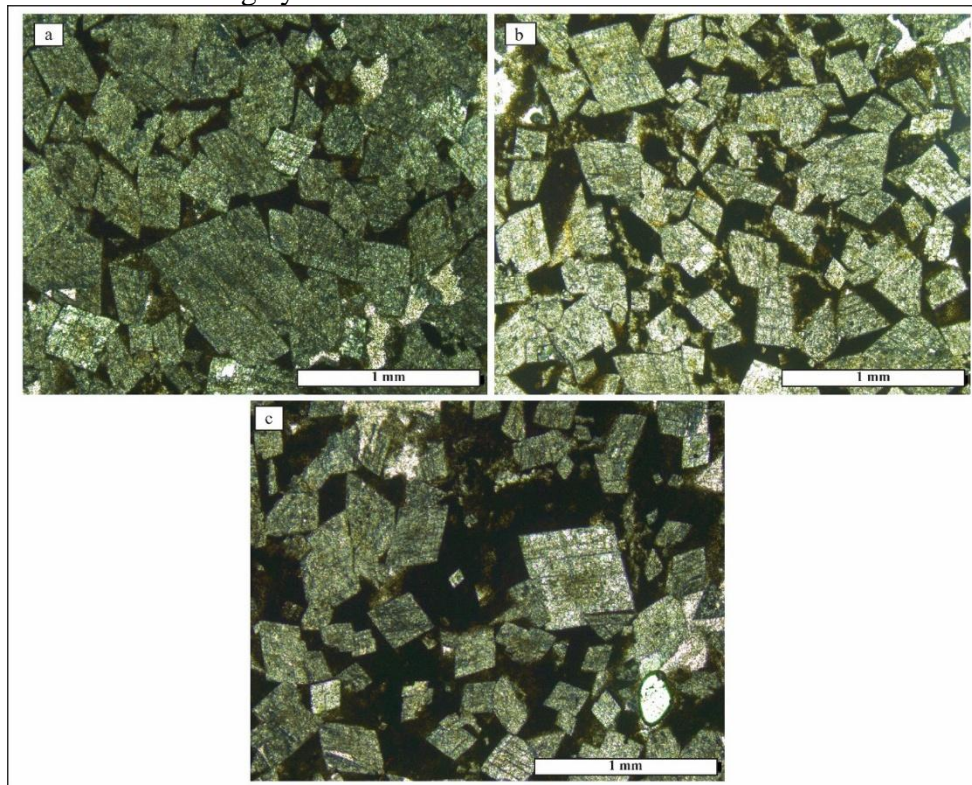


Fig. 9. Photomicrographs showing: (a-c) the Brittle deformation of SD that opens the conduit for fluid migration (hydrocarbon migration). Hb migration is the last charging phase in the Cretaceous formations. So, the late diagenetic dolomitizing fluids “SD” are considered the most effective phase on HB migration, therefore increasing the storage of any reservoir. W16.TT 2293m. XPL. Taq Taq Oilfield.

Conclusion

This study shows the different characteristics and properties of saddle dolomite that was produced by elevated temperature fluids (HT) under shallow and deep burial dolomitization. The mechanisms of saddle dolomite formation are the key to understanding the diagenetic evolution of carbonate reservoirs. The findings indicate that shallow burial dolomitization primarily enhances reservoir quality through early fluid interactions and intensively during the dissolution process through injection of hot fluids into the Cretaceous formation. The vertical stress in the subsurface reservoir impacted by HT fluids caused a series of events on SD crystals, starting with distortion, breaking down of SD crystals, and ending with brittle deformation and SD brecciation. Deep burial processes contribute to the stability and decrease of porous media of dolostones under extreme conditions and low fluid-rock interaction. With increasing of vertical stress, the reservoir quality reverses the law of HT burial dolomitization in the context of hydrocarbon storage and exploration development, where the porous media increased due to extra-increasing of overburden weight and originated in-situ brecciation of saddle dolomites forming a rhombohedral dolomite crystal.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the recent work.

References

- Abeed, Q., Littke, R., Strozyk, F., and Uffmann, A.K., 2013. The Upper Jurassic–Cretaceous petroleum system of southern Iraq: A 3-D basin modelling study. *GeoArabia*, 18, 179-200.
- Al-Juboury, A., Al-Zoobay, B. and Al-Juwainy, Q., 2006. Facies analysis of the Albian-Cenomanian carbonates, northeastern Iraq. *Earth and Life*, 1, 1-14.
- Al-Kadhimi, J., Sissakian, V., Fattah, A. and Deikran, D., 1996. Tectonic Map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2nd edit. GEOSURV, Baghdad, Iraq, 1-38.
- Al-Khafaji, A., Al-Najm, F., Al-Refaia, R., Sadooni, F., Al-Owaidi, M., and Ali, H., 2022. Source rock evaluation and petroleum generation of the Lower Cretaceous Yamama Formation: Its ability to contribute to generating and expelling petroleum to Cretaceous reservoirs of the Mesopotamian Basin, Iraq. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 217, 110919.
- Al-Nafie, M.M.A.N., Jassim, S.Y., and Al-Khafaji, A.J., 2022. Determination of reservoir properties for Nahr Umr Formation based on core plugs, lithofacies, and well logs in Noor oilfield, southern Iraq.
- Al-Qayim, B., Qadir, F.M. and Albeyati, F., 2010. Dolomitization and porosity evaluation of the Cretaceous Upper Qamchuqa (Mauddud) Formation, Khabbaz oil field, Kirkuk area, northern Iraq. *GeoArabia*, 15, 49-76.
- Al-Qayim, B. and Rashid, F., 2012. Reservoir characteristics of the Albian Upper Qamchuqa formation carbonates, Taq Taq oilfield, Kurdistan, Iraq. *Journal of Petroleum Geology*, 35.
- Aladwani, N. and Diab, A., 2022. Investigation of the Cretaceous total petroleum system using wireline logs, core, and geochemical data in Bahrah Field, Northern Basin, Kuwait. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 13.
- Alavi, M., 2004. Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and its Proterozoic Evolution. *American Journal of Science*.

- Ameen, B., 2008. Sedimentology and lithostratigraphy of Qamchuqa Formation from Kurdistan region, NE-Iraq. Unpublished PhD thesis, University of Sulaimani, 143 P.
- Aqrawi, A.A., Goff, J.C., Horbury, A.D. and Sadooni, F.N., 2010. The Petroleum Geology of Iraq, Scientific Press, Beaconsfield.
- Asadi Mehmandosti, E., Amirhoseyni, M., Moallemi, S.A. and Habibi, A., 2022. Geochemical Investigation of the Cretaceous Crude Oil Reservoirs and Source Rock Samples in One of the Abadan Plain Oilfields, SW Iran. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 96, 546-558.
- Azmy, K. and Conliffe, J., 2010. Dolomitization of the lower St. George Group on the Northern Peninsula in western Newfoundland: implications for lateral distribution of porosity. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 58, 361-374.
- Barale, L., Bertok, C., Salih Talabani, N., D'atri, A., Martire, L., Piana, F. and Pr at, A., 2016. Very hot, very shallow hydrothermal dolomitization: An example from the Maritime Alps (north-west Italy–south-east France). *Sedimentology*, 63, 2037-2065.
- Bathurst, R.G., 1972. Carbonate sediments and their diagenesis, Elsevier.
- Bontognali, T.R.R., Vasconcelos, C., Warthmann, R.J., Bernasconi, S.M., Dupraz, C., Strohmenger, C.J., and McKenzie, J.A., 2010. Dolomite formation within microbial mats in the coastal sabkha of Abu Dhabi (United Arab Emirates). *Sedimentology*, 57, 824-844.
- Buday, T., Tyr cek, J., Kassab, I.I.M. and Jassim, S.Z., 1980. The Regional Geology of Iraq: Tectonism, magmatism and metamorphism, State Organization for Minerals, Directorate General for Geological Survey and Mineral Investigations.
- Carpenter, A.B., 1978. Origin and Chemical Evolution Of Brines In Sedimentary Basins. SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition. SPE-7504-MS.
- Davies, G.R. and Smith Jr, L.B., 2006. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview. *AAPG bulletin*, 90, 1641-1690.
- Davies, G.R. and Smith, L.B., Jr., 2006. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview. *AAPG Bulletin*, 90, 1641-1690.
- Du, Y., Fan, T., Machel, H.G. and Gao, Z., 2018. Genesis of Upper Cambrian-Lower Ordovician dolomites in the Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China: Several limitations from petrology, geochemistry, and fluid inclusions. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 43-70.
- English, J.M., Lunn, G.A., Ferreira, L., and Yacu, G., 2015. Geologic evolution of the Iraqi Zagros, and its influence on the distribution of hydrocarbons in the Kurdistan region. *AAPG Bulletin*, 99, 231-272.
- Fl gel, E., 2004. Limestones are biological sediments. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, 369-398.
- Friedman, G.M., 2007. Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: An overview: Discussion. *AAPG bulletin*, 91, 1339-1341.
- Gregg, J.M. and Sibley, D.F., 1984. Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture. *Journal of Sedimentary Research*, 54, 908-931.
- Guo, R., Zhang, S., Wang, K., Han, M., and Ding, X., 2021. Multiphase dolomitization and hydrothermal alteration of the Upper Cambrian-Lower Ordovician carbonates in the Gucheng uplift, Tarim Basin (NW China). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 206, 108964.

- Györi, O., Haas, J., Hips, K., Lukoczki, G., Budai, T., Demény, A. and Szócs, E., 2020. Dolomitization of shallow-water, mixed siliciclastic-carbonate sequences: The Lower Triassic ramp succession of the Transdanubian Range, Hungary. *Sedimentary Geology*, 395, 105549.
- Iannace, A., Frijia, G., Galluccio, L. and Parente, M., 2013. Facies and early dolomitization in Upper Albian shallow-water carbonates of the southern Apennines (Italy): Paleotectonic and paleoclimatic implications. *Facies*, 60.
- Iannace, A., Gasparrini, M., Gabellone, T. and Mazzoli, S., 2012. Late dolomitization in basinal limestones of the southern Apennines fold and thrust belt (Italy). *Oil and Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles*, 67, 59-75.
- Immenhauser, A., 2021. On the Delimitation of the Carbonate Burial Realm. *The Depositional Record*, 8.
- James, N.P. and Jones, B., 2015. *Origin of carbonate sedimentary rocks*, John Wiley and Sons.
- Jassim, S. and Goff, J., 2006. Phanerozoic development of the northern Arabian Plate. *geology of Iraq*, 32-44.
- Jiang, N., Wang, X., Xiao, D., Liu, R., Wang, W., Zhao, L., and Wang, X., 2023. The origin of heterogeneous sucrosic dolomite reservoir of the lower Permian Qixia Formation, NW Sichuan Basin, China. *Energy Exploration and Exploitation*, 41.
- Kendall, A.C. and Tucker, M.E., 1973. Radial fibrous calcite: a replacement after acicular carbonate. *Sedimentology*, 20, 365-389.
- Koeshidayatullah, A., Corlett, H., Stacey, J., Swart, P.K., Boyce, A. and Hollis, C., 2020. Origin and evolution of fault-controlled hydrothermal dolomitization fronts: A new insight. *Earth and Planetary Science Letters*, 541, 116291.
- Li, S., Gao, J., Yang, T., Li, T., Liu, T., Hao, Y., He, Z., and Liu, E., 2024. Source and U-Pb Chronology of Diagenetic Fluids in the Permian Maokou Formation Dolomite Reservoir, Eastern Sichuan Basin, China. *Minerals*, 14, 803.
- Lima, B.E.M., Tedeschi, L.R., Pestilho, A.L.S., Santos, R.V., Vazquez, J.C., Guzzo, J.V.P., and De Ros, L.F., 2020. Deep-burial hydrothermal alteration of the Pre-Salt carbonate reservoirs from northern Campos Basin, offshore Brazil: Evidence from petrography, fluid inclusions, Sr, C, and O isotopes. *Marine and Petroleum Geology*, 113, 104143.
- Liu, L.H., Ma, Y.S., Liu, B. and Wang, C.L., 2017. Hydrothermal dissolution of Ordovician carbonates rocks and its dissolution mechanism in Tarim Basin, China. *Carbonates and Evaporites*, 32, 525-537.
- Liu, S., Huang, W., Jansa, L.F., Wang, G., Song, G., Zhang, C., Sun, W., and Ma, W., 2014. Hydrothermal Dolomite in the Upper Sinian (Upper Proterozoic) Dengying Formation, East Sichuan Basin, China. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 88, 1466-1487.
- Longman, M.W., 1977. Factors controlling the formation of microspar in the Bromide Formation. *Journal of Sedimentary Research*, 47, 347-350.
- Machel, H.G., Braithwaite, C.J.R., Rizzi, G. and Darke, G., 2004. Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal. *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs*. Geological Society of London.
- Marghani, M.M.A., Zairi, M. and Radwan, A.E., 2023. Facies analysis, diagenesis, and petrophysical controls on the reservoir quality of the low porosity fluvial sandstone of the Nubian formation, east Sirt Basin, Libya: Insights into the role of fractures in fluid migration, fluid flow, and enhancing the permeability of low porous reservoirs. *Marine and Petroleum Geology*, 147, 105986.

- Sajed, M.O.K. and Glover, P.W.J., 2020. Dolomitisation, cementation and reservoir quality in three Jurassic and Cretaceous carbonate reservoirs in north-western Iraq. *Marine and Petroleum Geology*, 115, 104256.
- Mueller, M., Igbokwe, O.A., Walter, B., Pederson, C.L., Riechelmann, S., Richter, D.K., Albert, R., Gerdes, A., Buhl, D., Neuser, R.D., Bertotti, G. and Immenhauser, A., 2020. Testing the preservation potential of early diagenetic dolomites as geochemical archives. *Sedimentology*, 67, 849-881.
- Naji, H., Hakimi, M., Khalil, M. and Sharief, F., 2009. Stratigraphy, deposition, and structural framework of the Cretaceous (review) and 3D geological model of the lower Cretaceous reservoirs, Masila oil field, Yemen. *Arabian Journal of Geosciences*, 3, 221-248.
- Radke, B.M. and Mathis, R.L., 1980. On the formation and occurrence of saddle dolomite. *Journal of Sedimentary Research*, 50, 1149-1168.
- Ramadan, F., 2014. Petrographic and Diagenetic Characteristics of the Dolomites at Um Bogma Formation (Early Carboniferous), West Central Sinai, Egypt. *World Appl. Sci. J*, 31, 12-30.
- Rameil, N., 2008. Early diagenetic dolomitization and dedolomitization of Late Jurassic and earliest Cretaceous platform carbonates: A case study from the Jura Mountains (NW Switzerland, E France). *Sedimentary Geology*, 212, 70-85.
- Roger Ngia, N., Hu, M., Gao, D., Hu, Z., and Sun, C.-Y., 2019. Application of Stable Strontium Isotope Geochemistry and Fluid Inclusion Microthermometry to Studies of Dolomitization of the Deeply Buried Cambrian Carbonate Successions in West-Central Tarim Basin, NW China. *Journal of Earth Science*, 30, 176-193.
- Sadooni, F.N. and Alsharhan, A.S., 2003. Stratigraphy, microfacies, and petroleum potential of the Maaddud Formation (Albian–Cenomanian) in the Arabian Gulf basin. *AAPG Bulletin*, 87, 1653-1680.
- Salih, N., Mansurbeg, H., Kolo, K., Gerdes, A. and Pr eat, A., 2019a. In situ U-Pb dating of hydrothermal diagenesis in tectonically controlled fracturing in the Upper Cretaceous Bekhme Formation, Kurdistan Region-Iraq. *International Geology Review*, 62, 2261-2279.
- Salih, N., Mansurbeg, H., Kolo, K. and Pr eat, A., 2019b. Hydrothermal Carbonate Mineralization, Calcretization, and Microbial Diagenesis Associated with Multiple Sedimentary Phases in the Upper Cretaceous Bekhme Formation, Kurdistan Region-Iraq. *Geosciences [Online]*, 9.
- Salih, N., Mansurbeg, H., Muchez, P., Gerdes, A. and Pr eat, A., 2021. Hydrothermal Fluids and Cold Meteoric Waters along Tectonic-Controlled Open Spaces in Upper Cretaceous Carbonate Rocks, NE-Iraq: Scanning Data from In Situ U-Pb Geochronology and Microthermometry. *Water*, 13, 3559.
- Salih, N., Mansurbeg, H. and Pr eat, A., 2020. Geochemical and Dynamic Model of Repeated Hydrothermal Injections in Two Mesozoic Successions, Proven al Domain, Maritime Alps, SE-France. *Minerals*, 10, 775.
- Salih, N.M., 2022. Scanning the Lower Cretaceous carbonate rocks utilizing stable isotopes and petrographic records, *Journal of Earth Sciences and Environmental Studies* 6(1).
- Salih, N.M., 2023. The Impact of Hydrothermal Fluids on Porosity Enhancement and Hydrocarbon Migration in Qamchuqa Formation, Lower Cretaceous, Kirkuk Oil Company. *Minerals*.

- Scotchman, I.C., Carr, A.D. and Parnell, J., 2006. Hydrocarbon generation modelling in a multiple rifted and volcanic basin: a case study in the Foinaven Sub-basin, Faroe–Shetland Basin, UK Atlantic margin. *Scottish Journal of Geology*, 42, 1-19.
- Searl, A., 1989. Saddle dolomite: a new view of its nature and origin. *Mineralogical Magazine*, 53, 547-555.
- Shah, M.M., Nader, F.H., Garcia, D., Swennen, R. and Ellam, R.M., 2012. Hydrothermal Dolomites in the Early Albian (Cretaceous) Platform Carbonates (NW Spain): Nature and Origin of Dolomites and Dolomitising Fluids. *Oil and Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles*, 67, 97-122.
- Shammary, T.A.A. and Kurkchi, W.M., 2023. Microfacies Analysis of the Carbonate Rocks in Ora Formation (Late Devonian, Early Carboniferous) in North Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 56, 2627-2639.
- Shen, A., Luo, X., Hu, A., Qiao, Z., and Zhang, J., 2022. Dolomitization evolution and its effects on hydrocarbon reservoir formation from penecontemporaneous to deep burial environment. *Petroleum Exploration and Development*, 49, 731-743.
- Sibley, D.F. and Gregg, J.M., 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Research*, 57, 967-975.
- Sissakian, V., Bar, M., Al-Ansari, N. and Knutsson, S., 2015. Development of Gulley Ali Beg Gorge in Rawandooz Area, Northern Iraq. *Engineering*, 7, 16-30.
- Slater, B.E. and Smith, L.B., 2012. Outcrop analog for Trenton–Black River hydrothermal dolomite reservoirs, Mohawk Valley, New York. *AAPG bulletin*, 96, 1369-1388.
- Su, A., Chen, H., Feng, Y.-X., and Zhao, J.-X., 2021. LA-ICP-MS U-Pb dating and geochemical characterization of oil inclusion-bearing calcite cements: Constraints on primary oil migration in lacustrine mudstone source rocks. *GSA Bulletin*, 134, 2022-2036.
- Taghavi Rad, A., Mørk, A. and Emadi, M., 2006. Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran Field, southwest Iran. *Petroleum Geoscience - PETROL GEOSCI*, 12, 115-126.
- Vandeginste, V., Swennen, R., Gleeson, S.A., Ellam, R.M., Osadetz, K. and Roure, F., 2005. Zebra dolomitization as a result of focused fluid flow in the Rocky Mountains Fold and Thrust Belt, Canada. *Sedimentology*, 52, 1067-1095.
- Vasconcelos, C. and McKenzie, J.A., 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Sedimentary Research*, 67, 378-390.
- Wallace, M.W. and Hood, A.V.S., 2018. Zebra textures in carbonate rocks: Fractures produced by the force of crystallization during mineral replacement. *Sedimentary Geology*, 368, 58-67.
- Wang, Z., Jiang, C., Yang, C., Jiang, Y. and Gu, Y., 2025. Hydrothermal activity and its influence on hydrocarbon accumulation in deep dolomite reservoirs of the Ediacaran Dengying Formation, Sichuan Basin. *Energy Geoscience*, 6, 100370.
- Warren, J., 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, 52, 1-81.
- Xu, H., Guo, X., Cao, Z., Alves, T. M., Tao, Z., Wang, B., Chen, J., Zuo, G., Zhang, X., and Luo, T., 2025. Petroleum-charge history of Paleozoic carbonates in the Tahe oil field, Tarim Basin, northwestern China: Insights from oil geochemistry, fluid inclusion, and U-Pb dating. *AAPG Bulletin*, 109, 57-84.

- Xu, Z., Liu, L., Wang, T., Wu, K., Gao, X., Dou, W., Xiao, F., Zhang, N., Song, X., and Ji, H., 2017. Application of fluid inclusions to the charging process of the lacustrine tight oil reservoir in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin, China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 149, 40-55.
- Yang, L., Jiang, Z., He, W., Ye, H., Wang, D., Tang, X., Mo, C., Gao, Z., Chang, Q. and Zhao, W., 2024. Fluid–rock interaction controlled by integrated hydrothermal fluid and fault: Implications for reservoir development. *Journal of Hydrology*, 643, 131793.
- Yinguo, Z., Qinghua, C., Ke, S., Zhenhe, W., Guolin, X., Jie, L., Qingfang, Z., Shuyu, W., and Baohua, L., 2022. Characteristics and influencing factors of Cretaceous reservoir in eastern depression of North Yellow Sea basin. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 1-12.
- Zhang, B., Zheng, R., Wang, X., Zheng, C., Wen, H., Luo, Y., and Chi, Y., 2012. Geochemical characteristics and diagenetic systems of dolomite reservoirs of the Changxing Formation in the eastern Sichuan Basin, China. *Petroleum Science*, 9, 141-153.
- Zhang, J., Hu, W., Qian, Y., Wang, X., Cao, J., Zhu, J., Li, Q., and Xie, X., 2009. Formation of saddle dolomites in Upper Cambrian carbonates, western Tarim Basin (northwest China): Implications for fault-related fluid flow. *Marine and Petroleum Geology*, 26, 1428-1440.
- Zhou, J.-X., Wang, X.-C., Wilde, S. A., Luo, K., Huang, Z.-L., Wu, T., and Jin, Z.-G., 2018. New insights into the metallogeny of MVT Zn-Pb deposits: A case study from the Nayongzhi in South China, using field data, fluid compositions, and in situ S-Pb isotopes. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 103, 91-108.



Appraisal of Nitrate Levels in Water Wells in Egyptian Fertilizers Company Headquarter, Ain Sukhna, Northwestern Gulf of Suez, Egypt

Ahmed A. Asmoay ^{1*} 

¹Geological Science Department, Advanced Materials Technology and Mineral Resources Research Institute, National Research Centre, El-Behoos St., Dokki, 12622-Giza, Egypt

Article information

Received: 28- Nov -2024

Revised: 06- Jan -2025

Accepted: 18- Feb -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Subsurface Water Wells,
Egyptian Fertilizers Company,
Nitrate Pollutant,
Non-carcinogenic Effects,
Cancer Diseases,

Correspondence:

Name: Ahmed A. Asmoay

Email: asmoay@gmail.com


ABSTRACT

The Egyptian Fertilizers Company (EFC) is situated in the Ain Sukhna region within the northwestern sector of the Gulf of Suez in Egypt. Twelve groundwater samples were procured from wells within the investigated area, and the presence of nitrogenous ions such as nitrate, nitrite, and ammonia was rigorously examined. To assess the quality of the water, ratios are utilized, emphasizing nitrate concentration, and the findings are juxtaposed with the guidelines established by the World Health Organization (WHO). The statistical methodologies endorsed by the United States Environmental Protection Agency (US-EPA) are employed to evaluate the health risks posed to the local populace. The findings indicate that the nitrate concentrations exceeded WHO thresholds in seven samples, nitrite levels exceeded in two samples, and ammonia contents exceeded in all samples, rendering the water unfit for human consumption. Elevated concentrations of NO_3 in the water samples were associated with anthropogenic activities, including the amalgamation of mixed wastewater and seawater intrusion. Nitrate levels surpassed the WHO (50 ppm) and US-EPA (10 ppm) standards, thereby presenting a non-carcinogenic risk from oral exposure, particularly for children, as hazard values exceeded the safety threshold (1). Conversely, dermal exposure did not present any significant risk. Nitrate can be converted to nitrite and N-nitroso derivatives via bacterial nitrification, which may induce carcinogenic effects within the digestive, urinary and excretory systems. Consequently, the remediation of the contaminated wells is imperative to safeguard the health of the local community.

DOI: [10.33899/injes.v26i1.60220](https://doi.org/10.33899/injes.v26i1.60220), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تقييم نسب النترات في آبار المياه بمقر الشركة المصرية للأسمدة، العين السخنة، شمال غربي خليج السويس، مصر

أحمد عبد العظيم أصمعي^{*1} 

¹ قسم العلوم الجيولوجية، معهد بحوث تكنولوجيا المواد المتقدمة والثروة المعدنية، المركز القومي للبحوث، القاهرة، مصر.

الملخص

تقع شركة الأسمدة المصرية في منطقة العين السخنة ضمن القطاع الشمالي الغربي من خليج السويس في مصر. تم جمع اثنتي عشرة عينة من المياه الجوفية من آبار المنطقة المدروسة، وتم فحص وجود الأيونات النيتروجينية مثل النترات والنترات والأمونيا بدقة. لتقييم جودة المياه، تم استخدام نسب تركيز النترات، ومقارنة النتائج مع الإرشادات التي وضعتها منظمة الصحة العالمية (WHO)، كما تم استخدام المنهجيات الإحصائية المعتمدة من وكالة حماية البيئة الأمريكية (US-EPA) لتقييم المخاطر الصحية التي يتعرض لها السكان المحليون. أظهرت النتائج أن تركيزات النترات تجاوزت الحدود المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية في سبع عينات، بينما تجاوزت مستويات النترات الحدود المسموح بها في عيتين، وتجاوزت الأمونيا الحدود المسموح بها في جميع العينات، مما يجعل المياه غير صالحة للاستهلاك البشري. وتم ربط ارتفاع تركيزات النترات (NO₃) في العينات بالممارسات البشرية، مثل خلط مياه الصرف الصحي والمياه المالحة نتيجة تسرب مياه البحر. تجاوزت مستويات النترات المعايير المحددة من قبل منظمة الصحة العالمية (50 جزءاً في المليون) ومعايير وكالة حماية البيئة الأمريكية (10 أجزاء في المليون)، مما يشكل خطراً غير سرطاني نتيجة التعرض عن طريق الفم، خاصة للأطفال، حيث تجاوزت قيم المخاطر الحد الأدنى (1). في المقابل، لم يشكل التعرض عن طريق الجلد أي خطر كبير. يمكن أن تتحول النترات إلى نترات ومشتقات نيتروزو (N-nitroso) عبر عملية النترجة البكتيرية، مما قد يسبب تأثيرات مسرطنة على الجهاز الهضمي والبولي والإخراجي. بناءً على ذلك، تصبح معالجة الآبار الملوثة أمراً ضرورياً لحماية صحة المجتمع المحلي.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 28- نوفمبر - 2024
تاريخ المراجعة: 06- يناير - 2025
تاريخ القبول: 18- فبراير - 2025
تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

آبار المياه الجوفية،
شركة الأسمدة المصرية،
ملوث النترات،
آثار غير مسرطنة،
مرض السرطان،

المراسلة:

الاسم: أحمد عبد العظيم أصمعي

Email: asmoay@gmail.com

DOI: [10.33899/injes.v26i1.60220](https://doi.org/10.33899/injes.v26i1.60220), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

The quality of groundwater in the northwest Gulf of Suez, including the Ain Sukhna industrial area, is seriously harmed by a mix of natural and human-made influences. Recent investigations have revealed that the groundwater in this area is extensively contaminated with numerous contaminants, mostly caused by industrial operations and inefficient waste management practices. Industrial operations encompass the sectors of ceramics, cement, bricks, and fertilizers. Groundwater has been marked by high levels of total dissolved solids (TDS), chloride, sulfate, and nitrate, which surpass permitted limits specified by WHO guidelines (Al-Awah et al., 2023; El-Rayes et al., 2023; Asmoay and Mabrouk, 2024). The confluence of industrial effluents and naturally occurring hydrogeochemical processes, including ion exchange and mineral disintegration, exacerbates the complex water quality issues confronting the aquifer systems in the region. Considering these several reasons, the groundwater in the northwest Gulf of Suez is typically regarded as unsuitable for consumption, while it may still be used for specific industrial applications with caution. This circumstance emphasizes the urgency for rigorous surveillance and strong environmental regulations to preserve public health and the environment in this quickly industrialized area (Al-Awah et al., 2023; El-Rayes et al., 2023; Asmoay and Mabrouk, 2024).

The adverse health consequences of nitrate contamination in groundwater have become an urgent issue globally, particularly in regions that depend on groundwater for drinking and irrigation. Numerous investigations have identified nitrate levels that surpass the WHO-recommended limit of 50 ppm in Egypt (WHO, 2022; Al-Awah et al., 2023; El-Rayes et al., 2023; Asmoay and Mabrouk, 2024). The leading cause of nitrate excess in groundwater is the overuse of synthetic nitrogenous fertilizers in agriculture, which leaches into the water supply (Saini et al., 2024; Aju et al., 2024). Animal and human excrement contribute to rising nitrate levels, especially in rural areas with deficient sanitation systems (Sun et al., 2023). Industrial discharges can increase nitrate contamination, worsening groundwater quality (Karunanidhi et al., 2024). Elevated nitrate levels can lead to hemoglobinemia, especially in kids, a disorder that affects the blood's ability to carry oxygen (Saini et al., 2024). Long-term exposure in adults has been associated with many health issues, including stomach issues (Saini et al., 2024). Researchers indicated that, compared to adults, children are more vulnerable to health risks due to nitrate exposure (Salman et al., 2019; Asmoay et al., 2023; Sun et al., 2023; Verma et al., 2023; Asmoay et al., 2024; Sun et al., 2024; Saini et al., 2024).

Identification and mitigation of nitrate pollution need ongoing groundwater quality monitoring (Karunanidhi et al., 2024; Sun et al., 2024; Aju et al., 2024). The necessity for thorough monitoring and management measures is becoming more widely acknowledged due to the serious health hazards associated with nitrate contamination in groundwater, especially for vulnerable people. Policymakers, researchers, and communities need to collaborate on solving these issues to ensure safe drinking water and safeguard the public's health.

Ain Sukhna is a manufacturing community and tourist attraction in the northwest of the Gulf of Suez, where the Egyptian Fertilizers Company is headquartered. The research will evaluate: a) water purity; b) water chemistry; c) the causes leading to contaminated water with nitrate in the concerned area; d) the consequences on health; and e) the demand for control and oversight plans to reduce the dangers of nitrate exposure in this headquarters.

Materials and Methods

Research Area

The geographical coordinates of the EFC encompass longitudes 32° 17'-32° 18' E and latitudes 29° 37'-29° 38' N (Fig. 1). The Egyptian Geological Survey excavated groundwater wells in 1999 to uncover the subsurface strata, which indicated Quaternary deposits of 4 m thick wadi sediments, sand, and gravel covering 45 m of Upper Miocene calcareous and argillaceous sandstones. At the basal layer, a thin section of clay, sandstone, and limestone from the Middle Miocene is present, with a freshwater aquifer composed of 40 m of sandstone (Fig. 2) (Sultan et al., 2017). The average air temperature of the Ain Sukhna Zone is 36 °C in July and 9 °C in January, indicating dry conditions. In addition to the region receiving moderate yearly rainfall of roughly 60 to 75 mm, mostly in the fall and winter, the relative humidity normally ranges between 45% and 60% (Mahgoob, 2023).

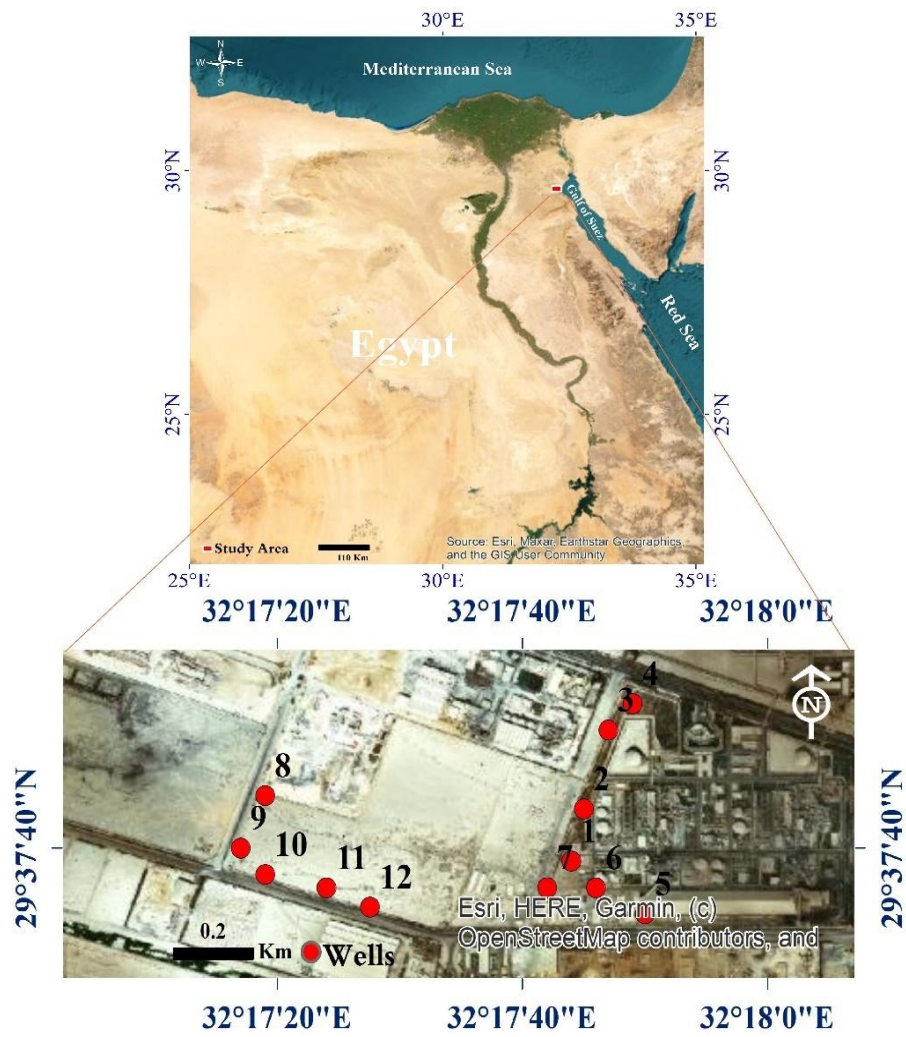


Fig. 1. Site map of the EFC area.

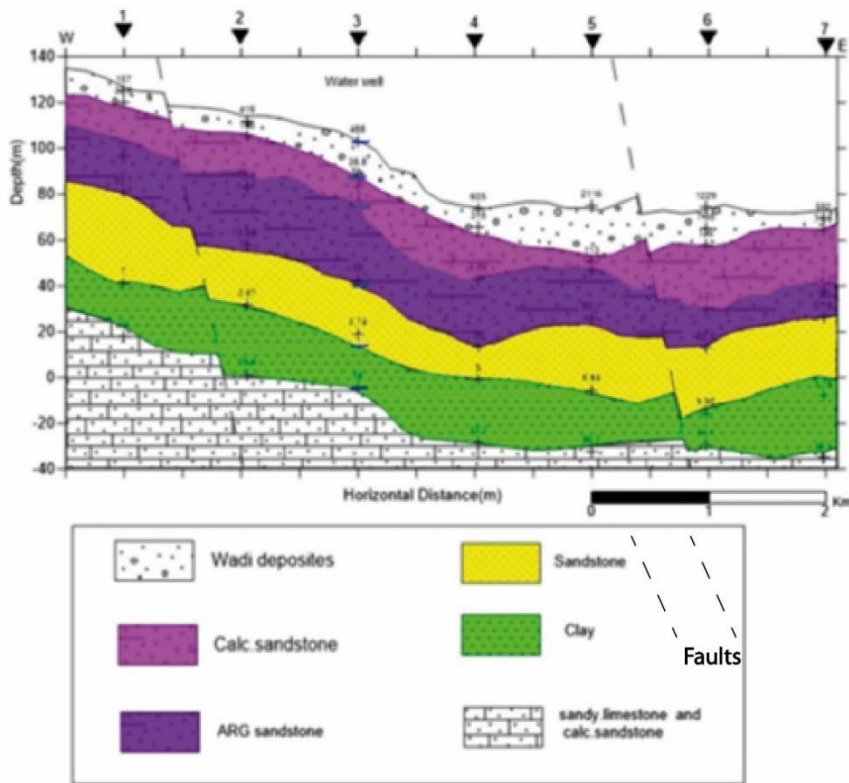


Fig. 2. Underlying geoelectrical cross-section of the research area (after Sultan et al., 2017)

Compilation of sample metrics and detection methodologies

Twelve groundwater samples were collected from EFC in June 2024 (Fig. 1), utilizing one-liter bottles that were pre-cleaned with a 1:1 diluted nitric acid solution and rinsed with distilled water. The samples underwent field preparation following standard protocols (APHA, 2017) as summarized in Table 1.

Table 1: Established procedural framework for notable ions present in the groundwater of EFC.

Parameters	Method, instrument (make)	Reagents
NO ₃ , NO ₂ and NH ₃ (ppm)	UV-Visible spectrophotometer (Spectronic 21, BAUSCH and LOMB)	Glycerol, HCl, ethyl alcohol, NaCl, BaCl ₂ , sodium sulphate Brucine-sulpanilic acid, KNO ₃ and H ₂ SO ₄

Data processing

Site maps are produced using ArcGIS software version 10.8. Statistical evaluations and graphical visualizations are conducted employing Excel version 365.

Evaluation of the risk associated with NO₃ levels in EFC subsurface water

The statistical methodology employed for the assessment of health risks utilizes quantitative techniques to evaluate the influence of hazardous water pollutants on human health. This evaluative framework encompasses hazard identification, dose-response evaluation, exposure assessment, and risk characterization (Salman et al., 2019; Asmoay et al., 2023; Asmoay et al., 2024). The present investigation examined the potential health risks associated with NO₃ in groundwater within EFC employing the widely recognized methodology established by the US-EPA (2011). The non-carcinogenic health risks were quantified utilizing Equations 1-4 (Salman et al., 2019; Asmoay et al., 2023; Asmoay et al., 2024).

$$HI = HQ_{Oral} + HQ_{Dermal} \tag{1}$$

US-EPA has established a threshold for a non-carcinogenic hazard quotient (HQ) and hazard index (HI) of 1 (US-EPA, 2011).

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \tag{2}$$

Where: *CDI* (mg.kg-1 d-1) is the consumption of daily intake; *RfD* (mg.kg-1 d-1) is the reference dose of a particular non-carcinogenic substance in water.

The primary pathways through which fluoride enters the human body include the consumption of high-nitrate water and dermal exposure to NO₃-contaminated water (Karunanidhi et al., 2024; Sun et al., 2023; Sun et al., 2024).

$$CDI_{Oral} = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \tag{3}$$

$$CDI_{Dermal} = \frac{C \times SA \times K_p \times EV \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \tag{4}$$

The definition and scope of various parameters employed in the EFC groundwater analysis elucidate the non-carcinogenic effects of NO₃ (Table 2) (US-EPA, 2014; Karunanidhi et al., 2024; Sun et al., 2023; Sun et al., 2024; Asmoay, 2025).

Table 2: Guidelines set by the US EPA (2014) on the subsequent coefficients.

Parametres	Significations	Children	Adults
RfD _{Oral} (mg.kg ⁻¹ d ⁻¹)	Reference dose of a particular non-carcinogenic substance in water	1.6	1.6
RfD _{Dermal} (mg.kg ⁻¹ d ⁻¹)	Reference dose of a particular non-carcinogenic substance in water	0.8	0.8
IR (L.d ⁻¹)	Rate of water consumption	0.78	2
EF (d.a ⁻¹)	Frequency of exposure	365	365
ED (a)	Duration of exposure	12	76.8
BW (kg)	Weight of residents	18.7	65
AT (d)	Life expectancy of residents	730	5475
SA (cm ²)	Skin contact surface area	1.2 x 10 ⁴	1.6 x 10 ⁴

K_p (cm.h ⁻¹)	Skin permeability coefficient	0.001	0.001
EV	Frequency of bathing	1	1
ET (h.d ⁻¹)	Bath duration	0.4	0.4
CF (L.cm ⁻²)	Volume conversion factor	0.001	0.001

Results

The analysis results of the investigated variables are listed in Table 3. The values of various indices of the non-carcinogenic impacts are indexed in Table 4. The nitrogen cycle and non-carcinogenic ratios are depicted in Figs. 3 and 4.

Table 3: Nitrogenous ions in EFC subsurface water.

Variables	Samples Numbers												WHO Guidelines (2022)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
NO ₃ (ppm)	90	110	105	86	104	100	91	36	17	23	12	8	50
NO ₂ (ppm)	2	4	1	2	1	3	6	1	2	1	1	1	3
NH ₃ (ppm)	127.4	106.4	277	126	11.2	30.8	4.2	87	7	21	15.2	44	1.5

Table 4: Non-carcinogenic indices result for excess nitrate in EFC subsurface water.

Sample Numbers	Consumption of daily intake (CDI)				Hazard quotient (HQ)				Total Hazard Index (HI)	
	Oral path		Dermal path		Oral path		Dermal path		HI	HI
	Adults	Children	Adults	Children	Adults	Children	Adults	Children	Adults	Children
1	1.821	3.798	0.012	0.030	1.138	2.373	0.007	0.019	1.145	2.392
2	2.226	4.641	0.014	0.037	1.391	2.901	0.009	0.023	1.400	2.924
3	2.124	4.430	0.014	0.035	1.328	2.769	0.008	0.022	1.336	2.791
4	1.740	3.629	0.011	0.029	1.087	2.268	0.007	0.018	1.094	2.286
5	2.104	4.388	0.013	0.035	1.315	2.743	0.008	0.022	1.323	2.765
6	2.023	4.219	0.013	0.034	1.264	2.637	0.008	0.021	1.273	2.658
7	1.841	3.840	0.012	0.031	1.151	2.400	0.007	0.019	1.158	2.419
8	0.728	1.519	0.005	0.012	0.455	0.949	0.003	0.008	0.458	0.957
9	0.344	0.717	0.002	0.006	0.215	0.448	0.001	0.004	0.216	0.452
10	0.465	0.970	0.003	0.008	0.291	0.607	0.002	0.005	0.293	0.611
11	0.243	0.506	0.002	0.004	0.152	0.316	0.001	0.003	0.153	0.319
12	0.162	0.338	0.001	0.003	0.101	0.211	0.001	0.002	0.102	0.213

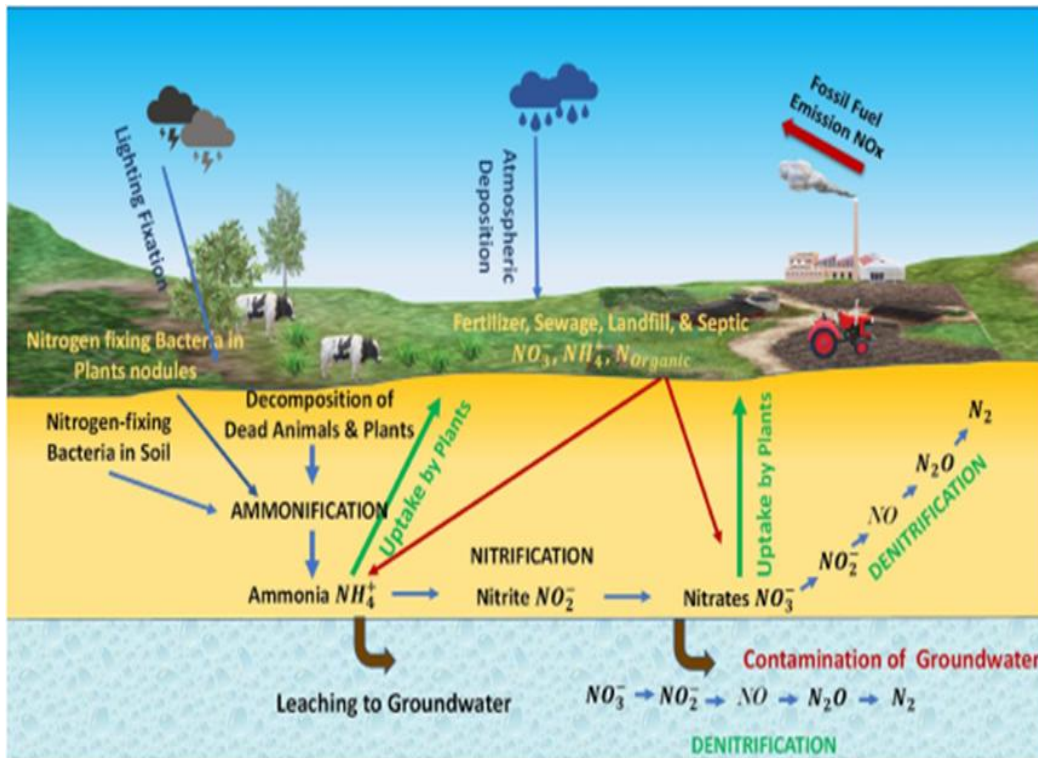


Fig. 3. Nitrogen metabolism and contamination from nitrates of groundwater (after Verma et al., 2023).

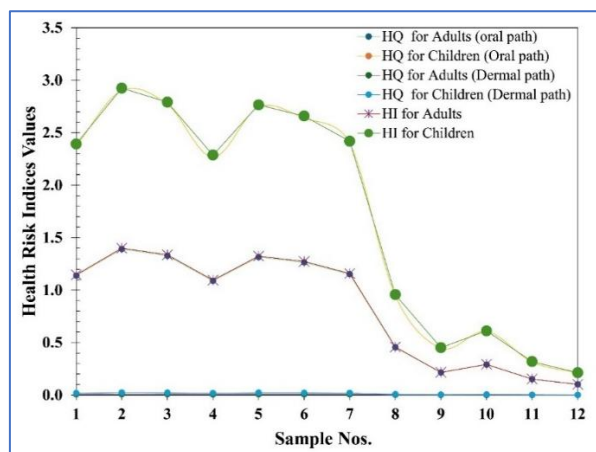


Fig. 4. Values of non-carcinogenic ratios of oral and dermal paths for individuals in water.

Discussion

Status of nitrogen ions in EFC subsurface water and their implications for health

Table 3 elucidates that nitrite (NO_3) levels exceed WHO recommendations in seven samples, while nitrite (NO_2) amounts pass the permissible limits in two samples. Ammonia (NH_3) concentrations are above the standard in all samples. Increased nitrate and nitrite levels in water may result in methemoglobinemia, especially in infants, a condition also referred to as "blue baby syndrome", which hampers the oxygen-carrying capacity of blood (Saini et al., 2024). Excessive ammonia levels in water can irritate the skin, eyes, and respiratory tract, as well as damage the liver and kidneys. Furthermore, it contributes to the eutrophication of aquatic ecosystems, leading to harmful algal blooms that can further compromise water quality and introduce additional health hazards (Saini et al., 2024). Consequently, all EFC groundwater samples are deemed unsuitable for domestic use and consumption.

Genesis of Nitrate in EFC water

The present increased levels of nitrate detected in seven wells situated within EFC denote the infiltration and amalgamation of wastewater into the groundwater system. Furthermore, the significant concentrations of ammonia are identified in the subsurface water of EFC, which are subject to conversion to NO_3 via nitrification processes, may further intensify the nitrate levels in the water (Fig. 3) (Verma et al., 2023). Consequently, the source of the elevated nitrate concentrations in the water of EFC can be ascribed to anthropogenic activities, predominantly the amalgamation with wastewater. Hence, it is imperative to evaluate the ramifications of heightened nitrate concentrations on the health of the local populace.

Overexposure to nitrate and its adverse effects on the health of EFC dwellers

Nitrate is a prominent environmental contaminant that is not only produced through natural processes but is also emitted because of various anthropogenic activities. These human-induced actions encompass the production and application of nitrate fertilizers, the combustion of fossil fuels, which contributes to atmospheric deposition, as well as the discharge from both residential and industrial wastewater treatment systems, alongside alterations in nitrogen-fixing crops within natural ecosystems (Sun et al., 2023; Verma et al., 2023; Karunanidhi et al., 2024; Sun et al., 2024). In many natural aquatic systems, nitrate constitutes a significant component of the ionic balance. Due to its detrimental effects on human health at elevated levels, NO_3 ions are incorporated into international regulations and guidelines (Karunanidhi et al., 2024; Sun et al., 2024). Nevertheless, prolonged exposure to heightened concentrations of nitrate can lead to severe health risks in children, including methemoglobinemia, commonly referred to as blue baby syndrome, and increased incidence of stomach cancer in adults (WHO, 2022; Sun et al., 2023; Verma et al., 2023; Karunanidhi et al., 2024; Sun et al., 2024). The research findings indicate that the oral ingestion of nitrate-contaminated water yields higher Chronic Daily Intake

(CDI_{Oral}) values for both adults and children compared to dermal exposure (CDI_{Dermal}) for both demographics (Table 4 and Fig. 4). Moreover, oral exposure (hazard quotient, HQ) to excessive nitrate has a more pronounced impact than cutaneous exposure, particularly among children (Table 4 and Fig. 4). The Hazard Index (HI) values for both adults and children exceed the US-EPA unitary standard in seven samples (Table 4 and Fig. 4). This underscores the fact that the health of children is disproportionately affected by the non-carcinogenic effects of nitrate compared to that of adults. These findings are consistent with the research regarding nitrate impacts in water across India (Pasupuleti et al., 2022; Karunanidhi et al., 2024).

When the nitrate content in EFC subsurface water is modified into carcinoma

Nitrate amounts in potable water that may induce carcinogenic effects typically fall below the existing regulatory limit established by the WHO of 50 mg/l and the US-EPA threshold of 10 mg/l (WHO, 2022; US-EPA, 2014). Empirical evidence suggests that even diminished levels can correlate with an augmented risk of various malignancies. Within the human body, nitrate can be reduced to nitrite and other N-nitroso derivatives, which are recognized as potentially carcinogenic (Espejo-Herrera et al., 2015; Schullehner et al., 2018; Essien et al., 2020; Su et al., 2021; Donat-Vargas et al., 2023). Specifically, nitrate exposure has been linked to colorectal cancer at concentrations exceeding 20 mg/l, gastric cancer at levels above 88 mg/l, bladder cancer at more than 5 mg/l, and prostate cancer at above 13.8 mg/l (Espejo-Herrera et al., 2015; Schullehner et al., 2018; Essien et al., 2020; Su et al., 2021; Donat-Vargas et al., 2023). Therefore, if the nitrate concentration in EFC subsurface water possesses the potential to be converted into nitrite, it may subsequently pose a carcinogenic threat.

Conclusion

Egyptian Fertilizers Company predominantly utilizes groundwater for its daily operations, necessitating a thorough assessment. Elevated nitrate levels in water, when ingested, exceed the UE-SPA standards regarding non-carcinogenic effects (1) for both adults and children, although dermal exposure is considered safe for both demographics. Elevated nitrate concentrations in water can lead to health complications, potentially resulting in cancer if converted to nitrite and other N-nitroso compounds through bacterial nitrification processes. This can trigger methemoglobinemia, commonly known as blue baby syndrome, and a heightened risk of cancers in the stomach, bladder, gastric region, prostate, and colorectal areas. Consequently, water samples contaminated with nitrate, nitrite, or ammonia require treatment to mitigate the complex health risks posed to residents.

Acknowledgements

We are grateful to the National Research Centre (Egypt).

Conflict of Interest

The author declares that there are no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript.

References

- Aju, C.D., Achu, L., Poolayil, M.M., Mani Christy, R., Reghunath, R. and Gopinath, G., 2024. Emerging nitrate contamination in groundwater: changing phase in a fast-growing state of India. *Chemosphere*, 357, pp. 141-164. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141964>.
- Al-Awah, H., Redwan, M. and Rizk, S., 2023. Groundwater hydrogeochemistry impacted by industrial activities in Ain Sukhna industrial area, north-western part of the Gulf of Suez, Egypt. *Sustainability*, 15(17), pp. 12787. <https://doi.org/10.3390/su151712787>.

- APHA, 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed., Washington DC: American Public Health Association. <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>.
- Asmoay, A.A., 2025. Appraisal of fluoride contaminate in groundwater at an industrial area, Northwest Gulf of Suez, Egypt. Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s43994-025-00221-w>.
- Asmoay, A., Mohamed, A., Alshehri, F., Linh, N.T.T., Al-Ansari, N. and Othman, A., 2023. Water quality assessment in dry regions using statistical methods. J King Saud University, Science, 35(5), pp. 102665. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102665>.
- Asmoay, A.A. and Mabrouk, W.A., 2024. Appraisal of rock-water interaction and frailty of groundwater to corrosion and salinization, northwestern Gulf of Suez, Egypt. J Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci., 10, pp. 39–50. <https://doi.org/10.1007/s43994-023-00075-0>.
- Asmoay, A.A., Mousa, I. and Mohamed, A., 2024. Appraisal of heavy metal content in the groundwater at WW El Minya District of Egypt. Egyptian Journal of Chemistry, 7(3), pp. 169-80. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.225414.8326>.
- Donat-Vargas, C., Kogevinas, M., Castaño-Vinyals, G., Pérez-Gómez, B., Llorca, J., Vanaclocha-Espí, M., Fernandez-Tardon, G., Costas, L., Aragonés, N., Gómez-Acebo, I. and Moreno, V., 2023. Long-term exposure to nitrate and trihalomethanes in drinking water and prostate cancer: a multicase–control study in Spain (MCC-Spain). Environmental Health Perspectives, 131(3), pp. 037004. <https://doi.org/10.1289/EHP11391>.
- El-Rayes, A.E., Arnous, M.O., Green, D.R. and Gouda, N.F., 2023. Geo-hazards assessment of the new-found industrial communities: an example from the 10th of Ramadan Industrial Region, Egypt. Environ Syst Res, 12, pp. 21. <https://doi.org/10.1186/s40068-023-00306-7>.
- Espejo-Herrera, N., Cantor, K.P., Malats, N., Silverman, D.T., Tardón, A., García-Closas, R., Serra, C., Kogevinas, M. and Villanueva, C.M., 2015. Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in Spain. Environmental research, 137, pp. 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.envres.10.034>.
- Essien, E.E., Said Abasse, K., Côté, A., Mohamed, K.S., Baig, M.M.F.A., Habib, M., Naveed, M., Yu, X., Xie, W., Jinfang, S. and Abbas, M., 2020. Drinking-water nitrate and cancer risk: A systematic review and meta-analysis. Archives of environmental & occupational health, 77(1), pp. 51-67. <https://doi.org/10.1080/19338244.2020.1842313>.
- Karunanidhi, D., Aravinthasamy, P., Priyadarsi, D., Roy, T., Subramani, H. and Chandra, J., 2024. Nitrate contamination in groundwater and its evaluation of non-carcinogenic health hazards from Arjunanadi River basin, south India. Groundw Sustain Dev, 25. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101153>.
- Mahgoob, Y., 2023. Impact of Climate and Environment Changes on the Sustainability of the Coastal Areas the Case of Ain Sukhna, Red Sea, Egypt. International Journal of Multidisciplinary Studies in Architecture and Cultural Heritage, 6(1), pp. 98-116. <https://doi.org/10.21608/ijmsac.2023.193634.1020>.
- Pasupuleti, S., Singha, S.S., Singha, S., Kumar, S., Singh, R. and Dhada, I., 2022. Groundwater characterization and non-carcinogenic and carcinogenic health risk assessment of nitrate exposure in the Mahanadi River Basin of India. Journal of Environmental Management, 319, pp. 115746. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115746>.

- Saini, A., Kanwar, P. and Garg, J., 2024. Potential health risk assessment of nitrate in groundwater of Tonk district in Rajasthan, northwestern India. *Int J Environ Anal Chem*, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1080/03067319.2023.2299947>.
- Salman, A.S., Asmoay, A.A., El-Gohary, A. and Sabet, H., 2019. Evaluation of human risks of surface water and groundwater contaminated with Cd and Pb south of El-Minya Governorate, Egypt. *Drinking Water Eng Sci*, 12, pp. 23-30. <https://doi.org/10.5194/dwes-12-23-2019>.
- Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C. and Sigsgaard, T., 2018. Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study. *International Journal of Cancer*, 143. <https://doi.org/10.1002/ijc.31306>.
- Su, H., Kang, W., Li, Y. and Li, Z., 2021. Fluoride and nitrate contamination of groundwater in the Loess Plateau, China: Sources and related human health risks. *Environmental Pollution*, 286, pp. 117287. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117287>.
- Sultan, A.S., Essa, K.S., Khalil, M.H., El-Nahry, A.H. and Galal, A.N., 2017. Evaluation of groundwater potentiality survey in south Ataq northwestern part of Gulf of Suez by using resistivity data and site-selection modeling. *NRIAG J Astron Geophys*, 6, pp. 230–243. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2017.02.002>.
- Sun, Q., Lang, G., Liu, T., Liu, Z. and Zheng, J., 2024. Health risk analysis of nitrate in groundwater in Shanxi Province, China: a case study of the Datong Basin. *J Water Health*, 22. <https://doi.org/10.2166/wh.2024.320>.
- Sun, Q., Yang, K., Liu, T., Yu, J., Li, C., Yang, D., HU, C. and Guo, L., 2023. Health risk assessment of nitrate pollution of drinking groundwater in rural areas of Suihua, China. *J Water Health*, 21. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.069>.
- US EPA, 2011. *Exposure Factors Handbook*: U.S Environmental Protection Agency. 2011 Edition. EPA/600/R–09/052F. <https://www.nrc.gov/docs/ml1400/ml14007a666.pdf>
- US EPA, 2014. *Health evaluation manual, supplemental guidance: update of standard default exposure factors*. OSWER directive 9200.1–120. United States Environmental Protection Agency; Washington, DC. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/OSWER-Directive-9200-1-120-ExposureFactors.pdf>
- Verma, A., Sharma, A., Kumar, R. and Sharma, P., 2023. Nitrate contamination in groundwater and associated health risk assessment for Indo-Gangetic Plain, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 2023; 23. <https://doi.org/10.1016/j.gsd. 100978>.
- WHO, 2022. *Guidelines for drinking-water quality*: World Health Organization. Fourth edition incorporating the first and second addenda. ISBN978-92-4-004506-4. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/69c17edd-ee26-425b-9d34-33799377e886/content>



Assessment of Air Contamination in Mosul University Campus Using Remote Sensing and GIS Techniques

Alaa N. Hamdon ¹ , Sabah H. Ali ² , Abdalrahman R. Qubaa ^{3*} , Hikmat S. Al-Daghistani ⁴

^{1,2,3,4} Remote Sensing Center, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 23- Oct -2024

Revised: 01- Dec -2024

Accepted: 26- Jan -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Air contamination,
PM2.5,
PM10,
Mosul University,
GIS,

Correspondence:

Name: Abdalrahman R. Qubaa

Email:

abdqubaa@uomosul.edu.iq

ABSTRACT

Air pollution is a significant problem in densely populated areas such as the university campus. This study investigates the spatial levels and distribution of air pollutants within the University of Mosul campus. A special measuring device is used with remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) data. Ground-level monitoring data assesses major pollutants such as particulate matter (PM2.5 and PM10) and other gases. Satellite images and digital elevation models (DEMs) are processed to extract spatial distribution information of pollutant concentrations and to learn about the effects of terrain. GIS techniques analyze spatial patterns and correlations between pollutant levels and different campus features, such as transportation routes and green spaces. Ground-level monitoring stations are strategically placed throughout the campus to validate the results. The results cover the winter 2023, spring 2024, and summer 2024 periods at 16 selected locations. The results show higher concentrations of PM2.5 and PM10 in spring compared to summer and winter, with values of 30.594 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 40.298 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The highest concentrations are observed at the main entrances of the campus due to increased traffic. PM2.5 levels exceeded both the Iraqi limit and the WHO standard of 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while PM10 concentrations exceeded the WHO limit of 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ but within the Iraqi limit of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. This research contributes to effective environmental monitoring methodologies and highlights the importance of innovative techniques for assessing air pollution in educational institutions and urban environments.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60770](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60770), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تقييم تلوث الهواء في حرم جامعة الموصل باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

علاء نبيل حمدون¹ ID، صباح حسين علي² ID، عبدالرحمن رمزي قبع³ ID*، حكمت صبحي الداغستاني⁴

^{1,2,3,4} مركز التحسس النائي، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

ملخص	معلومات الارشفة
يعد تلوث الهواء مشكلة بالغة الأهمية في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية مثل الحرم الجامعي. تبحث هذه الدراسة في كشف مستويات وتوزيع الملوثات الجوية المكانية داخل حرم جامعة الموصل. تم استخدام جهاز قياس خاص مع بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). تقوم بيانات الرصد على مستوى الأرض بتقييم الملوثات الرئيسية مثل الجسيمات (PM10 و PM2.5) والغازات الأخرى. تتم معالجة صور الأقمار الصناعية ونماذج الارتفاع الرقمية (DEM) لاستخلاص معلومات التوزيع المكاني لتراكيز الملوثات ولمعرفة تأثيرات التضاريس. تحلل تقنيات نظم المعلومات الجغرافية الأنماط المكانية والارتباطات بين مستويات الملوثات وميزات الحرم الجامعي المختلفة مثل طرق النقل والمساحات الخضراء. تم وضع محطات الرصد على مستوى الأرض بشكل استراتيجي في جميع أنحاء الحرم الجامعي للتحقق من صحة النتائج. غطت النتائج فترات الشتاء 2023 والربيع 2024 والصيف 2024 في 16 موقعًا مختلفًا. اشارت النتائج إلى ارتفاع تراكيز الجسيمات PM2.5 و PM10 في الربيع مقارنة بالصيف والشتاء بقيم 30.594 ميكروغرام/م ³ و 40.298 ميكروغرام/م ³ على التوالي. وقد لوحظت أعلى التراكيز عند المداخل الرئيسية للحرم الجامعي بسبب زيادة حركة المرور. تتجاوز مستويات PM2.5 كلاً من الحد العراقي ومعيار منظمة الصحة العالمية البالغ 10 ميكروغرام/م ³ ، في حين تتجاوز تراكيز PM10 حد منظمة الصحة العالمية البالغ 20 ميكروغرام/م ³ ولكنها ضمن الحدود العراقية البالغة 50 ميكروغرام/م ³ . يساهم هذا البحث في منهجيات مراقبة بيئية فعالة ويسلط الضوء على أهمية التقنيات المبتكرة لتقييم تلوث الهواء في المؤسسات التعليمية والبيئات الحضرية.	تاريخ الاستلام: 23- أكتوبر-2024 تاريخ المراجعة: 01- ديسمبر-2024 تاريخ القبول: 26- يناير-2025 تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل-2026 الكلمات المفتاحية: تلوث الهواء الجسيمات العالقة جامعة الموصل نظم المعلومات الجغرافية المراسلة: الاسم: عبدالرحمن رمزي قبع Email: abdqubaa@uomosul.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60770](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60770), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Pollution is defined as the introduction of pollutants into the environment that are toxic to humans and other living organisms. Pollutants are toxic solids, liquids, or gases created in larger amounts than usual, lowering the quality of our environment (Ioannis et al., 2020). Air pollution primarily affects urban areas, with traffic emissions being the primary contributor to poor air quality (Al-Hayani and Thanoon, 2025). Toxic fog from industrial mishaps might pose a risk to nearby communities. Pollution dispersal depends on several factors, including atmospheric stability and wind (Sathya et al., 2023). Numerous contaminants play a significant role in human diseases. Among these, inhaled particulate matter (PM) which refers to a mixture of solid particles and liquid droplets prevalent in the air. Dust, grime, soot, and smoke are some of the larger or darker particles that can be seen with the naked eye. Others are so minuscule that they can only be detected using an electron microscope (Carvalho et al., 2018). Inhaled particulates of PM can cause oxidative stress and inflammation in the brain directly through the

nose or indirectly through reactions in the peripheral nervous system. Other pollutants are dioxins, sulfur dioxide, nitrogen oxides, dioxin-containing volatile organic compounds (VOCs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), are all regarded as hazardous air pollutants for human health. Air pollution produces significant health risks and environmental concerns in urban areas (World Health Organization, 2021), including university campuses. With the increasing awareness of the adverse effects of air pollution on human health and the environment, there is a growing need for efficient monitoring and assessment strategies and techniques (Amina et al., 2022). The WHO and EPA established air quality guidelines and criteria for various pollutants as a means of managing air quality (WHO, 2024; NEPIS, 2017). To identify the trouble spots, these criteria need to be matched to the emissions inventory standards using dispersion modeling and causal analysis. In general, direct measurements and emissions modeling are used to create inventories. Recently, remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) have emerged as powerful tools for studying air quality, offering spatially explicit data and analytical capabilities to identify sources of pollution and assess their impacts (Faezeh et al., 2024; Amina et al., 2022). Remote sensing provides a non-invasive means of acquiring data over large areas, enabling the detection of air pollution hotspots, such as vehicular emissions, industrial facilities, and biomass burning (Huang et al., 2020). Remote sensing satellites have been using algorithms to estimate pollutant levels, including PM 2.5, based on optical properties. Therefore, local measurements can help in making comparisons and improving these algorithms, increasing the effectiveness of verification and reducing expected errors. Through the analysis of satellite imagery, pollutants like particulate matter (PM) and Carbon dioxide (CO₂) can be quantified and mapped with high spatial resolution (Sabah et al., 2023). GIS serves as a robust platform for integrating, visualizing, and analyzing spatial data obtained from remote sensing and ground-based monitoring stations.

In Amina et al. (2022), PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations were measured in different areas of Mosul City from September 2020 to February 2021 in 10 locations, executed by the IDW interpolation method in GIS. The results showed levels above the WHO limits of PM_{2.5} and PM₁₀.

Al-Jarrah (2015) used air pollution measuring devices to measure concentrations of pollutants such as carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂), ground-level ozone (O₃), and fine particles (such as PM₁₀ and PM_{2.5}). The results of the study indicated a strong relationship between air pollution levels and traffic volume, as levels of pollutants such as PM₁₀ and CO increased in locations with heavy traffic. Climate data also showed an effect on the concentration of these pollutants.

The current study focuses on the application of remote sensing and GIS techniques for assessing air contamination with PM_{2.5} and PM₁₀ within the Mosul University campus environment. University campuses, characterized by diverse activities and infrastructure, represent microcosms of urban environments with unique air quality challenges. By leveraging satellite data and ground-based sensors, coupled with GIS-based spatial analysis, we aim to comprehensively evaluate the spatial distribution and temporal variation of air pollutants across the campus by overlaying pollution maps with land use/land cover data and meteorological parameters (Younis, 2021). GIS facilitates the identification of vulnerable areas within the campus and the characterization of exposure risks to different population groups (Tikader et al., 2023). Furthermore, GIS-based modeling techniques, such as dispersion modeling and spatial interpolation, allow for the prediction of pollutant concentrations at unmonitored locations.

Materials and Methods

Study Area and Topography

The University of Mosul is located within the city of Mosul, in northern Iraq at the geographical coordinates of Latitude (36°:22':25.10" – 36°:23':35.40") N and Longitude (43°:07':37.10" – 43°:09':11.40") E, Figure. 1. The first building blocks of the construction of

Mosul University date back to 1959 AD, the year when the Faculty of Medicine began its first academic year in Mosul, but the actual appearance of Mosul University was as a scientific educational institution based on the ground dating back to April 1 of the year 1967 AD (Al-Heety et al. 2022). The University of Mosul is known for its rich academic reputation. It includes (24) colleges and (7) research centers. The University covers a large area of about 2.544 km². The University has a large student population, estimated at approximately 75,000 male and female students (Mahmood et al. 2020).

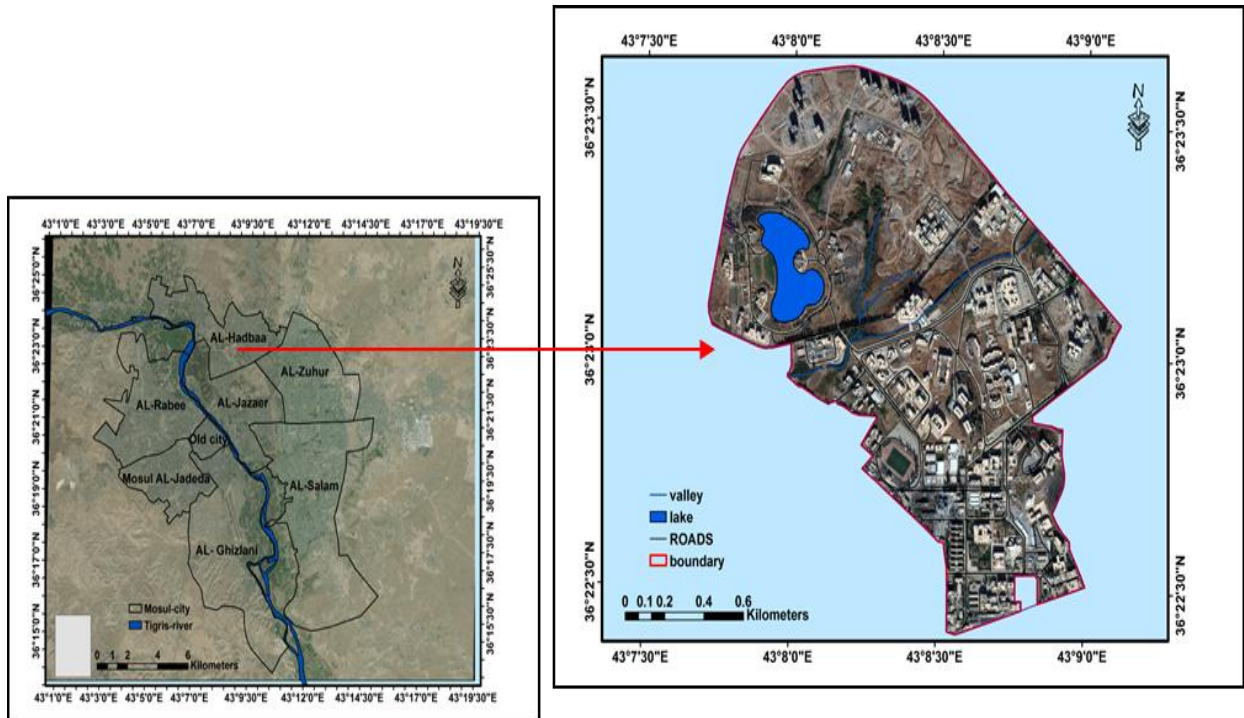


Fig. 1. Study Area: Mosul University (Source: Organized by authors).

The topography elevation for Mosul University has a spatial contrast, as shown in Figure 2. According to the adopted Digital Elevation Model (DEM) with a spatial resolution of 30m, the elevation varies from 235 meters in the south to 269 meters in the north and northeast. The Al-Kharazi Valley is the main course with its tributaries, which dominates the topography of the study area through the vertical drilling of this network and its impact on the morphology of the terrain.

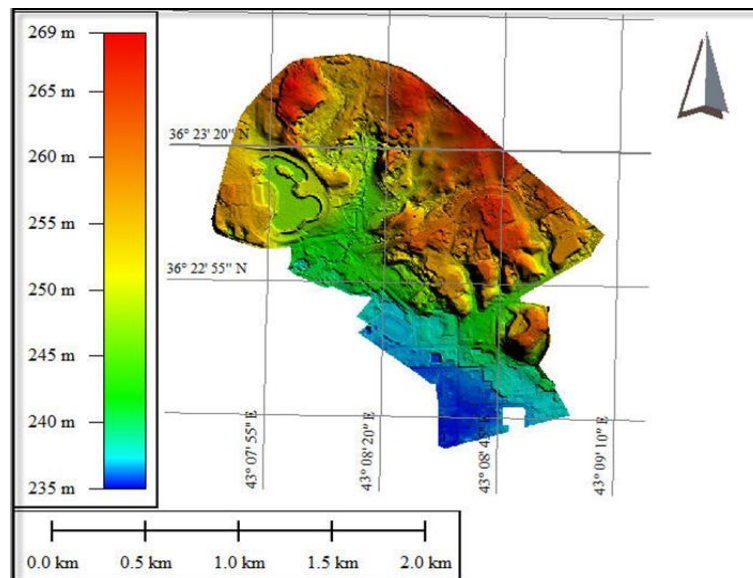


Fig. 2. Topographic aspect of Mosul University.

Data Collection and Method

Due to its central location, Mosul University experiences a constant flow of vehicular traffic. The number of cars entering the university daily can vary; it will reach more than 9728 vehicles in 2024, as statistically documented in the presidency of Mosul University, given the volume of students and staff, as well as the ongoing activities taking place within its buildings. Vehicles emit many pollutants into the air, including carbon monoxide, carbon dioxide, hydrocarbons, nitrogen oxides, sulfur oxides, and volatile organic compounds. These pollutants then combine to form secondary pollutants such as fine particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀) and ozone (Henna et al. 2024). In this study, the portable device (Temtop M2000/ American Elitech Technology) was used to measure the concentration of PM in the field at the selected sites on the Mosul University campus, Figure.3. The device depends on the principle of dynamic light scattering (DLS) technology, which is a technique to determine the size of the particles by using random changes in the intensity of light spread across the air (Ren et al. 2020). The device captures the spread light at a given angle to measure the concentrations of the trapped particles PM_{2.5} and PM₁₀ in the surrounding air and converts it into visual data that displays directly on the device screen with a unit of ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Mahmood et al. 2020). WorldView-2 satellite imagery with natural color bands (2, 3, 5) was used to identify particulate matter (PM) concentration levels across a selected site in the university campus. This high-resolution satellite imagery, equipped with advanced multispectral imagery with eight bands, Table 1.



Fig. 3. Temtop M2000 device.

Table 1: Worldview2 spectral bands (<https://earth.esa.int/eogateway/missions/worldview-2>).

Band no.	Description	Spectral Resolutions (nm)	Spatial Resolution
1	Coastal blue	400-450	1.85 m
Used 2	Blue	450-510	
Used 3	Green	510-580	
4	Yellow	585-625	
Used 5	Red	630-690	
6	Red-edge	705-745	
7	NIR1	770-895	
8	NIR2	860-1040	
Panchromatic band		450-800	46 cm

All the (16) selected sites were identified using GPS map 76CSx by geographical coordinate system (latitude and longitude). Figure 4 illustrates the location of the selected sites on campus; most chosen locations suffer from traffic congestion, which contributes to the emission of gases and particulate matter from the vehicles' exhaust. Table 1 lists the numbers,

longitude, latitude, and the PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations readout for each site indicated in Figure 4. Three periods were adopted in measuring the seasonal average of the PM_{2.5} and PM₁₀ (Winter, 2023, and Spring, Summer, 2024).

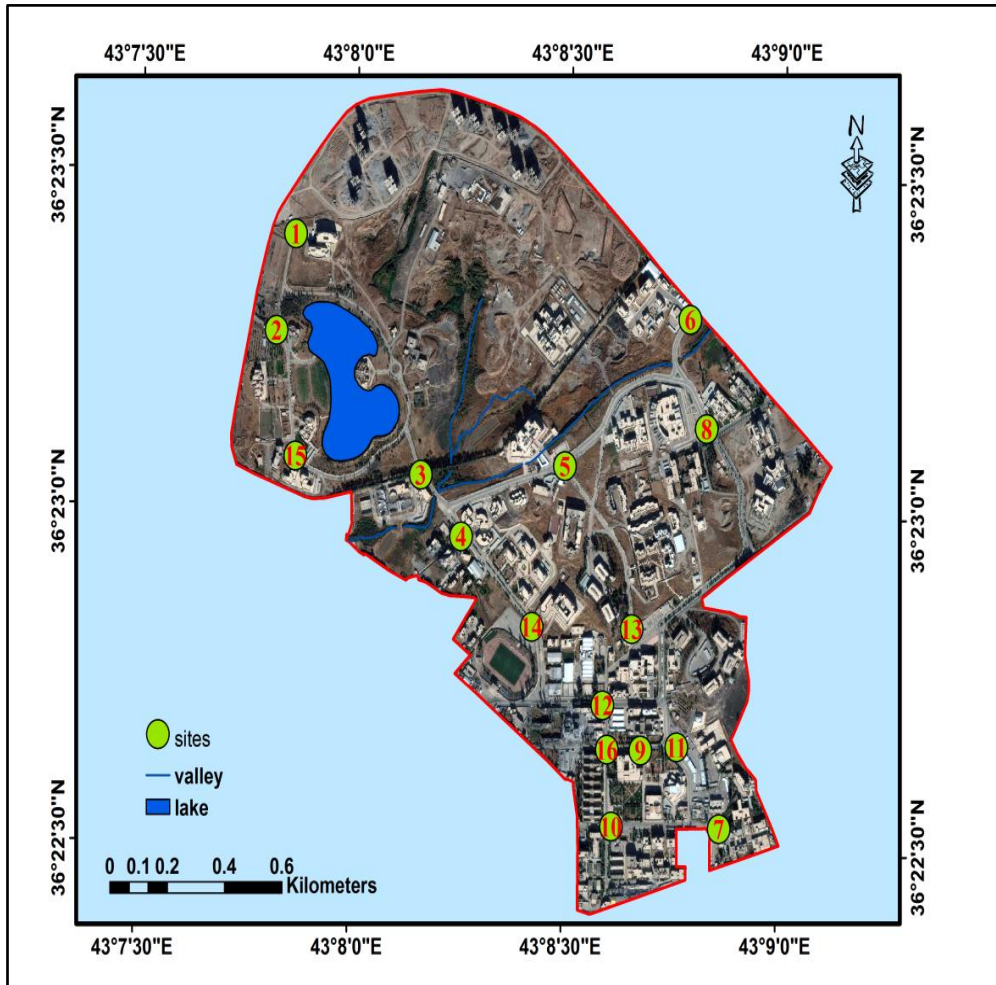


Fig. 4. The selected sites in Mosul University campus (Worldview2 image, natural color bands 2,3, and 5).

The Geographical Information System (GIS) includes analytical method which are very useful in the geographical distribution of environmental features, such as air pollution monitoring data, studying the causes of problems, and developing prevention strategies (Jumaah et al. 2019). Linking different types of data, such as PM_{2.5} and PM₁₀, is useful with GIS. In the present study, to create surface maps for PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations, the measurement dataset listed in Table 1 was spatially analyzed by using ArcGIS 10.6.1. The Inverse Distance Weight (IDW) interpolation method was extended to the entire surface of the study area for the seasons of Winter 2023, Spring 2024, and Summer 2024. One advantage of the IDW technique is that it maintains the measured value at the sample site and assumes that sample points closer to the cell have a higher impact on the cell's estimated value than sample points farther away, this is in line with the dispersion of air pollution, where nearby sources have a greater impact on PM_{2.5} levels (Sabah et al. 2018) (Kanghyeok 2022). The concentrations of each particulate matter, as well as the associated distribution of the particles and their concentration, could be analyzed and classified using the interpolated surface of the PM_{2.5} and PM₁₀ for each site in the study region for each month. Figure 5 illustrates the flow chart of the methodology applied in the current study.

Table 1: Temtop M2000 device and GPS readouts for each site.

No.	Site names	Longitude (degree)	Latitude (degree)	Winter 12/2023		Spring 3/2024		Summer 6/2024	
				PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	College of Medicine	43.131	36.3901	16.8	22.3	21.2	27.7	15.2	23.6
2	Main entrance (College of Agriculture)	43.1303	36.3877	19.2	27.9	26.8	32.9	15.1	25.3
3	Entrance to Palaces (University Press)	43.136	36.3842	15.3	25.4	24.5	29.7	13.7	21.6
4	University Presidency Building	43.1376	36.3827	13.9	23.8	22.5	28.5	15.8	25.4
5	Intersection of Environmental Sciences College	43.1416	36.3845	14.9	26.5	23.8	31.8	17.8	27.4
6	Main entrance (College of Medicine gate)	43.1464	36.3882	19.4	32.8	27.1	36.7	19.7	29.2
7	Main entrance (College of Engineering)	43.1478	36.3756	14.8	24.8	22.5	28.7	18.3	27.3
8	College Dentistry Intersection	43.1471	36.3855	15.1	23.6	24.1	27.6	15.2	24.6
9	Student Center Junction - College of Education	43.1447	36.3775	17.2	27.3	26.5	35.4	16.4	26.6
10	College of Science Junction	43.1436	36.3756	19.7	30.5	30.6	37.9	17.1	26
11	Transport Car Park (College of Computer Science and Mathematics)	43.1461	36.3776	16.8	33.5	28.4	39.1	20.7	32.1
12	Nursery junction	43.1432	36.3786	17.9	31.8	25.9	39.9	21.7	34.8
13	Intersection of Arts College and female internal sections	43.1443	36.3805	16.5	33.9	26.3	41.3	24.9	36.7
14	External car parking (Girls Education College)	43.1404	36.3805	15.1	26.8	24.6	34.8	16.3	27.9
15	Car Parking (Scientific and Literary Forum Building)	43.1311	36.3846	14.7	23.7	22.3	30.6	14.7	23.1
16	Erbil and Duhok car parking (University bank intersection)	43.1434	36.3775	17.2	31.1	29.2	38.7	20.5	32.1

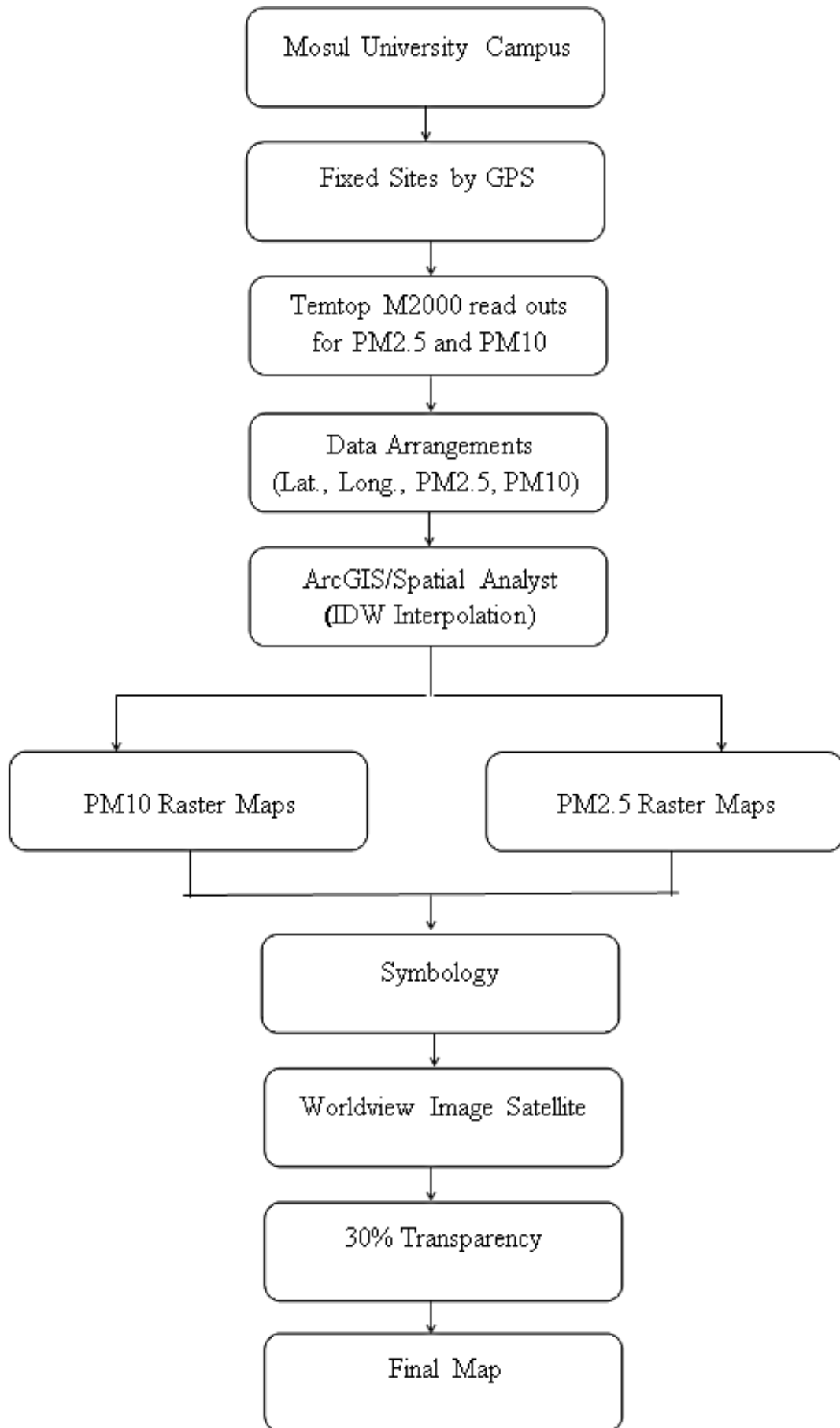


Fig. 5. Flow chart of the adopted methodology.

Results and Discussion

Seasonal changes in the weather cause spatial variations in PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations. Weather and PM emissions are both subject to change. Generally, the climate of the study region is similar to that of Mosul city, which means: a hot and dry Summer (June, July, and August), cool and rainy Winter (December, January, and February), Transitional Spring (March, April, and May), and Autumn (September, October, and November). Figures 6 and 7 depict PM_{2.5} and PM₁₀ spatial distribution on the Mosul university campus, respectively, as a function of the Winter 2023, Spring 2024, and Summer 2024 seasons. The figures depict the levels of PM_{2.5} and PM₁₀ based on the high number of vehicles on campus, which are related to the working hours of lecturers, students, administrative, and other technical staff as issued by the Ministry of Higher Education and Scientific Research's yearly university calendar.

However, Figure 6 shows the spatial and temporal distribution of the PM_{2.5} concentrations. The highest concentration of PM_{2.5} particles is seen in the spring season, specifically at site (10), which is one of the main entrances to the university campus, due to the increased traffic from cars within the campus during the spring semester, and also due to student activities. Site (10) is located near a commercial street and is surrounded by several colleges and scientific departments, as well as a lack of green spaces. In contrast, the concentration levels of PM_{2.5} are generally low in other sites, particularly in the northwestern part of the campus known as the Palaces Complex. This area has fewer buildings, fewer student activities, less traffic congestion, and the presence of green spaces and a lake.

The spring season is a transitional season characterized by weather fluctuations, such as rain showers and moderate temperatures. Additionally, there is a spring break for students and faculty. In the summer season, official work was suspended for students, staff, and faculty, resulting in decreased car traffic within the university campus and consequently lower levels of pollution of PM_{2.5}. Figure 6 also indicates that most areas of the campus are relatively free of pollution, except for certain sites like site (13) and its surroundings. Site (13) serves as an intersection point for cars from the Faculty of Arts and the student dormitories. It is also home to a university shopping center, which contributes to the highest pollution concentration recorded in this area (24.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

It is important to note that high temperatures during summer lead to increased evaporation of moisture, which in turn dries dust particles and reduces their weight. This leads to a wider spread of particles in areas with high pollution resulting from heavy traffic (Giang et al. 2023). In winter, rain acts as a purifier, cleansing the air from PM_{2.5}. Some of these particles serve as condensation nuclei, where water vapor condenses on them and causes them to fall; others are washed away by rain (Al-Jarrah 2015). Consequently, the levels of PM_{2.5} concentrations decrease in most locations of the study area during winter. The highest concentration value (19.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) was observed at locations (2, 6, and 10), which are the main entrances for cars to the university campus. It is important to note that winter is a season with full official working hours for faculty, staff, and students.

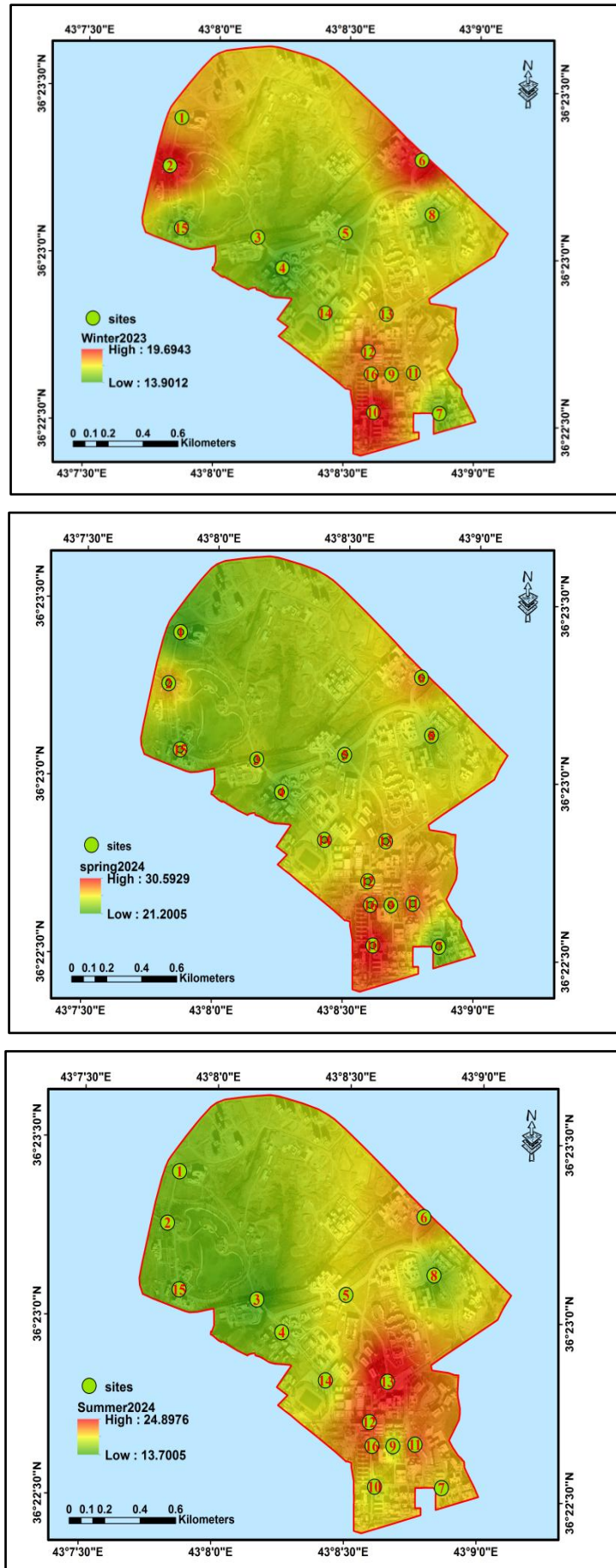


Fig. 6. Seasonal spatial distribution of the PM2.5 concentration.

This research-based case study also examines the seasonal spatial distribution of PM10 within the university campus. Figure 7 provides a visual representation of this distribution, while Table 2 presents relevant data. Upon analyzing the figure and table, it is evident that the concentration level of PM10 particles is higher compared to PM2.5 particles across all seasons considered in this study. However, there is a notable similarity in the spatial and temporal distribution patterns, particularly during the spring and summer seasons. Regarding the seasonal spatial distribution of PM10 particles, it is noteworthy that the concentration is highest during the spring season, reaching a value of (41.2981 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). On the other hand, the concentration is lowest during the winter season, reaching a value of (33.8983 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Additionally, it is observed that the northwestern part of the university campus, which includes the palace complex, exhibits the lowest concentration level, as shown in the locations (1, 2, 3, and 15). This area is characterized by abundant vegetation, few buildings, traffic congestion, and the presence of a lake site. While the locations (11, 12, 13, and 16) are characterized by high student activity and heavy traffic.

It is important to highlight that PM2.5 particles are fine particles that remain suspended in the air for extended periods and cover relatively large areas. These particles tend to carry harmful substances on their surface, posing a greater risk to human health. In contrast, PM10 particles, being larger in diameter than PM2.5 particles, do not remain suspended in the air for as long. Their spread is limited, as they tend to settle on the ground. As a result, the presence of PM2.5 particles poses a greater danger to human respiratory health, including the development of conditions such as asthma and pneumonia (Qiaofeng and Meiping 2022). Finally, remote sensing satellites commonly use algorithms to estimate PM2.5 levels based on optical characteristics to estimate the PM concentration levels. As a result, local measurements can assist in enhancing these algorithms and reducing expected errors (Imas et al. 2023). From the observation of the results, it is clear that the heights read from the DEM played a different role, but it was not significant during the seasons studied. So, it may be an important factor in the summer, but it also shows that there is noticeable pollution during the winter at the site (6), which proves that pollution depends on the causes of pollutants, such as the large number of cars, and that the height is not a decisive factor.

Based on the recommended national ambient air quality guidelines in Iraq, all seasonal average PM2.5 values exceed both the Iraqi limit level and the World Health Organization (WHO) standard (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (WHO 2006), as shown in Figure 8. Additionally, PM10 concentration level exceeds the WHO standard limits of (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), but falls within Iraqi standard limits of (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (JICA 2011), as shown in Figure 9.

Recommendations

Recommendations to improve the atmosphere of the Mosul University large campus and reduce gas emissions that are harmful to human health:

1. Expanding green spaces: It is recommended to plant more trees and plants throughout the campus, as green spaces play an important role in improving air quality and reducing pollution rates.
2. Encouraging sustainable transportation: Special bicycle paths should be created, and safe areas should be provided for parking them, in addition to promoting the use of public transportation within the campus to reduce reliance on private cars.
3. Implementing environmental awareness programs: It is recommended to launch awareness campaigns for students and employees on the importance of preserving the environment and reducing pollution, which contributes to changing daily behaviors for the better.
4. Improving the waste management system: It is recommended to implement an effective waste management system that includes recycling and proper waste disposal, which reduces the emission of harmful gases resulting from burning waste.

- 5. Adopting renewable energy: It is recommended to use renewable energy sources, such as solar energy, to generate electricity on campus, which contributes to reducing carbon emissions.

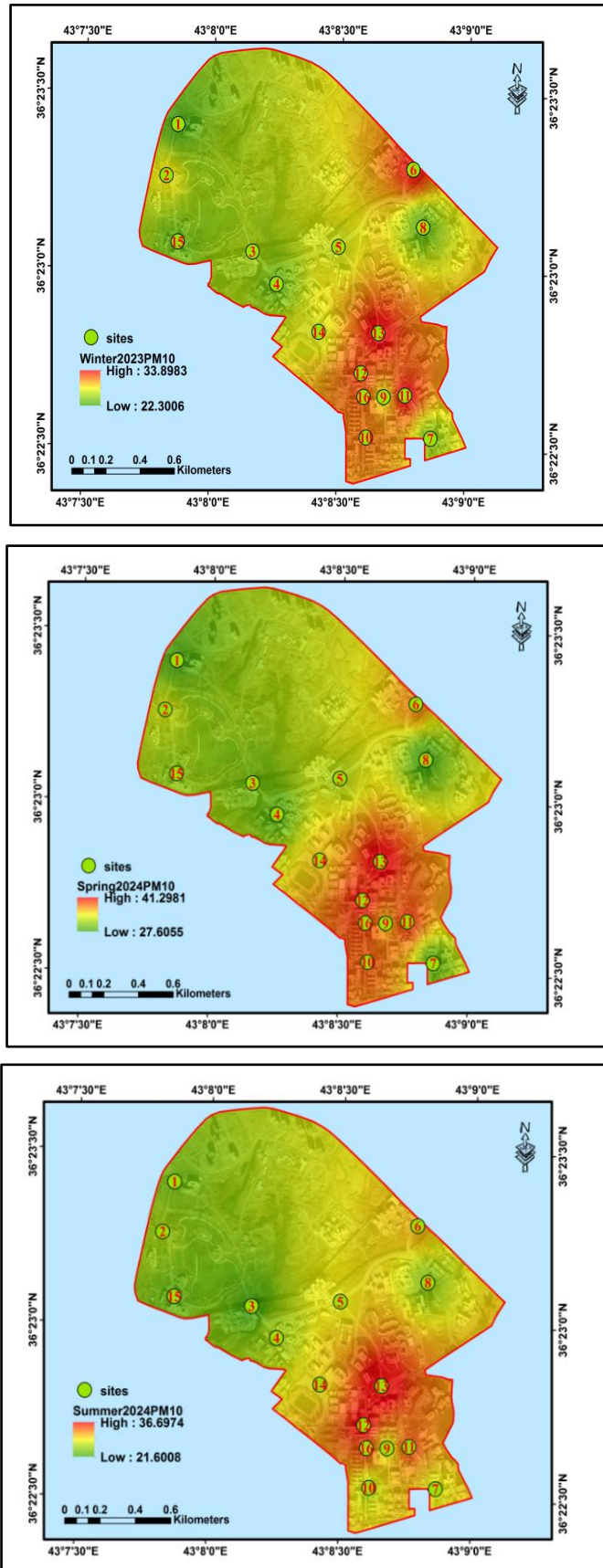


Fig. 7. Seasonal spatial distribution of the PM10 concentration.

Table 2: Min. and Max. values of PM2.5 and PM10.

Type	Min. value $\mu\text{g}/\text{m}^3$			Max. value $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Winter	Spring	Summer	Winter	Spring	Summer
PM2.5	13.9012	21.2005	13.7005	19.6943	30.5929	24.8976
PM10	22.3006	27.6055	21.6006	33.8983	41.2981	36.6974

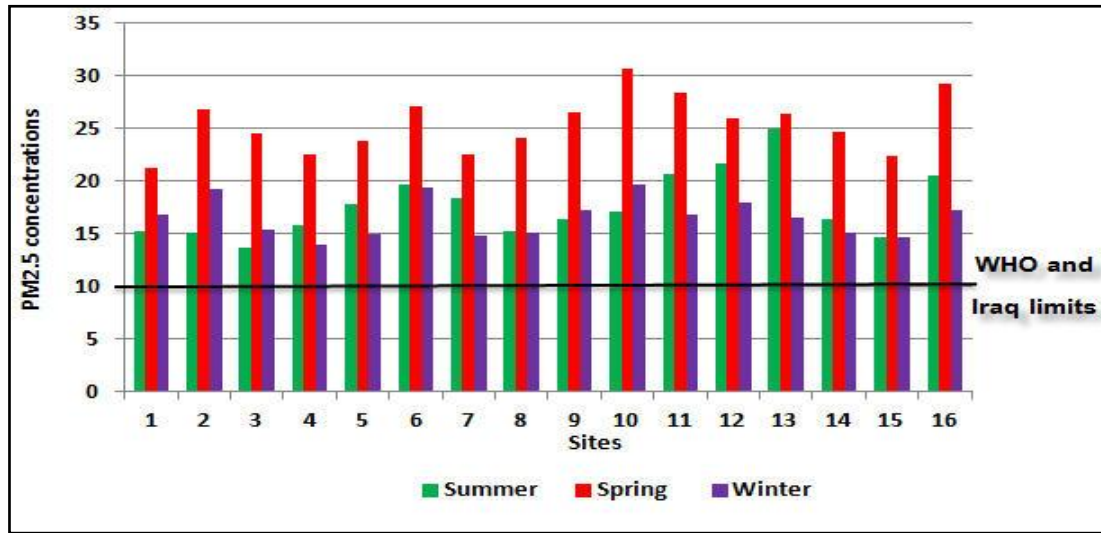


Fig. 8. PM2.5 concentrations with respect to WHO and Iraqi standards.

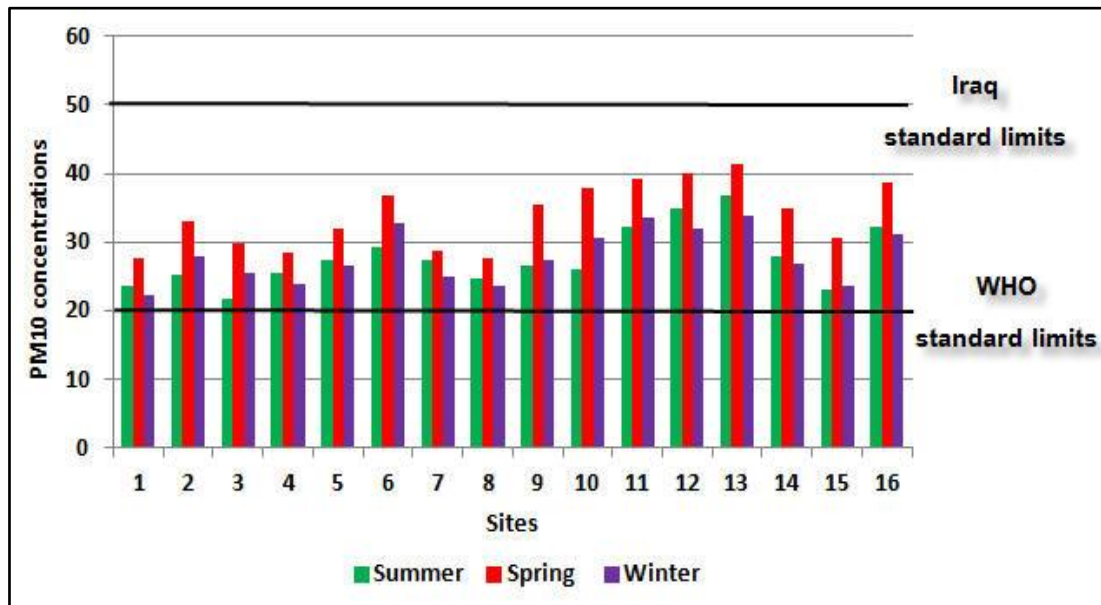


Fig. 9. PM10 concentrations with respect to WHO and Iraqi standards.

6. Providing air purifiers: It is preferable to install air purifiers in university buildings to ensure improved indoor air quality and reduce the impact of pollutants on the health of students and employees.

By implementing these recommendations, the atmosphere at Mosul University can be improved, and the health of the university community can be enhanced.

Conclusions

The current paper investigates the Temporal and Spatial distribution of PM2.5 and PM10 concentration levels inside the Mosul University Campus/Iraq for the seasons (Winter 2023, Spring 2024, and Summer 2024), and the following conclusions are drawn:

- 1- The highest concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particles in Spring was seen to be higher than in the Summer and Winter seasons due to the increased traffic from cars within the campus during the spring semester, also due to student activities.
- 2- In the summer season, official work was suspended for students, staff, and faculty, resulting in decreased car traffic within the university campus and consequently lower levels of pollution of PM_{2.5} and PM₁₀.
- 3- In winter, the levels of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations decreased in most sites of the study area because the rain acts as a purifier and cleans the air from particulate matter. Winter is a season with full official working hours for faculty, staff, and students.
- 4- Generally, the concentration values of PM₁₀ particles are higher compared to PM_{2.5} particles across all seasons considered in this study.
- 5- The highest concentration values of PM_{2.5} and PM₁₀ particles were seen in the main entrances to the university campus due to the increased traffic.
- 6- All seasonal average PM_{2.5} values exceed both the Iraqi limit level and the WHO standard (10 µg/m³), while PM₁₀ concentration levels exceed the WHO standard limits of (20 µg/m³), but fall within Iraqi standard limits of (50 µg/m³).

The study supported attempts to enhance air quality and establish better living and learning environments by offering insightful information on the Mosul University campus environmental conditions and presented several recommendations that the university authority should undertake in this regard.

Acknowledgment

The authors would like to thank the University of Mosul for granting approval and providing the facilities to conduct field measurements within the university campus, which helped to improve the quality of this work.

References

- Al-Heety, A.J., Shanshal, Z.M. and Al-Mashhadany, A.Y., 2022. Application of Multi-Channel Analysis Surface Waves and Electrical Resistivity Tomography Methods to Identify Weak Zones at University of Mosul, Northern Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 47-69. <https://doi.org/10.46717/igj.55.1D.4Ms-2022-04-20>
- Al-Hayani, A. and Thanoon, A., 2025. Assessment of pollution with heavy metals in Soil the industrial area of Left Mosul city. *Iraqi National Journal of Earth Science (INJES)*, 25(3), 58-69. [doi:10.33899/earth.2024.144686.1175](https://doi.org/10.33899/earth.2024.144686.1175)
- Al-Jarrah, O.A., 2015. The Levels of Some Air Pollutants in Selected Sites of Mosul City and its Relationship with the Traffic Volume and Meteorological Factors. A Thesis in Civil Engineering (Environment), College of Engineering, University of Mosul.
- Amina B.M., Sabah H.A., Riyad A.F., 2022. Spatial Analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ Concentration using GIS: A Case Study of Mosul City, Iraq. *Indian Journal of Ecology*, 49 Special Issue (18): 329-333. <https://10.1088/1755-1315/1223/1/012014>
- Carvalho, P.M., Felício, M.R., Santos, N.C., Gonçalves, S. and Domingues, M.M., 2018. Application of Light Scattering Techniques to Nanoparticle Characterization and Development. *Frontiers in Chemistry*, 6, 237. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00237>
- Faezeh Z.A., Mahdi H., Milad D., 2024. Quantifying Urban Air Quality Through Multispectral Satellite Imagery and Google Earth Engine. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* Vol. 261, 106301. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106301>

- Giang T.H.N., Luan T.L., Huy H.C., Anh H.L., 2023. An Exploration of Meteorological Effects on PM_{2.5} Air Quality in Several Provinces and Cities in Vietnam. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 145, pp.139-151. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.07.020>
- Henna J., Steffi J., Mireia G., Sohvi O., Ilkka F., Mohammad F.F., Päivi A., Alice P., Šárka L., Jari K., Katja M.K., Pasi I.J., Tarja M., Paula K., 2024. Particulate Matter from Car Exhaust Alters Function of Human IPSC-derived Microglia. *Particle and Fiber Toxicology*, volume 21, Article number: 6. <https://doi.org/10.1186/s12989-024-00564-y>
- Huang, Y., Mok, W.C., Yam, Y.S., Zhou, J.L., Surawski, N.C., Organ, B. and Ong, H.C., 2020. Evaluating in-use Vehicle Emissions Using Air Quality Monitoring Stations and on Road Remote Sensing Systems. *Science of the Total Environment*, 740, 139868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139868>
- Imas S.S., Lailan S., Nengah S.J., 2023. PM_{2.5} Estimation Using Machine Learning Models and Satellite Data: A Literature Review, *International Journal of Computer Science and Applications* 14(5). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140538>
- Ioannis M., Elisavet S., Agathangelos S., Eugenia B., 2020. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review, *Air Pollution Environment and Health*, 8(14), <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.
- JICA Japan International Cooperation Agency. Profile on Environmental and Social Considerations in Iraq, 2011, ANNEX CR (5)-11-018: 156. <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/257895.pdf>
- Jumaah H.J., Ameen M.H., Kalantar B., Rizeei H.M., Jumaah S.J., 2019. Air Quality Index Prediction Using IDW Geostatistical Technique and OLS-Based GIS Technique in Kuala Lumpur, Malaysia. *Geomatics Nat Hazards Risk*. 10(1): pp. 2185–2199. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1683084>
- Kanghyeok C., Kyusoo C., 2022. Modified Inverse Distance Weighting Interpolation for Particulate Matter Estimation and Mapping, *Atmosphere* 13, 846. <https://doi.org/10.3390/atmos13050846>
- Mahmood, B.M., Sultan, N.A., Thanoon, K.H. and Khadhim, D.S., 2020. Collaboration Networks: University of Mosul Case Study. *Al-Rafidain Journal of Computer Sciences and Mathematics*, 14(1), pp. 117-133. <https://ojs.uomosul.edu.iq/index.php/csmj/article/view/36659>
- NEPIS (National Service Center for Environmental Publications), US EPA (Environmental Protection Agency), 2017. Available online at: (accessed March 15, 2024). <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/air-pollution-current-and-uturechallenges>
- Qiaofeng X., Meiping S., 2022. Characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀ Spatio-Temporal Distribution and Influencing Meteorological Conditions in Beijing. *Atmosphere*, 13, 1120. <https://doi.org/10.3390/atmos13071120>.
- Ren, T., Roberge, E.J., Csoros, J.R., Seitz, W.R., Balog, E.R.M. and Halpern, J.M., 2020. Application of Voltage in Dynamic Light Scattering Particle Size Analysis. *Journal of Visualized Experiments*, (155) :10.3791/60257. [Doi: 10.3791/60257](https://doi.org/10.3791/60257).
- Sabah H.A., Abeer A.M., Abdalrahman R.Q., 2023. Spatial Analysis of the PM_{2.5} Air Pollution in Iraq by using R Language, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1223 (2023), 012014. [doi:10.1088/1755-1315/1223/1/012014](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1223/1/012014).
- Sabah H.A., Mohamed A.N., Rehab T.A., 2018. Using GIS Techniques for Mapping the Pollution of Particulate Materials in Kirkuk. *Sustainable Resources Management Journal* 3(2):58-66. <https://srwj.se/pdf/322018-5866.pdf>

- Sathya S.A., Ishaan S., Om P.K., 2023. Air Quality and Respiratory Health in Children. *Breathe* 19: 230040, <https://doi.org/10.1183/20734735.0040-2023>
- Tikader, M., Mukhopadhyay, D. and Islam, M.Z., 2023. Role of Remote Sensing and GIS in mitigating Particulate Matters that intensify Air pollution in India: A Review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.*, 12(10), pp. 402-418. https://www.researchgate.net/publication/378714438_Role_of_Remote_Sensing_and_GIS_inmitigating_Part particulate_Matters_that_intensify_Air_pollution_in_India_A_Review
- WHO, 2006. Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. Global Update 2005. Summary of Risk Assessment. WHO/SDE/PHE/OEH/0602. Ginebra, Suiza: World Health Organization. Available at: <https://goo.gl/xXO7Ku>.
- WHO. Air Pollution. WHO, 2024. Available online at: (accessed April 5, 2024). <http://www.who.int/airpollution/en/>
- World Health Organization, 2021. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide: Executive Summary. (accessed April 5, 2024) <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Younis, G., Ali, S., 2021. Selection of the Optimum Sites for the Wind Turbines Installation in Nineveh Governorate by using GIS. *Iraqi National Journal of Earth Science (INJES)*, 21(1), pp. 1-16. [Doi: 10.33899/earth.2021.170376](https://doi.org/10.33899/earth.2021.170376)



Study of Geotechnical Characteristics for the Deposits of the Samarra Dam Reservoir and the Upper Tigris Tharthar Arm Area and Their Engineering Suitability

Amany Mahmood^{1*} , Abdulsalam Mehdi Salih² 

^{1,2} Department of Applied Geology, College of Science, University of Tikrit, Tikrit, Iraq.

Article information

Received: 29- Sep -2024

Revised: 30- Dec -2024

Accepted: 12- Mar -2025

Available online: 01-Apr-2026

Keywords:

Samarra,
Al-Tharthar channel,
Transported Sediments,
Geotechnics,

ABSTRACT

The research included finding the geotechnical properties of the Samarra Dam Reservoir sediments in three locations and the Tharthar Depression sediments in four locations. Physical tests showed that the moisture content of the sediments varies according to the flood and drought seasons. The moisture content was studied during August in the year 2023 and the month of January in the year 2024, and the results showed a clear difference. Between the months, the moisture content (wc%) value in August was (11%_5%), and in January the moisture content (wc%) was (40%_26.2%). While it appears from the results of the specific gravity (G.S.) that it ranges (2.62_2.7), the results of the volumetric analysis showed that the predominant percentage of the deposits of the study area is sand, ranging from (40%_60%), which is mostly sand deposits mixed with silt, with varying percentages of clay. From the plasticity limits, the results showed the liquidity limit L.L (19.1%_24.79%), the plasticity limit P.L (11.22%-14.99%), and the plasticity coefficient P.I (5.83%-9.8%). The plasticity diagram revealed the quality of the ML-type sediments. The mechanical tests conducted for the sediments were direct shear tests where values were: Cohesion (C) (0_4) and internal friction angle values (ϕ) (36° _46⁰), and from the standard compaction test (Proctor) it was revealed that the value of the optimum water content (OMC) (9%_17%) and the values of dry density (MDD) (1.46_1.61). Chemical tests showed that the deposits are basic with low organic content and contain gypsum and chlorides at levels exceeding 1%, which leads to negative effects such as corrosion, cracking, and moderate effects from sulfates. However, caution is required regarding corrosion and cracking. The deposits also contain sulfates and soluble salts in moderate amounts, but attention should be paid to avoid corrosion and cracking. These deposits are of the type transported by water, which has led to changes in their engineering properties. Mineralogical study showed that the deposits in the study area, especially in the Samarra Dam reservoir, contain a high proportion of quartz and carbonate minerals and lack clay minerals. This is due to the fact that the predominant proportion of the deposits is sand, which gradually increases in clay minerals from the entrance of the Tharthar regulator to the end of the Tharthar Channel, but their proportion remains relatively small. But their percentage remains somewhat small. It cannot be used in construction industries such as brick and ceramic manufacturing, and the reason is that most of the sediments in the study area are sandy. It can be used in the manufacture of filters to purify the river stream of sewage waste, as well as in concrete mixes. It can also be used in the manufacture of sand bricks after treating them with certain proportions of limestone, and it is also used for agricultural purposes.

Correspondence:

Name: Amany Mahmood

Email:
amany.mahmood@st.tu.edu.iq

دراسة الخصائص الجيوتقنية لرواسب خزان سد سامراء ومنطقة أعالي نزار دجلة النثرار ومدى صلاحيتها للأغراض الهندسية

اماني محمود*1 ^{ID}، عبد السلام مهدي صالح² ^{ID}

^{1,2} قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
تضمن البحث دراسة الخصائص الجيوتقنية لرواسب خزان سد سامراء في ثلاثة مواقع ورواسب منخفض النثرار في أربعة مواقع. أظهرت الاختبارات الفيزيائية أن محتوى الرطوبة في الرواسب يختلف وفقاً لفصول الفيضانات والجفاف. تمت دراسة محتوى الرطوبة خلال شهر أغسطس من عام 2023 وشهر يناير من عام 2024، وأظهرت النتائج اختلافاً واضحاً بين الشهرين. حيث كانت قيمة محتوى الرطوبة (Wc%) في أغسطس تتراوح ما بين (11_5%)، بينما كانت في يناير تتراوح ما بين (40_26.2%). من ناحية أخرى، أظهرت نتائج الوزن النوعي (Gs) أنها تتراوح بين (2.7_2.62)، في حين أظهرت نتائج التحليل الحجمي أن النسبة السائدة من الرواسب في منطقة الدراسة هي الرمال، والتي تتراوح ما بين (40_60%)، وهي في الغالب رواسب رملية مختلطة بالجرين، مع نسب متفاوتة من الطين. من خلال حدود اللدونة، أظهرت النتائج أن حد السيولة L.L يتراوح ما بين (19.1_24.79%)، وحد اللدونة P.L ما بين (11.22_14.99%)، ومؤشر اللدونة P.I ما بين (5.83_9.7%). وكشف مخطط اللدونة عن جودة الرواسب من النوع غرينية واطنة اللدونة. أما بالنسبة للاختبارات الميكانيكية التي أجريت على الرواسب، فقد شملت اختبارات القص المباشر، حيث كانت قيم التماسك (C) تتراوح ما بين (0_4)، وزاوية الاحتكاك الداخلي (Ø) ما بين (360_460). ومن اختبار الدمك القياسي (بروكتور)، تبين أن قيمة المحتوى المائي الأمثل (OMC) تتراوح ما بين (9_17%)، وقيم الكثافة الجافة (MDD) ما بين (1.46_1.61). أظهرت الاختبارات الكيميائية أن الرواسب أساسية ذات محتوى عضوي منخفض، وتحتوي على الجبس والكلوريدات بنسبة تزيد عن 1%، مما يؤدي إلى تأثيرات سلبية مثل التآكل والتشقق والتأثيرات المعتدلة من الكبريتات. ومع ذلك، يجب الحذر من التآكل والتشقق. كما تحتوي الرواسب على كبريتات وأملاح ذائبة بكميات معتدلة، ولكن يجب الانتباه إلى عدم حدوث التآكل والتشقق. هذه الرواسب من النوع الذي يتم نقله بواسطة المياه، مما أدى إلى تغير في خصائصها الهندسية. أظهرت الدراسة المعدنية أن رواسب منطقة الدراسة، خاصة في خزان سد سامراء، تحتوي على نسبة عالية من معادن الكوارتز والكربونات وتفقر إلى معادن الطين. ويعود السبب في ذلك إلى أن النسبة السائدة من الرواسب هي الرمال، والتي تزداد تدريجياً من مقدمة ناظم النثرار حتى نهاية قناة النثرار من معادن الطين، ولكن نسبتها تبقى صغيرة إلى حد ما. ولا يمكن استخدام هذه الرواسب في صناعات البناء مثل تصنيع الطابوق والسيراميك، وذلك لأن معظم الرواسب في منطقة الدراسة رملية. ومع ذلك، يمكن استخدامها في صناعة المرشحات لتنقية مجرى النهر من النفايات الصرف الصحي، وكذلك في خلطات الخرسانة. كما يمكن استخدامها في صناعة الطابوق الرملي بعد معالجتها بنسب معينة من الحجر الجيري، بالإضافة إلى استخدامها لأغراض زراعية.	<p>تاريخ الاستلام: 29- سبتمبر - 2024</p> <p>تاريخ المراجعة: 30- ديسمبر - 2024</p> <p>تاريخ القبول: 12- مارس - 2025</p> <p>تاريخ النشر الإلكتروني: 01-ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية: سامراء، قناة النثرار، رواسب منقولة، جيوتقني،</p> <p>المراسلة: الاسم: اماني محمود</p> <p>Email: amany.mahmood@st.tu.etu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56103](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56103), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

The study of the geotechnical properties of river sediments is a vital topic in the fields of geology and geotechnical engineering, as these sediments play a significant role in shaping

natural environments and determining soil characteristics in surrounding areas. River sediments are formed through continuous transportation and deposition processes influenced by hydrological and atmospheric factors, which result in variations in their physical, chemical, and hydraulic properties. These studies contribute to understanding the nature of river sediments in terms of grain size, mineral composition, and organic matter content, as well as evaluating their mechanical response to stress and their load-bearing capacity. Such information is essential for developing safe engineering solutions for the design of bridges, dams, and foundations in areas near rivers (Badawi, 2018).

The Samarra system is part of the flood water control system in the Tigris River. The system consists of two main concrete structures: The Samarra Dam, next to which is the hydroelectric sample, and the Tharthar Regulator, located on the right side of the Tigris River.

This system plays an important role in controlling flood water in the Tigris River by diverting the water surplus from the river's absorption at the back of the Samarra Dam to the Tharthar Depression through the Tharthar Regulator and its subsequent channel and securing irrigation water for the Al-Ishaq irrigation project. This is done by raising the water level upstream of Samarra Dam and maintaining it throughout days of the year, in addition to generating electrical energy through the hydroelectric sample built on the Samarra Dam (Ministry of Water Resources Dams and Water Resources Research Center Report/Samarra and Nazim al-Tharthar Dam Administration/Final Report 2020).

In recent years, large amounts of sediment have been deposited at the dam gates in the reservoir area and the flood channel to Tharthar Lake.

This study aims to evaluate the geotechnical characteristics of the deposits in the study area and determine the suitability of these deposits for manufacturing building materials, and how to exploit these huge quantities of sediments transported by the Tigris River.

The city of Samarra is in an urban movement, studying the properties of sediments to benefit from them with the possibility of establishing a factory for building materials and employing a workforce, thus preserving the most important water resource (the Tigris River) in the country.

Location of the study area

The study area is located north of the capital Baghdad at coordinates 43° 51.2', north 34° 11.45' west, and 7 sites were chosen to collect the samples (3 samples from the reservoir and 4 samples from the Tharthar Channel).

Table 1: Coordinates of the study area according to the geographic coordinates system.

	X	Y
sample (1) to the right of the Samarra Dam reservoir	43.843119	34.201398
sample (2) to the left of the Samarra Dam reservoir	43.86051	34.201629
sample (3) in the middle of the Samarra Dam reservoir	43.852692	34.201332
sample (4) entrance of Nazim al-Tharthar	43.842976	34.192683
sample (5)	43.848264	34.148562
sample (6)	43.776423	33.820253
sample (7) the point where the Tharthar Channel meets Tharthar Lake	43.590256	33.79672

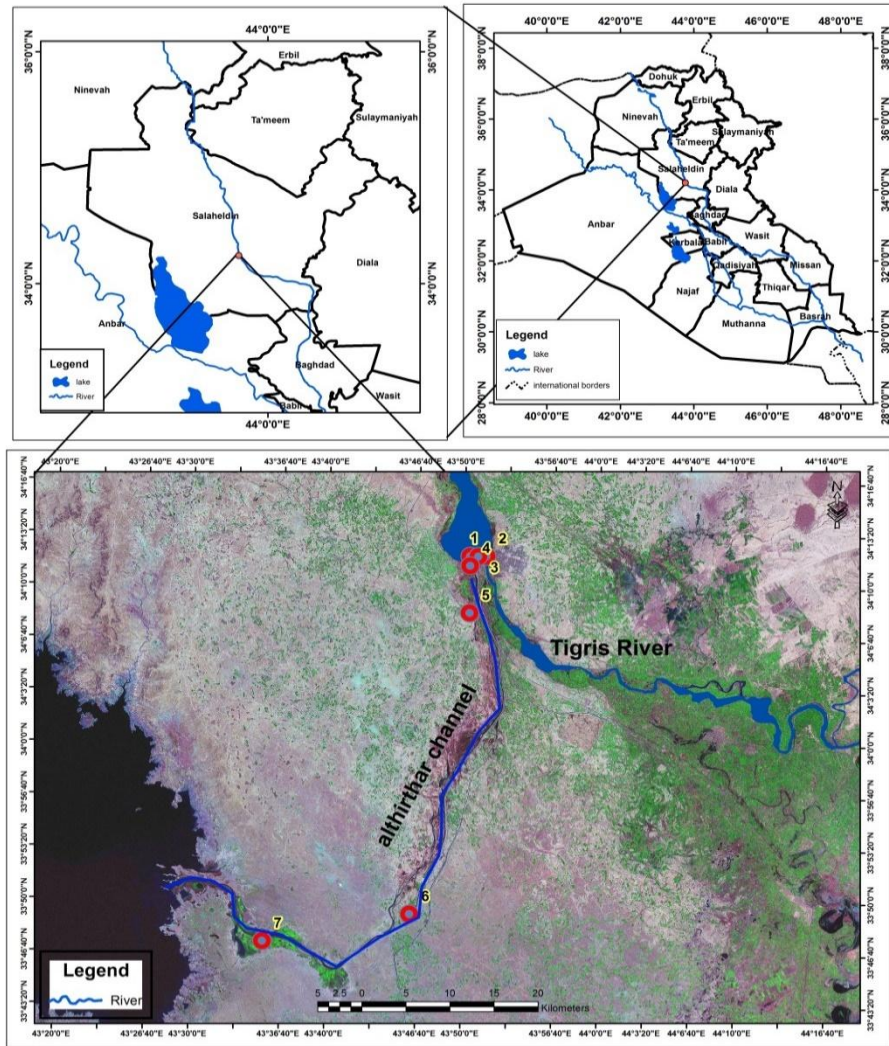


Fig. 1. Location of the study area and locations of the samples.

Research Methodology

Field Work

The field work includes sediment sample collection from specific sites and samples from sediment dredging sites. The samples were stored inside tightly sealed plastic bags. The sites' locations were determined using GPS, and the coordinates were projected onto the site map of the area under study. The samples were saved and transported to the laboratory.

Laboratory Work

Necessary tests to evaluate the samples' geotechnical properties are conducted as follows:

Physical tests:

These tests were conducted at the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Samarra University.

1. Water Content

It is defined as the amount of water present within the pores of the soil. It represents the percentage of the mass or weight of the water present within the soil sample to the weight or mass of solid particles of the same sample and is expressed by the following equations (Abboud and Zarak, 2015):

$$W_c = W_w / W_s \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$W_c = W - W_s / W_s \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Where: (W) Original sample weight (in gm). (Ws) Weight of solid particles of soil (in gm). (Ww) Weight of water in the sample (in gm). (Wc) Water Content.

The test was conducted according to specifications (ASTM D 2216-10, 2010). The water content values for the study area depended on the rainfall and the flood season. The water content was measured during seasonal periods of rain and dry days. Table 2 shows the water content during August, whereas Table 3 displays the water content during January.

Table 2: Water content of samples from the study area during August.

No.	Weight before drying	Weight after drying	Water weight	water content
1	100	90.28	9.72	%10.76
2	100	90.3	9.7	%10.74
3	100	91.1	8.9	%9.7
4	100	93.8	6.2	%6.6
5	100	95	5	%5.2
6	100	95	5	%5.2
7	100	90	10	%11

Table 3: Water content of samples from the study area during January.

No.	Weight before drying	Weight after drying	Water weight	water content
1	100	74.1	25.9	34.9%
2	100	77.6	22.4	28.8%
3	100	75.3	24.7	32.8%
4	100	72.5	27.5	37.9%
5	100	79.21	20.79	%26.2
6	100	74.6	25.4	%34
7	100	71.2	28.8	%40.4

2. Specific gravity (Gs)

Specific gravity is defined as the weight of a certain volume of soil particles at a certain temperature to the weight of the same volume of distilled water at the same temperature; in other words, it is the unit weight of soil particles to the unit weight of water (ASTM-D,854-02,2004). It is calculated from the equations:

$$G_{sT1} = W_3 / (W1 + W3) - W2 \dots\dots\dots (2)$$

$$G_{sT20} = G_{sT1} \cdot A \dots\dots\dots (3)$$

Where: (W1) Weight of a 500 ml volumetric bottle filled with distilled water. (W2) Weight of the volumetric bottle with the soil mixture and distilled water. (W3) Weight of dried soil. (GsT1) specific gravity value before correction. (A) Thermal correction factor, which represents the quotient dividing the specific gravity of water at a specific temperature by the specific gravity of water at 20°C. (GsT20) value of specific gravity of the corrected soil sample.

The soil quality is determined based on the specific gravity (Das, 1982)

Table 4: Classification developed by Das (1982).

Specific gravity	Soil type
2.63-2.67	Sand
2.65-2.7	Silt
2.67-2.9	Clay and Silty Clay
Less than 2	Organic soil

Table 5: Results of the specific weight of the samples under study and their classification according to Das (1982).

No.	W1	W2	W3	T	A	Gs	Soil (depending on Das, 1982)
1	618.2	680	98.5	22	0.9996	2.68	Clay and Silty Clay
2	618.2	677.5	95	22	0.9996	2.66	Silt
3	618.2	678.21	97	22	0.9996	2.62	Sand
4	651.9	711.66	96.5	24	0.9991	2.62	Sand
5	651.9	712	96	24	0.9991	2.67	Clay and Silty Clay
6	618.2	677.7	94.9	22	0.9996	2.68	Clay and Silty Clay
7	618.2	711.7	94	22	0.9996	2.7	Clay and Silty Clay

3. Grain size analysis

The method of analysis is determined by using sieves. The grain size of coarse soil that has a grain size larger than 0.075 mm is measured. These sieves are moved manually or mechanically using an electric vibrator for a period of 15 minutes according to the American standard (ASTM D422-63 (Reapproved 2007 and 2014).

Wet analysis is done for granules whose particle size is less than 0.075 mm. After conducting a sieve and wet analysis test of the granules and testing the grain size and passing percentage, the relationship is drawn on semi-logarithmic paper (Figures 2 to 8).

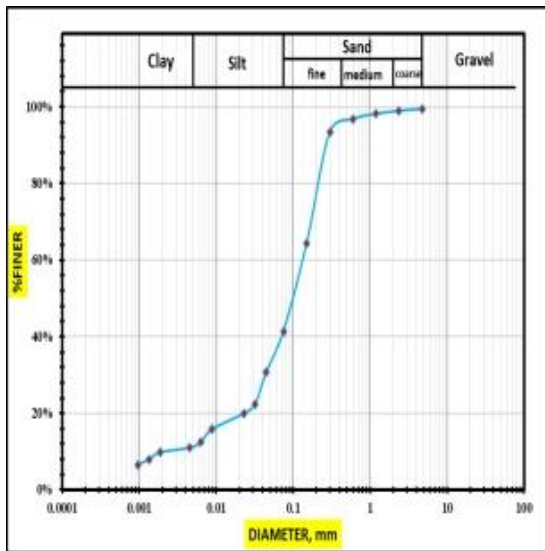


Fig. 2. Size gradient for sample (1)

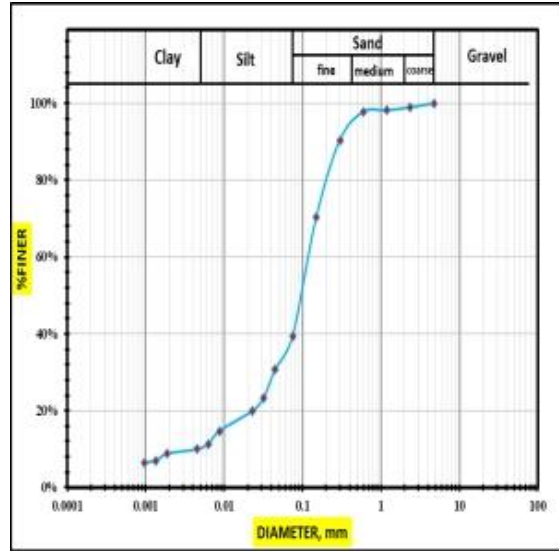


Fig. 3. Size gradient for sample (2)

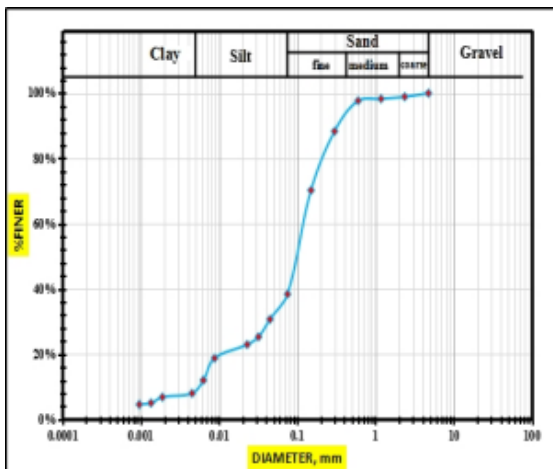


Fig. 4. Size gradient for sample (3)

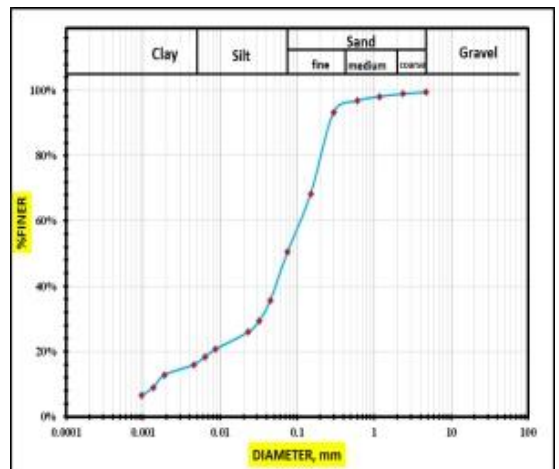


Fig. 5. Size gradient for sample (4)

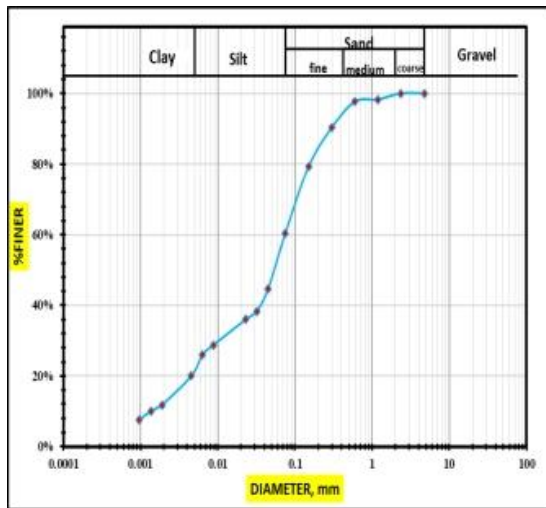


Fig. 6. Size gradient for sample (5)

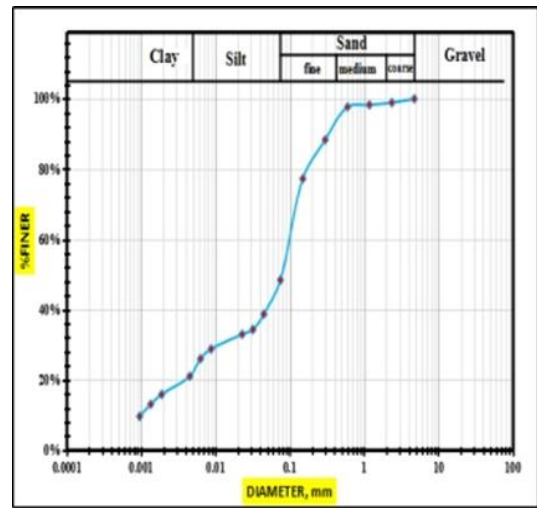


Fig. 7. Size gradient for sample (6)

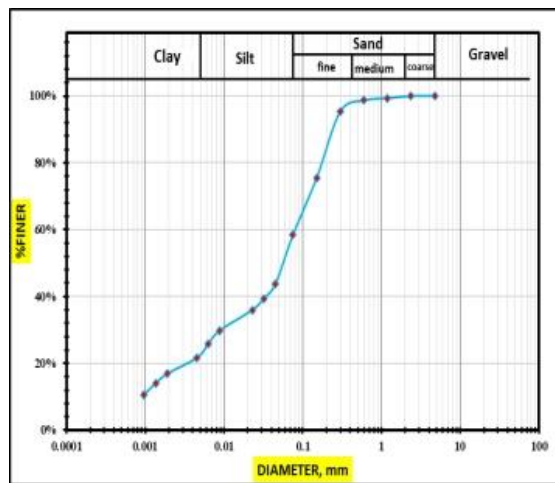


Fig. 8. Size gradient for sample (7)

Table 6: Results of grain size analysis of sediments in the study area.

No.	Sand%	Silt %	Clay %
1	59	30	11
2	61	29	10
3	62	29	9
4	50	33	17
5	40	38	22
6	52	26	22
7	42	35	23

4. Atterberg Limits

The Swedish scientist Atterberg (1911) is considered the first to establish the limits of soil texture. Soil texture is defined as the lowest water content or percentage of soil moisture at which a change occurs in the state of the soil, as it shows a clear change and different behavior when the percentage of moisture in it changes, and its effect appears clear, especially in clay soils (Braja and Das, 2018)

Atterberg limits are of great importance in soil classification, and the American standard is adopted:

1. Liquidity limit (L.L) is defined as the lowest water content that keeps the soil in a fluid state but has a low shear resistance (Braja and Das, 2018).

2. The plasticity limit (P.L) is the lowest water content that separates the plastic state from the semi-solid state (Braja and Das, 2018).

3. Plasticity Index (P.I) is the water content at which the soil remains in a plastic state and is calculated by the difference between the limits of fluidity and plasticity (Braja and Das., 2018).

$$P.I = L.L - P.L \dots\dots\dots (4)$$

Where: L.L = Liquidity limit; P.L = plasticity limit; P.I = Plasticity Index.

Soil quality was evaluated based on the liquidity limit criteria established by Braja and Das (2018)

The relationship between the liquidity limit and the plasticity Index, as reported by Capper and Cassie (1974), forms the basis for soil quality evaluation.

Table 7: The liquidity limit for the study area is described based on Braja and Das (2018)

No.	Liquid limit	Soil Description (Braja and Das, 2018)
1	19.1	Very low liquid limit
4	21.48	Low liquid limit
5	23.30	Low liquid limit
7	24.79	Low liquid limit

Table 8: Plasticity for study area Classification based on (Braja and Das, 2018)

No.	P. L	P. I	Classification by Braja and Das (2018)
1	11.22	7.88	Moderately plastic
4	15.65	5.83	Poorly plastic
5	14.36	8.94	Moderately plastic
7	14.99	9.8	Moderately plastic

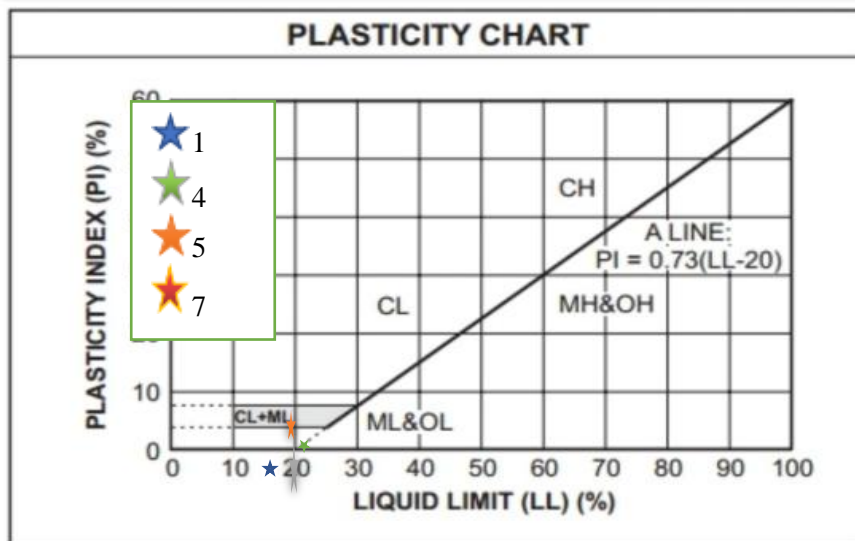


Fig. 9. Plasticity of sediments of the study area, depending on (Capper and Cassie, 1974), Plasticity chart

The Unified Soil Classification System (USCS) is a system used to classify soils based on their grain size and texture. Soils are divided into two main groups: coarse-grained soils (such as sands and gravels) and fine-grained soils (such as clays and silts). The classification relies on laboratory tests like sieve analysis and Atterberg limits, with soils represented by abbreviated symbols (e.g., GW, CL) that indicate their type and engineering properties (Das and Sobhan, 2018)

The soil quality was according to the unified soil classification system for sediments in the study area:

- Sample (1)_ SP -SM
- Sample (4)_SP-SM
- Sample (5)_ML
- Sample (7)_ML

2-Mechanical tests

1. Direct shear test

It is the process of sliding one layer of soil over another layer within the soil mass, and this occurs as a result of the application of forces

Horizontal direction of sliding (Braja and Das, 2018). Shear resistance can be defined as the resistance that the soil exhibits against sliding that occurs as a result of external forces affecting it (Hassan et al., 2022). Lobe resistance includes two main elements:

a.Internal friction angle: It is the resistance resulting from the friction of soil particles against each other due to the sliding and rotation of these particles (Braja and Das, 2018)

It is the resistance resulting from the forces that attempt to hold the soil particles together within the soil mass, and the source of this force is the electronic bonds present between the soil particles (Al-Samarrai, 2001)

The first person to link the relationship between the two workers was the scientist, Coulomb, it was known as Columb Law

He mentioned it (Scott, 1974) as in the equation, and it differs from it in sandy soils with cohesion resistance (C) equal to zero

$$\tau = C + \sigma_n \tan \phi \dots \dots \dots (5)$$

$$\tau = \sigma_n \tan \phi \dots \dots \dots (6)$$

Whereas:

- (τ) Shear resistance
- (C) Cohesion
- (σ_n) Vertical stress
- (ϕ) Angle of internal friction

The tests were conducted (1, 2, 4, 5, 7) according to the American standard (ASTM D3080-11, 2011), and the results are shown in the figures 10-14.

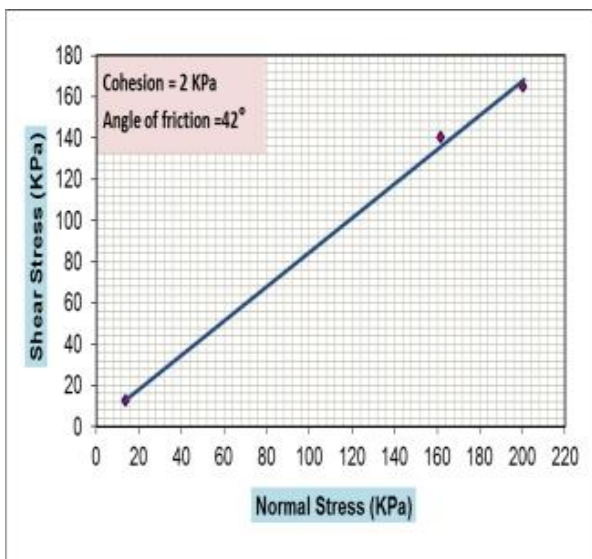


Fig. 10. Direct shear test for sample (1)

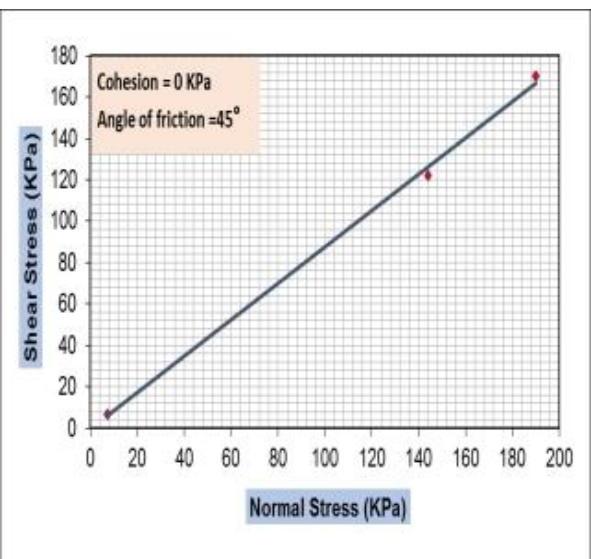


Fig. 11. Direct shear test for sample (2)

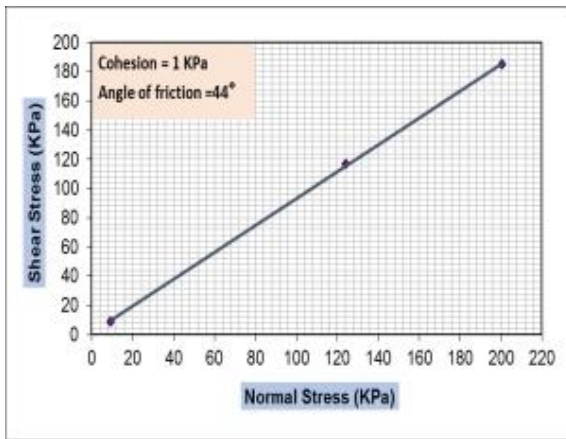


Fig. 12. Direct shear test for sample (4)

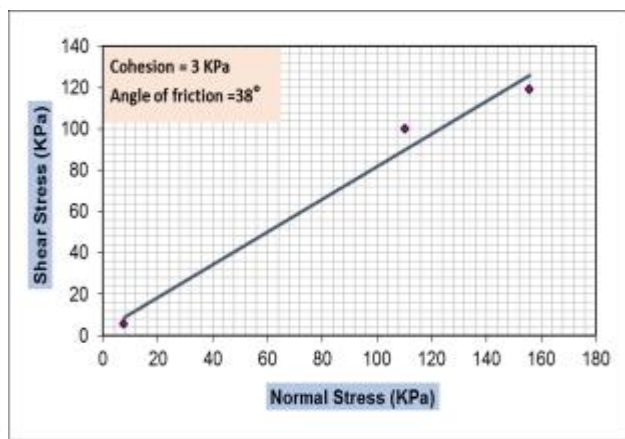


Fig. 13. Direct shear test for sample (5)

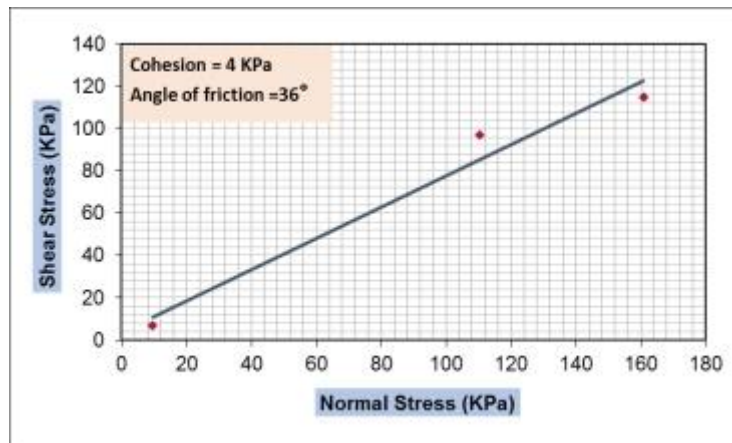


Fig. 14. Direct shear test for sample (7).

Table 9: The results of the direct shear test of the study area.

No.	Cohesion	Angle of friction
1	2	42
2	0	46
4	1	45
5	3	38
7	4	36

2. Standard Compaction Characteristics of Soil Test

It is a laboratory test to obtain the maximum dry density for a type of soil and to obtain the typical water or the optimal water for the recent dry density. The French scientist Proctor 1933 was able to experiment with the laboratory and obtained the recent dry density and its corresponding optimal water the test was conducted according to the American standard, ASTM D698-04 (2004).

Compaction is defined as the process in which soil particles are rearranged using some mechanical means to reduce the porosity of the soil and increase its dry density. The compaction process includes expelling air from the soil voids and adding water to the soil will bring the soil particles closer together and increase the compaction force. The recent dry density of the soil will be reached (Powrie,2014).

The dry density value for each attempt to increase water content is extracted from the equation 7 and 8.

$$\gamma_{wet} = m2 - m1/v \dots\dots\dots(7)$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1+W} \dots\dots\dots(8)$$

Whereas:

(γ_{wet}) The wet density of the soil (gm/cm^3)

(γ_{dry}) The dry density of the soil (gm/cm^3)

(m_1) Weight of the mold with its base (gm)

(m_2) Weight of the mold with its base and soil inside (gm)

(v) sample size(cm^3)

($W\%$) Percentage of soil water content

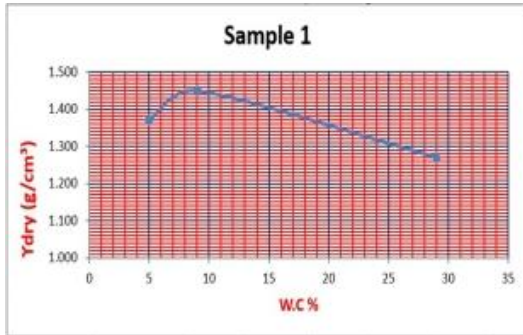


Fig. 15. Compaction test for sample (1)

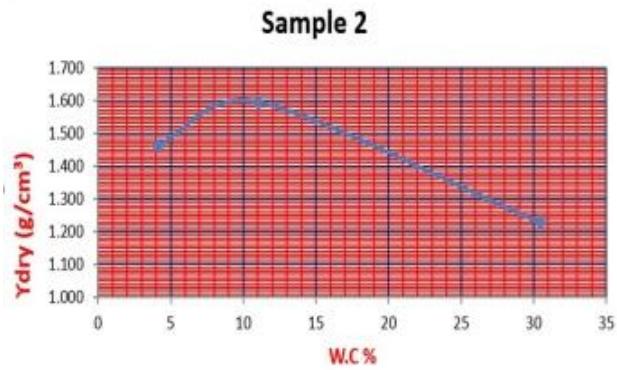


Fig. 16. Compaction test for sample (2)

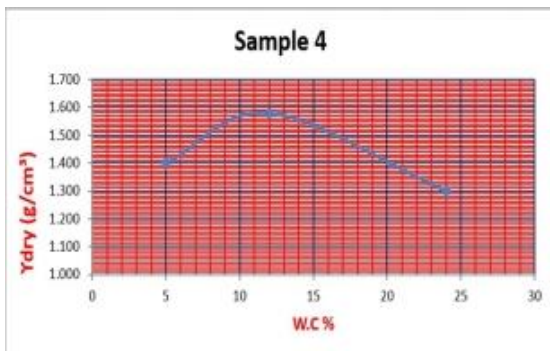


Fig. 17. Compaction test for sample (4)

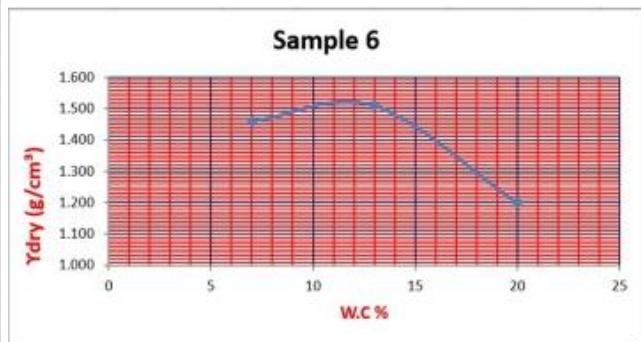


Fig. 18. Compaction test for sample (6)

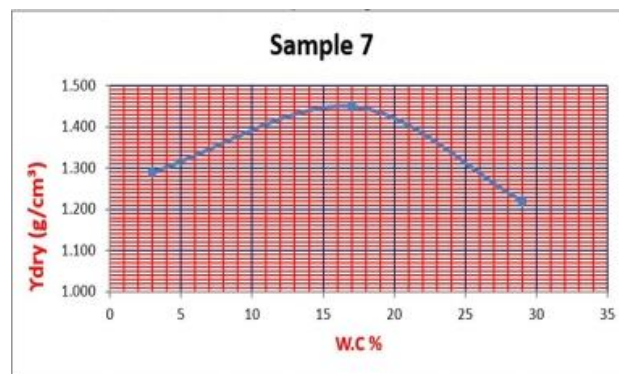


Fig. 19. Compaction test for sample (7)

Table 10: The results of the recent dry density and the optimal water content for the study area

No.	OMC	MDD(g/cm^3)
1	9 %	1.46
2	11 %	1.61
4	12 %	1.59
6	11.5%	1.54
7	17 %	1.46

3-Chemical and Mineralogical Tests

1-Deposit chemistry

The study of the chemical properties of soil is necessary to achieve sustainable development in various fields such as agriculture, engineering, and the manufacturing of building materials, as well as environmental protection in the engineering field. Understanding the chemical properties of soil is important for the design of foundations and structures because some soils can interact with building materials, which affects the stability and sustainability of engineering facilities.

The effect of the pH value on the behavior of the soil is considered one of the factors that affect the movement of elements directly or indirectly in the processes of precipitation, dissolution, complex formation, and oxidation-reduction reactions. When the pH value is acidic, all of the iron, manganese, and aluminum accelerate their ability to dissolve, and thus the soil becomes toxic. More, in return, leads to an increase in alkalinity, thus increasing the concentration of the elements and then precipitation due to the element's weakness in dissolving (Al-Saffawi., 2018).

Effect of salts the percentage of salts in their ability to dissolve varies depending on the chemical composition. Chloride salts in general are the highest among the salts.

The most important factors affecting solubility are temperature, pH, the percentage of dissolved carbon dioxide (CO₂), the evaporation process, and humidity, where the solubility of salts is high due to the effect of water, as salts dissolve freely in water (Al-Rashidi, 2004).

(Baver, 1972) indicated that if the percentage of dissolved salts is less than 0.5%), it does not pose a threat to engineering buildings.

The effect of organic matter. The most important of these effects, according to (Sparks., 2003), are:

1. Increased compressibility due to reduced bearing capacity
2. A rapid and large decline caused by gases resulting from decomposition present in soil voids that affect the joining coefficient in engineering tests.
3. Its effect on shear coefficients because it contains voids, which gives unreal shear coefficients, so the shear strength is very low.
4. Increasing the moisture content leads to an increase in the occurrence of swelling and shrinkage
5. The amount of organic matter is related to the pH

The value of organic matter can be considered high if it exceeds (1%) because it causes problems with the strength of the soil if the soil is saturated and has a high percentage of clay (Al-Hashemi and Al-Shammari 2020)

Gypsum ratios: The effect of gypsum is negative on the soil because it can dissolve in water, so cracks and voids occur between soil particles that lead to a decrease in the strength of the soil. This increase in solubility leads to a decrease in the dry density of the soil and an increase in moisture content, which leads to a danger to the foundations of buildings. If its percentage exceeds (5%) (Aratynyan and Manukyan 1982)

According to the classification developed by (Barazanji,1973) for gypsum soils, the deposits of the study area are classified as non-gypsiferous soils.

The effect of the element chlorine (CL) when it reacts with hydrogen (H). The product of this reaction is hydrochloric acid (HCl), which hurts concrete due to the reaction of the acid with reinforcing steel (Salman, 1996).

If the percentage of chlorides is greater than (0.1%), its impact will be negative on the foundations of engineering facilities (Bowels, 1988).

The percentage of chlorides for the samples of the study area ranged between (0.81_0.96).

The engineering effect of sulfates: Increasing the percentage of sulfur salts requires an increase in salt-resistant cement in the concrete mix to reduce the effect of these salts, which leads to additional costs. Therefore, it is considered uneconomical and hurts the concrete. (Reyes et al., 2017)

Table 11: shows the results of chemical tests for the study area

No.	PH	TDS %	Organic %	Gypsum %	Cl %	SO ₂ %
1	8.01	5.11	0.17	0.208	0.96	0.24
2	8.08	5.14	0.16	0.208	0.93	0.20
3	8.03	5.10	0.17	0.21	0.90	0.26
4	8.02	5.2	0.20	0.22	0.88	0.34
5	7.77	4.88	0.16	0.26	0.84	0.35
6	7.69	4.92	0.30	0.25	0.83	0.33
7	7.89	4.7	0.32	0.26	0.81	0.36

2-Mineral deposits

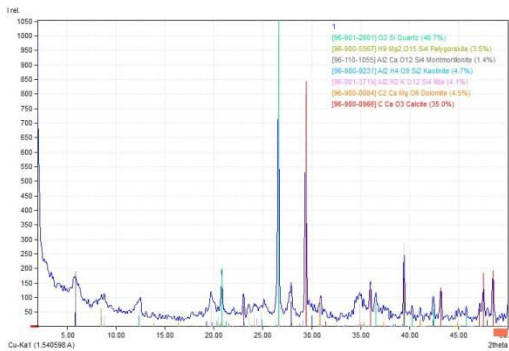


Fig. 20. (XRD) test for sample (1)

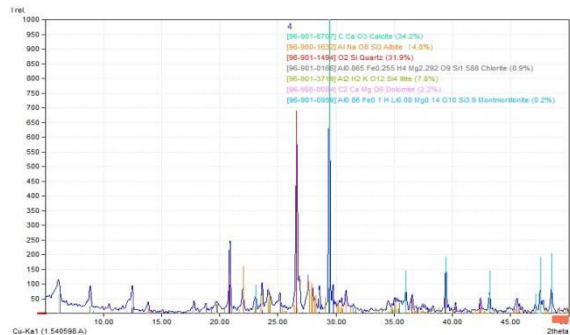


Fig. 21. (XRD) test for sample (4)

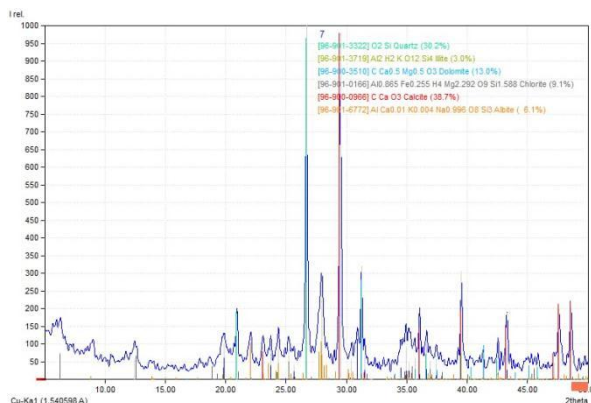


Fig. 22. (XRD) test for sample (7)

*Sample(1)						
Quartz	Dolomite%	Calcite%	Kaolinite%	Illite%	Montmorillonite%	Palygorskite%
46.7	4.5	35	4.7	4.1	1.4	3.5
*Sample (4)						
Quartz%	Dolomite%	Calcite%	Albit %	Illite%	Montmorillonite%	Chlorite %
31.9	2.2	34.2	4.8	7.8	0.2	8.9
*Sample (7)						
Quartz%	Dolomite%	Calcite%	Albit %	Illite%	Chlorite %	
30.2	13	38.7	6.1	3	9.1	

Discussion

From the results of the current study, the following conclusions were drawn

- These are deposits that differ from the deposits found in the deposition area, and they are recent deposits resulting from water erosion.

- The sediments of the study area are soft, devoid of gravel, and are mostly fine sand deposits with silt and a little clay, which are mostly Quaternary sediments.

- The moisture content of these sediments depends mostly on the number of water releases, flood seasons, and increased rainfall, as well as the season during which the modeling was done, as the moisture content values during the drought were (11%_5.2%) and during the flood seasons were (40.4%_26.2%).

- The sediments are dominated by the size of sand in the deposits deposited in the tank and the front of the regulator, and the percentage of clay in the sediments is small, and the percentage of clay increases slightly at the last point in the study area, and this is one of the results of the sizing analyses

- The clays of the study area, in terms of Liquidity limit and plasticity, are characterized by having Low liquid limit, where the L.L value was (19.1_24.79)

Moderately Plasticity index where the P.I My value was (5.83_9.8)

- The deposits in the study area are characterized by having little cohesion because they are mostly sand deposits and have an internal friction angle between (460_360). From the compaction test, the results were

The optimum water content (9%_17%) and dry density values (1.46_1.61).

- Through chemical tests, it was found that the gypsum and organic content were low, and thus had little effect on the engineering properties of the soil. In general, the basic soil was scarce and the content of soluble salts and chlorides was, more than 1%, so its negative effect was represented by corrosion, cracking, and moderate sulfate, but one must be careful not to corrode and crack. The sediment content was low because the sediments were transported by water and were subject to alteration and loss. Many of its components.

- The mineralogical study showed that the sediments of the study area, especially in the Samarra Dam reservoir, have a high percentage of quartz and carbonate minerals and lack clay minerals. The reason for this is that the prevailing percentage of sediments is sand and gradually increases from the front of the Tharthar Nazim to the end of the Tharthar channel of clay minerals, but their percentage remains somewhat small.

Conclusions

Through the values obtained from the tests conducted for all samples of the study area, the difference in moisture content values according to the seasons of the year and climatic conditions.

In all study areas, the predominant percentage is sand and silt, which are not suitable for engineering purposes in the manufacture of building materials such as the manufacture of bricks, and are not suitable for uses in filling dams, but it is possible to use these deposits for agricultural purposes and concrete purposes.

Recommendations

Conduct a detailed study of the study area, as it is an area that contains an important hydraulic facility, and the amount of sediment is large that hinders the work of the system. Conduct treatments of the sediment by adding clay for use in the manufacture of bricks.

Conduct a new experiment and a new study of the sediments of the study area and find out the possibility of using them in the manufacture of sand bricks composed of 90% sand and 10% pure limestone.

References

- Abboud, M.R. and Zarak, G.A., 2015, Practical Applications in Engineering Geology. Baghdad: Dar Al-Kutub and Documents.
- Al, A. R. M.A.R. and Al-Shammari, M.A.K.H., 2020. Environmental assessment of urban soil pollution with heavy elements in Wasit Governorate using pollution standards (CF, PLI, I, geo). journal of the college of basic education, (Proceedings of the First Virtual International Scientific Conference on Social Sciences / Part II / Geography)
- Al-Samarrai, T.T., 2001. An engineering geological study of the stability of rock slopes on the banks of the Tigris in the Samarra region (central Iraq) Unpublished thesis, College of Science, University of Baghdad, Iraq.
- Al-Saffawi, A.Y.T., 2018. Application of CCME WQI to assessment the environmental status of Tigris River water for aquatic life within Nineveh governorate, north Iraq. Alutroha for Environmental Sci. (5): 13-26. www.alutroha.com
- Al-Rashidi. M.H.N., 2004. Geotechnical Evaluation of the Soils of Al-Qadisiyah Governorate, Iraq. Master's Thesis, College of Science, University of Baghdad, 142 p.
- Arutyunyan, R.N. and Manukyan, A.V., 1982. Prevention of piping deformations in gypseous soils in Erevan. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 19(4), 151-154.
- ASTM D2216-10., 2010. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
- ASTM D854-14., 2014 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer1, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania. <https://doi.org/10.1520/D0854-14>
- ASTM D422-63 (Reapproved 2007), 2014, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils1, American Society fo
- ASTM, D., 2011. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. D3080/D3080M, 3(9).
- ASTM, D., 2012. Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). D698-12.
- Badawi, M.S., 2018. Hydro-Geoengineering Study to Habilitate of Tigris River Reach in Tikrit City for Tourism Attraction. Unpublished Master's Thesis, University of Tikrit, College of Science, Iraq.
- Barazanji, A.F., 1973. Gypseous Soil of Iraq, Ph. D. thesis, State University of Ghent.
- Baver, L.D., 1972. Soil Physics, 4th. ED., John Wiley and sons inc., New York, 498p
- Braja, M., Das, K.S., 2018. principles of geotechnical engineering. Cengage Learning. Boston
- Capper, P.L., and Cassie., 1974. The Mechanics of Engineering Soil, Willey and soil, (5th ed.). Eandf.n. Spon.Ltd., Iondon, UK.
- Das, B.M., and Sobhan, K., 2018. Principles of Geotechnical Engineering (9th ed.). Cengage Learning
- Das, M. Braja., 1982. Soil Mechanics Laboratory Manual, The University of texas at EI paso.

- Hassan, A., Khwedim, K. and Sahaab, A., 2022. Geotechnical Assessment of Soil at the Campus Site of College of Science, University of Diyala. Iraqi Journal of Science. Ministry of Water Resources_Center for Engineering Studies and Designs_ Department of Laboratories, Hydraulic and Mathematical Models, 2020_Study on the Absorption of the Tharthar Flood Channel (Determine the design section and the necessary balling quantities For flood discharges 9000 m³/s, 13500 m³/s)
- Powrie, W., 2014. Soil Mechanics concepts and applications 3 rd ed., New York, Taylor and Francis Group, LLC.
- Reyes, R.S.A., Alujas, A.D., Betancourt, S.R., Alberto, C.L.R., Fernando, J.M.H., Rodríguez, S.B., Rodríguez, C.A.L., Hernández, J.F.M., 2017. Assessment of Cuban Kaolinitic Clays as Source of Supplementary Cementitious Materials to Production of Cement Based on Clinker–Calcined Clay–Limestone Proc. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712007002>



Riverbank Erosion Using GIS and Remote Sensing Along the Greater Zab River in Iraq

Rahel Hamad ^{1*} 

¹ Faculty of Research Center, University of Soran, Soran, Erbil, Iraq.

Article information

Received: 22- Nov -2024

Revised: 18- Feb -2025

Accepted: 17- May -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

Environmental Degradation,
River Erosion and Deposition,
GIS,
Remote Sensing.

Correspondence:

Name: Rahel Hamad

Email: rahel.hamad@soran.edu.iq


ABSTRACT

Studying the relationships between rivers and human activity is now crucial due to the significance of rivers for their morphology. The purpose of this study is to identify the historical human impacts on the Greater Zab River's (GZR) morphology. To detect the GZR bank line and flow path and estimate the rate of erosion and sedimentation along the riverbank for the period from 1952 to 2023, a time series of satellite images and a single toposheet have been analyzed utilizing Arc GIS 10.8 software. The results reveal that between the 1950s and the 2020s, the GZR underwent significant narrowing, shortening, and embankment due to various human influences, climate changes, and geomorphological conditions as well. Sand mining, bank erosion and accumulation, together with Land Use/Land Cover (LULC) changes, are the main sources of the GZR's depletion and violent alteration of its propagation. The investigation also reveals that throughout the previous 7 decades, an area of around 9.38 km² was eroded, with the highest erosion rate during the decade (1984 to 1993). The GZR was generally wider in 1952 than it would be in 2023 in the two periods' shifting regions. Throughout the years, it is also possible to observe a frequent change in the river courses. The conclusion of this study highlights the value of using a geospatial approach to effectively analyze riverbank erosion in alluvial channels.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60901](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60901), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تآكل ضفاف نهر الزاب الكبير باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في العراق

راحيل حمد ¹ 

¹ مركز البحوث العلمي، جامعة سوران، سوران، أربيل، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
إن دراسة العلاقات بين الأنهار والنشاط البشري أمر بالغ الأهمية الآن نظرًا لأهمية الأنهار في مورفولوجيا الأنهار. وكان الغرض من هذه الدراسة هو تحديد التأثيرات البشرية التاريخية على مورفولوجيا نهر الزاب الكبير (GZR). لتحديد خط ضفة نهر الزاب الكبير ومسار تدفقه وتقدير معدل التعرية والترسيب على طول ضفة النهر للفترة من 1952 إلى 2023، تم تحليل سلسلة زمنية من صور الأقمار الصناعية وطبقة طبوغرافية واحدة باستخدام برنامج Arc GIS 10.8. كشفت النتائج أنه بين الخمسينيات والعشرينيات من القرن العشرين، خضع نهر الزاب الكبير لتضييق وتقصير وسد كبير بسبب التأثيرات البشرية المختلفة بالإضافة إلى التغيرات المناخية والظروف الجيومورفولوجية. كان تعدين الرمال وتآكل الضفة وتراكمها وتغيرات غطاء استخدام الأراضي (LULC) هي المصادر الرئيسية لاستنزاف نهر الزاب الكبير، مما أدى إلى تغيير مساره بشكل كبير. كشف البحث أيضًا عن تآكل مساحة تبلغ حوالي 9.38 كيلومتر مربع خلال العقود السبعة الماضية، حيث شهد العقد من عام 1984 إلى عام 1993 أعلى معدل تآكل. كان عرض نهر الزاب الكبير أوسع بشكل عام في عام 1952 مما سيكون عليه في عام 2023 في المناطق المتغيرة للفترتين. وعلى مر السنين، من الممكن أيضًا ملاحظة تغير متكرر في مجاري الأنهار. وتُبرز خلاصة هذه الدراسة أهمية استخدام نهج جغرافي مكاني لتحليل تآكل ضفاف الأنهار في القنوات الرسوبية بفعالية.	<p>تاريخ الاستلام: 22- نوفمبر - 2024</p> <p>تاريخ المراجعة: 18- فبراير - 2025</p> <p>تاريخ القبول: 17- مايو - 2025</p> <p>تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية:</p> <p>التدهور البيئي، وتآكل الأنهار والترسيب، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد،</p> <p>المراسلة: الاسم: راحيل حمد</p> <p>Email: rahel.hamad@soran.edu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60901](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60901), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Globally, freshwater rivers' biodiversity is threatened by increasing river fragmentation. Several natural and man-made factors split rivers (Fuller et al., 2015). Among the important factors are riverbank erosion and sand mining. It can take many different forms, such as flooding, landslides, and soil erosion, all of which have an impact on the environment of the river basin region, either directly or indirectly (Billah et al., 2023). Pollution, providing drinking water, river channelization, and damming, as well, are all causing rivers to suffer more and more (Schmutz and Sendzimir, 2018). To bridge the gap between cultural and scientific perspectives on rivers, it is important to understand how human actions, especially historical actions that have long since ceased, continue to affect river ecosystems (Wohl, 2019).

Rivers, a very powerful force, have been shaped over millions of years. Each river can reveal its history by examining its features and the characteristics of the sediments that form its bed. Alluvial channels experience a lot of erosion and deposition. One challenge that alluvial rivers face is their morphological patterns, which affect rivers worldwide. Both human and natural forces have contributed to the development of these patterns. The dynamically flowing river means that it is constantly moving, causing numerous issues for the people living nearby. Human activities such as farming, habitat destruction, and deforestation can greatly accelerate

erosion rates, increasing them by a factor of 10 to 100 compared to natural geological processes on rates, increasing them by a factor of 10 to 100 compared to natural geologic processes (Kang and Kanniah, 2022).

Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) are vital tools for detecting changes along riverbank erosion. Results from trend analysis and change detection can be used to make predictions (Hassan, 2015).

Materials and Methods

Case study's description

The Greater Zab River is shared by Turkey and Iraq. It flows across northern Iraq, and it originates in the Ararat Mountains of Turkey and travels 372 km to join the Tigris River south of Mosul City (Aziz and Omar, 2019). Generally, there are three courses (reaches) in the Greater Zab River. The first course comes from a mountain course in Iraq, where the water moves at a greater speed because of the steep gradient and the valley's restricted flow. The region of importance (area of interest and second course) is in the middle section, which begins at Bekhme Gorge (Fig. 1). The lower flow of the river, which is the third section, has a gradual slope and is nearly level. In the current study, approximately 104 km long has been selected for the middle reaches of the GZR, which is one of the major tributaries of the Tigris River in Iraq, over the past seven decades.

River terraces, which are made of conglomerate, siltstone, sandstone, rock fragments, silty, and clayey soil, cover the majority of the studied area. Moreover, the GZR flows mostly over clastic rocks that include several Quaternary sediment types, including deposits from floodplains and river terraces. Therefore, the formation of alluvial fans, mass movements, and structural shapes is the reason for the changing river patterns (Sissakian and Al-Ansari, 2019).

The dense bankside vegetation offers habitat for terrestrial animals as well as food and shade for river-dwelling species (Addy et al., 2016). Rivers that are shaded by riparian shrubs and trees provide vital habitat for instream fauna, primarily fish. Some of the most important ecosystems in nature are riparian zones (Plate 1), that is important for providing habitat for animals that live in and around the river, and it moderates and **cool** the temperature of the entire ecosystem, and they are fully dependent on the river's flow regime to survive (Sreebha, 2008).

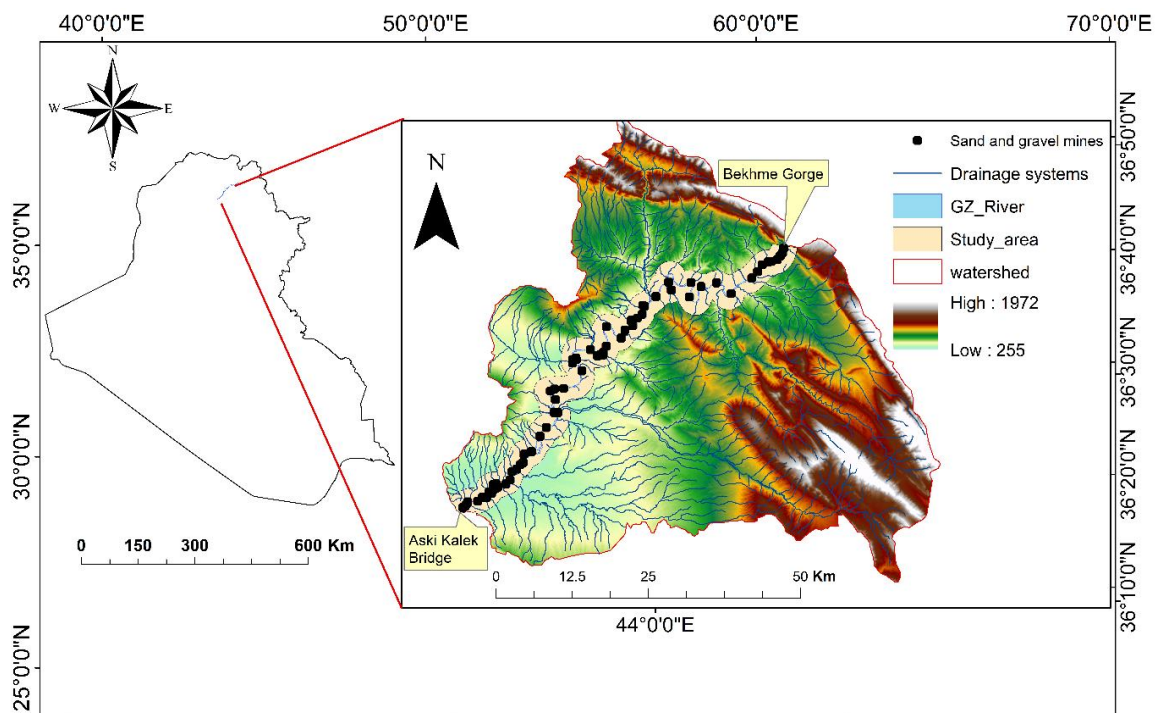


Fig. 1. Locations of GZR, drainage network systems, DEM values, and sand and gravel mines within the study area.



Plate 1. Surrounding riparian vegetation buffer at GZR (Photo by R. Hamad, 2023).

Tree roots and woody debris in the stream enhance its physical habitat diversity, stabilize sediments, and improve the water quality. Woody debris slows the flow of the water, forming eddies and pools where fish can rest, hide from scavengers, and avoid direct sunlight (Addy et al., 2016) (Plate 2).



Plate 2. Spatial structure of the environment that allows species to live and reproduce at GZR (Photo by R. Hamad, 2023).

The main causes of bank erosion and accumulation are channel expansion, elongation of meander bends, lateral channel movements, and meander cutoff (Plate 3).



Plate 3. Erosion of banks and expansion of the aggregation channel at GZR (Photo by R. Hamad, 2023).

The mid bar is depicted in Plate (4), which developed as the stream's secondary flow swept and rolled sand, gravel, and small stones laterally across the stream's bed, and up the point bar's shallow and sloping floor (Semwal and Dutt Chauniyal, 2019).

Another feature exposed in the area of interest was Riffles and pools, which develop when shallow water moves quickly over gravel or cobbles, breaking up the water's surface (Addy et al., 2016). The channel splits into two branches due to abrupt changes in gradient caused by riffle formation, and silt is dumped in the pool along the channel close to the bifurcation. There was a lengthy tail of gravel between the two dividing channels (Plate 5). Moreover, island bars frequently grow at riffle places and then emerge above the water as the water level drops (Semwal and Dutt Chauniyal, 2019).



Plate 4. Point bar at GZR (Photo by R. Hamad, 2023).



Plate 5. Riffles at GZR (Photo by R. Hamad, 2023).



Plate 6. Splitting of GZR as a result of the excavation of sand and gravel (Photo by R. Hamad, 2023).

The geometry of rivers is dynamic and reacts to both natural and artificially induced activity. Sand mining can change the shape of rivers (Plate 6). Both the length and the width are subject to change (Smith and Winkley, 1996). Thus, human activities are more powerful than natural events such as floods, droughts, and landslides in causing changes in the river pattern (Hossain et al., 2013).

The Greater Zab River between Bekhme Gorge and Aski Kalek Bridge is the subject of the study area, where it flows from the northeast to the southwest. The Google Earth Engine recorded a mean monthly maximum temperature of about 27.66 °C and a mean monthly minimum of 13.80 °C from 1980 to 2022. The altitude of the study area (a one-kilometer buffered zone) varies from 1972 meters above sea level in the highlands to 255 meters above sea level in the lowlands.

The total annual precipitation (1980–2022) is drawn as a graph based on the data downloaded from the Google Earth Engine (GEE). The years 1987, 1993, and 2019 had the highest totals of precipitation (911.6, 907.2, and 879.8 mm), respectively. On the other hand, the minimum total precipitation in 2021, 2008, and 1989 was (355.3, 401.0, and 405.6 mm), respectively (Fig. 2).

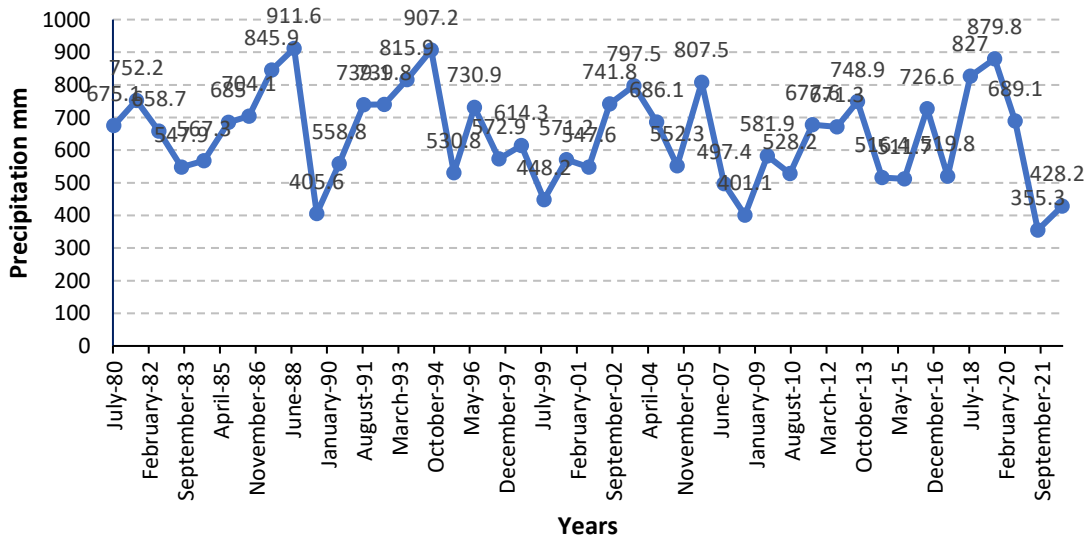


Fig. 2. Total precipitation (in mm) in any place within the research area (downloaded from the Google Earth Engine platform).

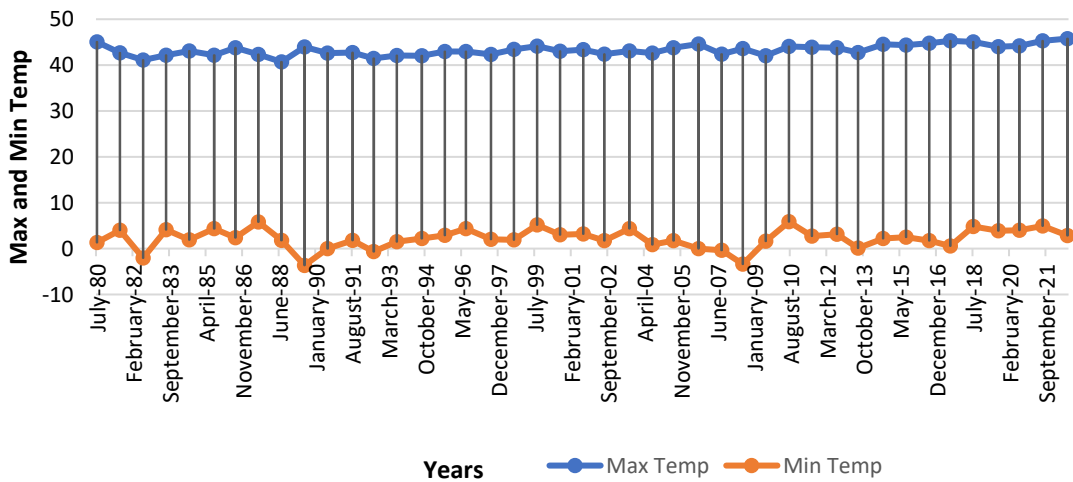


Fig. 3. Highest and lowest temperatures (in °C) for each winter and summer season for any place within the research area.

The research area's maximum and minimum temperatures for the same period, however, are shown in Figure 3. The highest recorded temperature was 45 °C in 1980, while the lowest recorded temperature was -3.6°C in 1989.

Geological setting of the study area

Several exposed formations are intersected by the GZR such as Pila Spi Formation (well-bedded, hard pale grey limestone, dolomite and rare marl) starting at the Bekhme Gorge, then followed by: Fatha Formation (alternation of green marl, reddish brown claystone, limestone, and gypsum), Injana Formation (alternation of sandstone, siltstone, and claystone, all reddish brown in color), Mukdadiya Formation (alternation of sandstone, siltstone and claystone; all grey in color), and Bai Hassan Formation (coarse conglomerate and reddish-brown claystone with rare sandstone) in addition to alluvial fan sediments (both are well developed old and recent alluvial fans) and river terraces, which are very similar to the deposits of Bai Hassan Formation (based on Elias and Sissakian, 2022) (Fig. 4).

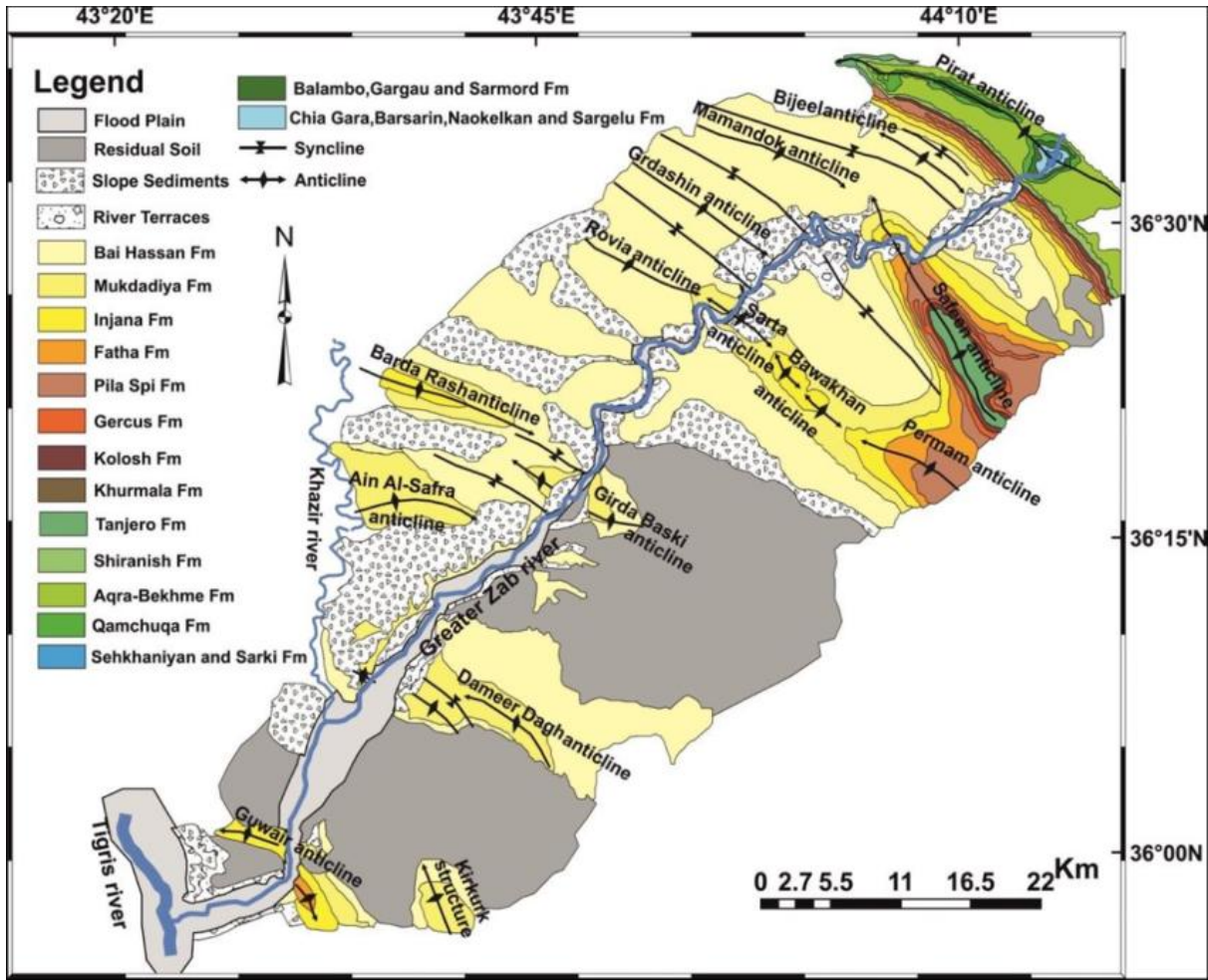


Fig. 4. Geological map of the studied area (after Elias and Sissakian, 2022).

Data Set and Method

The analysis of bank erosion and bank aggregation in a temporal context is the major goal of the study. One Landsat scene from USGS Earth Explorer, Landsat images contained enough information to cover the whole area, and UTM Zone 38N encompasses the research area. Six satellite images with dates ranging from 1973 to 2023 and one topographic map for the year 1952 from Hunts Company are used to evaluate changes in the study area (Table 1).

Table 1: Satellite images and topographic maps with their acquisitions and resolutions.

	Sensor	Band numbers	Date of acquisition	Spatial resolution [m]
Hunting Aero-surveys	-	Topographic Map	1952 Survey of Iraq	1:20,000
Landsat1	MSS	1,2,3	July 13, 1973	79
Landsat5	MSS	1,2,3,4	June 15, 1984	30
Landsat5	MSS	1,2,3,4	July 26, 1993	30
Landsat5	TM	1,2,3,4,5,6,7	September 24, 2003	30
Landsat8	OLI_TIRS	1,2,3,4,5,6,7	July 17, 2013	30
Landsat8	OLI_TIRS	1,2,3,4,5,6,7	July 29, 2023	30

In the dry season (June to September), multi-temporal Landsat images were collected with optical sensors. Only satellite images taken during the dry season were chosen because during this time of year, vegetation cover and other ground conditions, especially the water level, are relatively stable from year to year. This is crucial for determining how the GZR changes over time in terms of erosion and aggregation.

To distinguish between the soil, vegetation, and water body in the study area and to compare the riverbank line of several images, the Normalized Difference Water Index (NDWI) is utilized in this investigation. Water bodies have values greater than 0.5 (McFeeters, 2013). The NDWI map is created using the following equation:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

When predicting the bank line relocation of any river system, coarser resolution photos typically lead to higher mistakes, and vice versa. Therefore, the Landsat-MSS image with a 79x79 m resolution fails to show bank erosion and aggregation in several areas along the studied river. Although Landsat-TM images at 30-m resolution are frequently more beneficial than Landsat-MSS 79-m resolution images for mapping uniform close-to-urban land covers, they occasionally may be less effective in uneven urban regions (Hossain et al., 2013). The MSS images with a 79-meter resolution had been resampled to a 30-m resolution.

In the current work, variations in erosion deposition by a decade are examined for the period intervals (1952–1973, 1973–1984, 1984–1993; 1993–2003; 2003–2013; and 2013–2023). This study uses spatial and temporal analysis to evaluate changes and geo-visualize variations in the GZR. Processing and studying geographical data in a GIS environment has been done, as has using the Random Forest for image classification technique in the R statistical program. Furthermore, Arc GIS version 10.8 is utilized to calculate river movement and bank erosion.

Moreover, between 1952 and 2023, the amount of lost land and newly generated land was measured individually for the two different banks. Where the most recent bank line crossed the prior line, erosion is present, and where it left the line, aggregation is present. The amount of erosion and aggregation is properly calculated. Finally, a scheme of erosion and aggregation is drawn, and thence, the movement is found.

Results

Classification Maps and Accuracy Assessment

Random forest classification is used to categorize the images into several land cover classes to examine how land use and land cover have changed over time. The versatility, feature importance evaluation, decreased overfitting risk, and hyperparameter modification of random forest make it one of the most used machine learning techniques (Halabaku and Bytyçi, 2024). Since there were no built-up areas in the study area in 1972, the image from that year is divided into four classes, as opposed to the 2023 image, which is divided into five categories: cultivated land, built-up areas, barren soil, rocky lands, and rivers. Actual and periodic percentage of changes in land cover across the various periods between 1973 and 2023 were examined as seen in Figures 5 and 6, respectively.

The combined data derived from the analysis of satellite images are presented in maps. In contrast to image 1973, which had an accuracy assessment of 0.96 and a kappa coefficient of 0.94, image 2023 had a kappa coefficient of 0.91 and an accuracy assessment of 0.93.

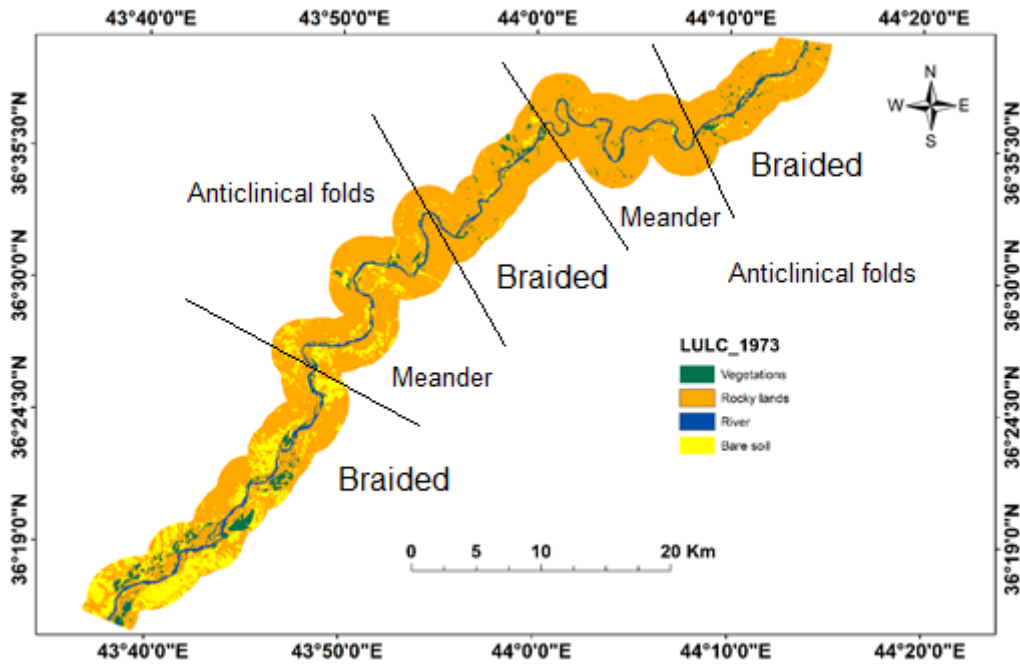


Fig. 5. Random Forest classification of GZR in 1973.

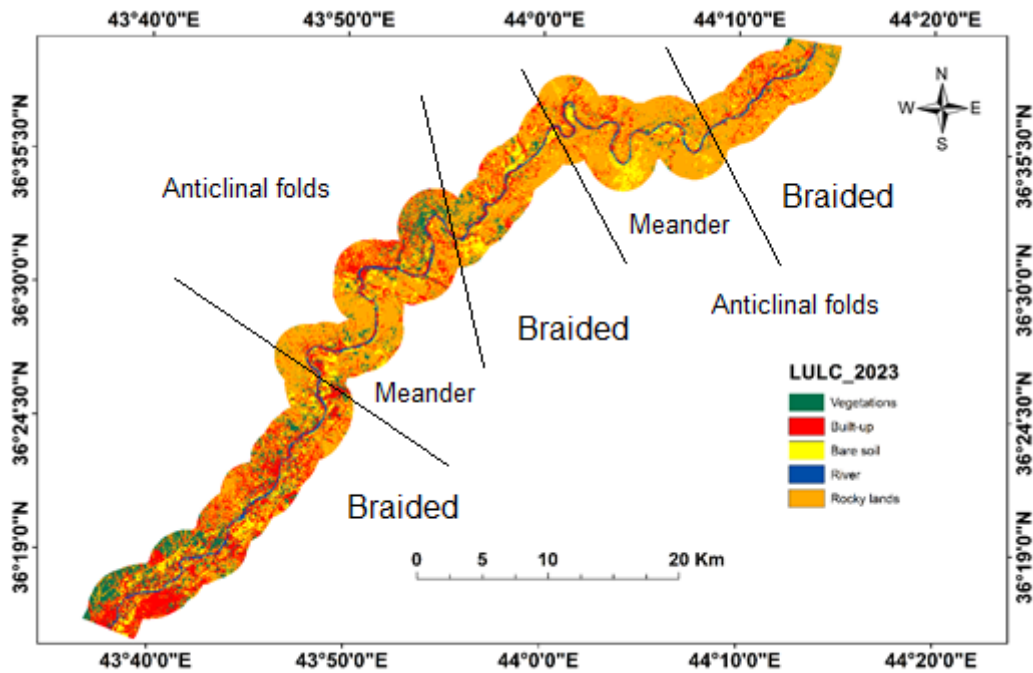


Fig. 6. Random Forest classification of GZR in 2023.

The GZR average channels were continuously altering between 1952 and 2023 according to the analysis of satellite images and a topographic map of the study area (Fig. 7). As a result of ongoing erosion and material deposition on its banks, the GZR will get shallower. This increases the likelihood that the river may flow in any direction, resulting in a lower channel gradient and larger sections (Sil et al., 2022).

Principally, meanders were formed in the middle of the course, as in the current study. The gradual development of these looping patterns is made possible by the gentle slopes and softer sediments that are typical of places with meandering rivers. Furthermore, continuous erosion on the outer bank and deposition on the inner bank form a meander in the river, which will migrate downstream and change shape over time (Kasvi et al., 2017).

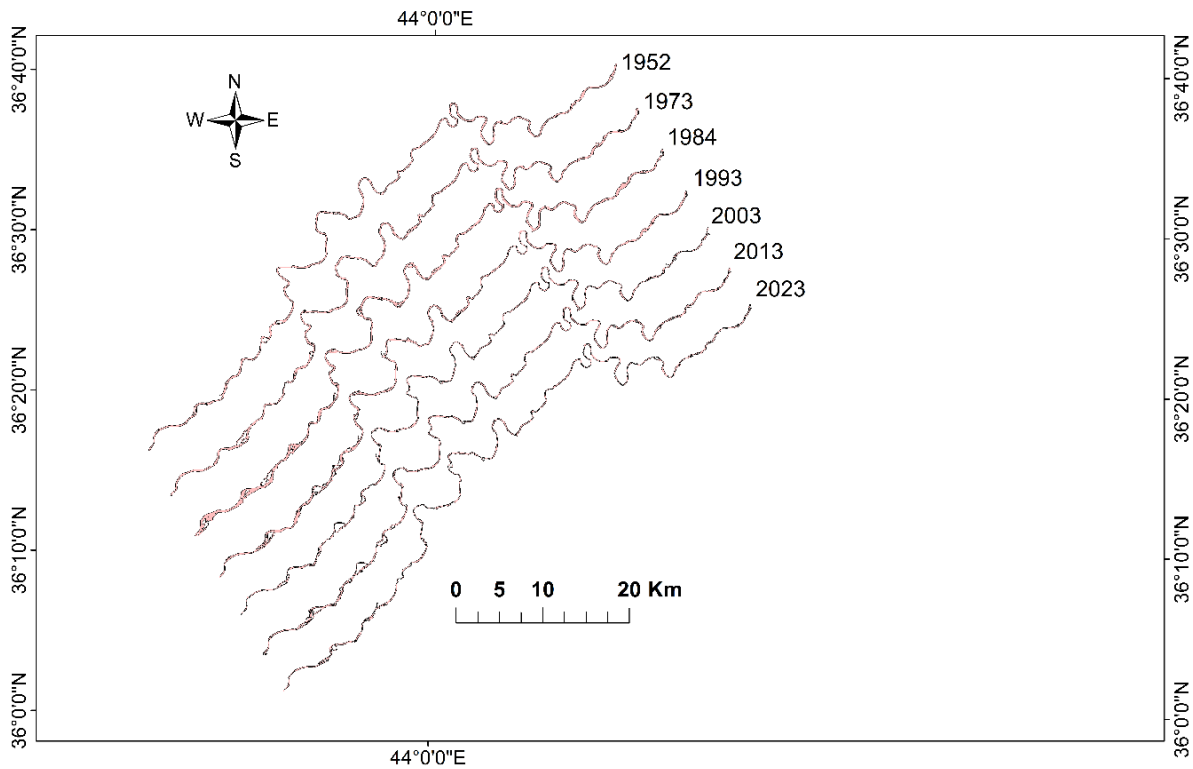


Fig. 7. GZR's stretches saw a series of channel planform modifications for GZR flow from NE to SW between 1952 and 2023.

Dynamics of Bank Erosion and Aggregation

The reduced erosion of 2.01 km² between 2003 and 2013 is seen in Table 2 at its lowest rate. However, between 1984 and 1993, the most significant rate of erosion increased by 9.38 km². In contrast, the rate of aggregation, which increased by 8.46 km², was at its highest between 1973 and 1984, and the minimum rate per 1 km² was 1.53 between 1993 and 2003. Moreover, the highest unchanged area is discovered between 1973 and 1984, reaching 16.59 km².

Table 2: Area of land aggregation, erosion, and unchanged water body (in km²) of the GZR between 1952 and 2003.

Years	Previous 10 years	Next 10 years	Unchanged	Erosion	Aggregation
1952-1973	18.23	19.25	12.17	6.06	7.07
1973-1984	19.25	25.06	16.59	2.66	8.46
1984-1993	25.06	19.11	15.68	9.38	3.40
1993-2003	19.11	12.89	11.36	7.72	1.53
2003-2013	12.89	15.48	10.88	2.01	4.60
2013-2023	15.48	12.72	10.34	5.13	2.10

The study area's status has gotten worse as a result of direct and indirect human influences, and recently, it has also become dangerous for the continued existence of several infrastructures close to the bank. According to this analysis, there has been significant land loss along both riverbanks. Within 71 years, there was a total of 32.96 km² of erosion in the studied area, compared to 27.16 km² of newly formed land. Therefore, the research region suffered from substantial erosion from 1952 to 2023. The lowest unchanged area was 10.34 km² as revealed between 2013 and 2023 (Fig. 8). Consequently, throughout the past 71 years, the GZR exhibited a dynamic behavior in terms of erosion, aggregation, and unaltered area.

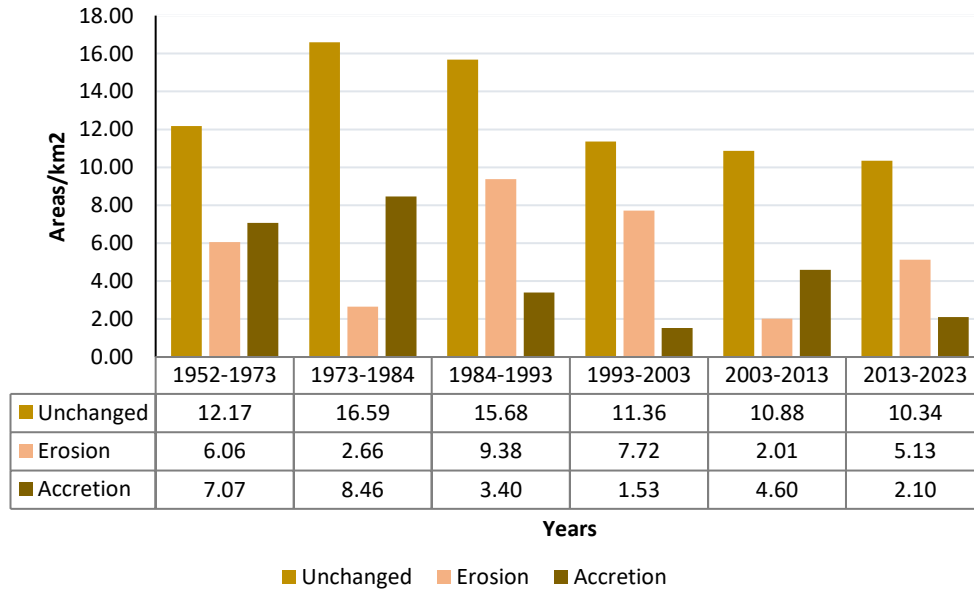


Fig. 8. GZR’s erosion, aggregation, and unchanged area between 1952 and 2023.

River Width

According to the findings shown in Table 3, the GZR's local width changed during the study period from a maximum of 545.8 m in 1984 to a minimum of 29.8m in 2003. Because of numerous variables such as erosion and aggregation, sand and gravel mining, rainfall changes, LULC changes, and temperature changes on both banks, the river's width has considerably varied over the past 71 years. For instance, between 1984 and 2023, the average river width substantially shrank from 318.1 m to 137.6 m; nevertheless, it also slightly increased from 215 to 218.25 m between 1952 and 1973, respectively.

From 1993 to 2023, the average width gradually decreased (Table 3 and Fig. 9). It is important to note that the average width of the river also increased from around 215 to 318.1 m between 1952 and 1984. With the lowest maximum width of 245.4 m, the lowest minimum width of 29.8 m, and the smallest area of 12.64 km², the GZR experienced a significant narrowing in 2023.

Table 3: Changes in the GZR’s width and area from 1952 to 2023.

Year	Maximum width (m)	Minimum width (m)	Average width (m)	Area (km ²)
1952	341.4	88.6	215	18.23
1973	359.7	76.8	218.25	19.24
1984	545.8	90.4	318.1	25.05
1993	350	71.5	210.75	19.10
2003	262	36.8	149.4	12.88
2013	263	47.5	155.25	15.47
2023	245.4	29.8	137.6	12.64

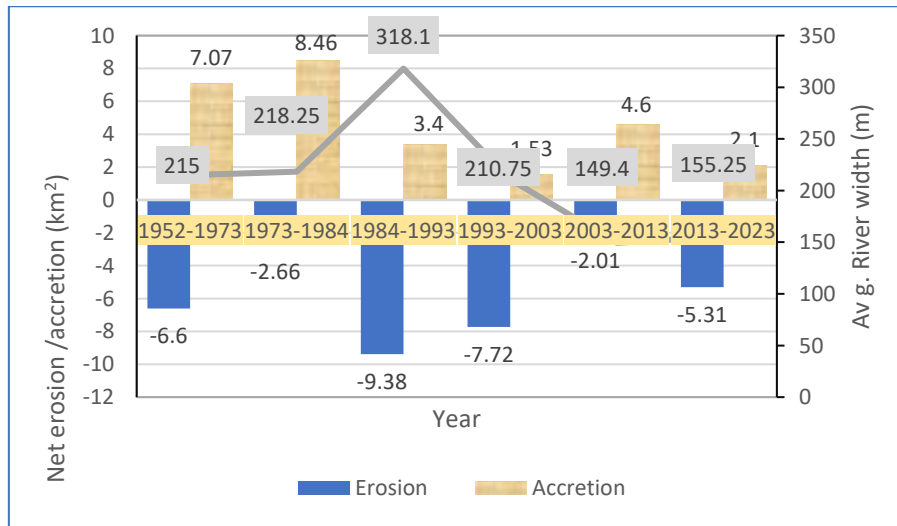


Fig. 9. Changes in the average river width of GZR under a net aggregation and erosion between 1952 and 2023.

Use of Goods and Services by Neighborhood Households Near the Greater Zab River

Compared to 1952, the area of the GZR was smaller, comprising nine patches and 18 islands in 2023 (Table 4). Water abstraction, sand and gravel mining, river channelization, and river fragmentation have all caused more and more harm to the Greater Zab River in the study area over the last seven decades.

The year 2023 experienced the highest fragmentation with nine patches, but had four patches in 1993. The increasing number of patches indicates ecosystem degradation; thus, it is a sign of an unhealthy ecology in the GZR in 2023 (Fig. 10). Consequently, a variety of pressures will apply to the GZR, such as point-source and diffuse contamination from sand and gravel mining, providing drinking water, invasive plant and animal species, physical change, and climate change (Ritter et al., 2002).

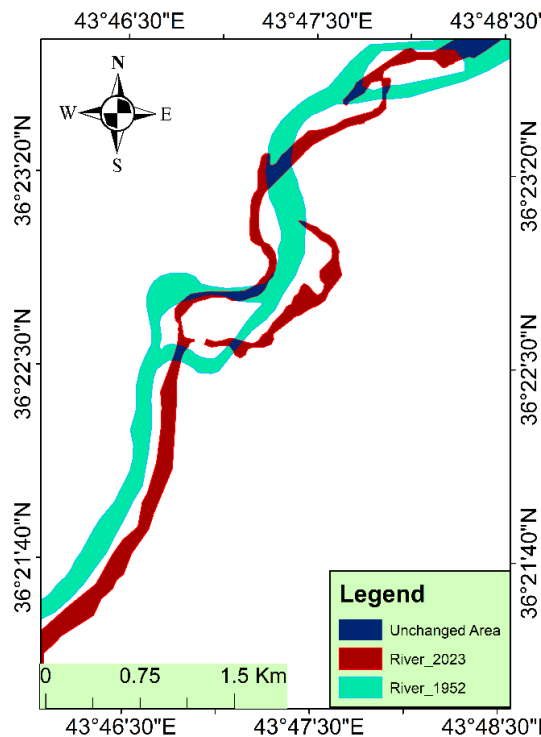


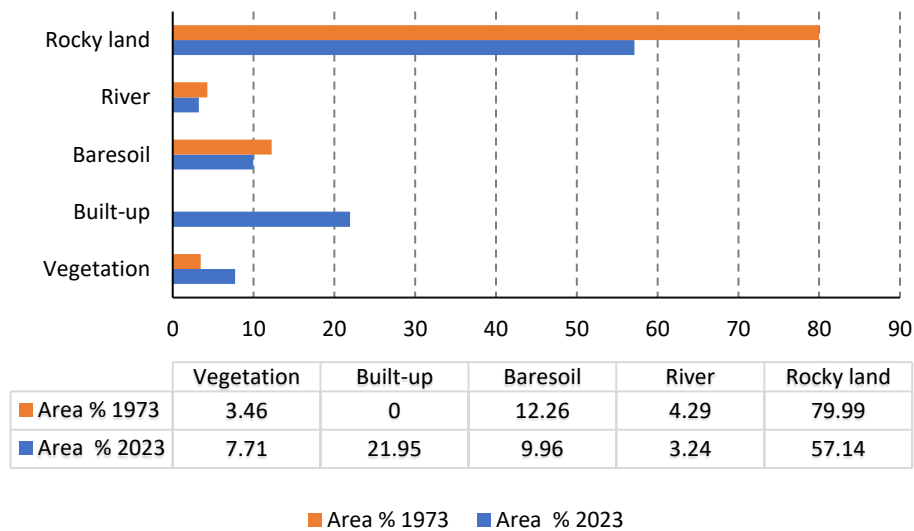
Fig. 10. Part of fragmented GZR in 2023 with red color indicating channel shifting during the research period; the river in 1952 is colored by beryl green; the unaltered sections are colored by blue.

Table 4: Areas, islands, and patches of the GZR in all years.

Year	Area (km ²)	No. of Islands	No. of patches including the river
1952	18.23	13	1
1973	19.24	8	1
1984	25.05	19	1
1993	19.10	36	4
2003	12.88	21	3
2013	15.47	47	2
2023	12.64	18	9

Effects on Household Livelihoods of Land Use and Land Cover Change

Two periods have been explained in this sub-section, which are 1973 and 2023. The categorization area statistics are shown in Figure (11), and percentages are used to measure the classed areas. The LULC maps are displayed in Figures 6 and 7 for two different time points. In the area of interest, rocky lands predominated the landscape in 1973 and 2023, taking up 79.99% and 57.14% of the total area respectively.

**Fig. 11. Percentage of changes in LULC within the study area between 1973 and 2023.**

The built-up area came next, accounting for 21.95% of the total area only in 2023, as there was no built-up area close to the river in 1973. Additionally, in 1973 and 2023, the percentage of bare soil was respectively 12.26% and 9.96%, that of vegetation was 3.46% and 7.71%, and the percentage of the river was 4.29% and 3.24%.

Thus, the results show that built-up and vegetation areas were significantly correlated with the water point's physical appearance. According to the results of the study conducted from 1973 to 2023 on various types of land, built-up and vegetated areas experienced the greatest positive changes, while bare soil, rivers, and rocky areas underwent the greatest negative changes.

Impacts on socioeconomics, biodiversity, hydrology, and the environment might result from changes in the rivers. In Table 5, further information is displayed along with explanations.

Table 5. Land class values in the GZR in 2003 and 1973 are expressed as areas in km².

Years	2023	1973
Land class	Area (in km ²)	Area (in km ²)
Cultivated land	1.41	0.63
Built-up	4	0
Bare soil	1.82	2.23
River	0.59	0.79
Rocky land	10.41	14.58
Total	18.23	18.23

Discussion

According to Table 2, erosion and aggregation are the main problems that are present in the alluvial plains of the GZR. The combined number of these problems is significant and concerning. In general, the Greater Zab riverine system underwent several alterations over the research period. For instance, there were significant positive changes between 1952 and 1984, when the area of the river increased from 18.23 km² to 25.05 km² respectively. The river area then underwent a severe decline between 1984 and 2003, shrinking to 12.88 km² in that year. Between 2003 and 2013, the river's area increased significantly, reaching 15.47 km². However, in 2023, the river's size began to decline once more, reaching 12.64 km², and recording the lowest area in the last seven decades (Fig. 12).

According to the findings, the river has undergone significant channel alterations over the past century, particularly in the most recent decades, as a result of declines in width. Since the river hasn't yet reached a new equilibrium condition, the observed trends of channel alteration allow us to project that there will be declines in width and braiding intensity. This will probably continue shortly as the channel moves closer to a new equilibrium state due to a change in the river.

Moreover, the level of morphological reaction was high. The river has narrowed significantly, which is the most noticeable difference. This has caused the average width to drop to barely 28.11 percent of its original value throughout the period. This is shown due to a change in river pattern from braiding to meandering.

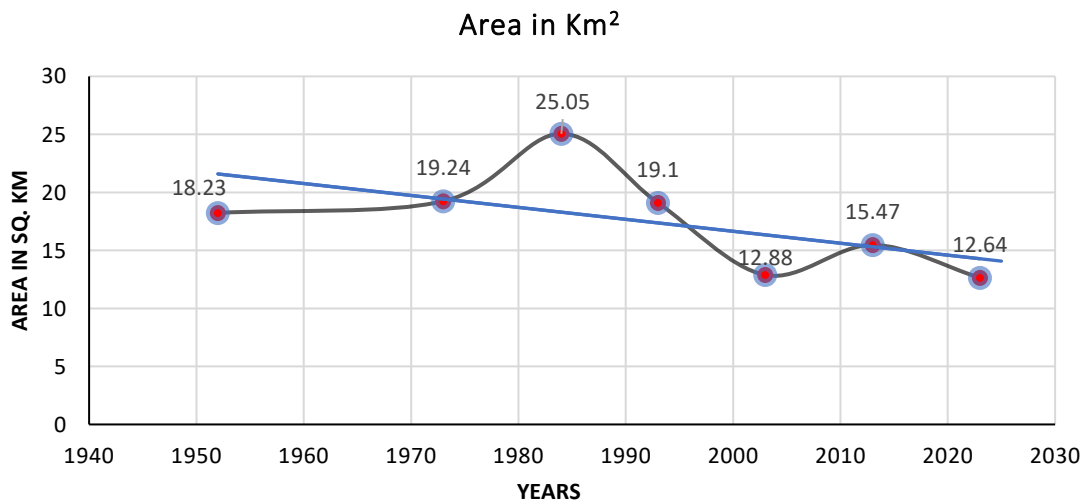


Fig. 12. Area (in km²) of the study area between 1952 and 2023.

The first period, which lasted from the turn of the 20th century until the end of the 1980s, saw few human influences on the river and river morphology that was either in or very similar to its natural state. There was no fragmentation of the river, and the river also expanded. However, the river began to split, the number of islands increased, and the river's area shrank beginning in the 1990s. This is due to increasing human impacts, the extraction of more sand and gravel, the use of the river as a source of drinking water, and decreased rainfall, with the lowest recorded amount of 355.3 mm in 2021 (Fig. 2).

A temporal analysis of land use and land cover shows that certain classes are growing while others are shrinking. For instance, built-up areas and vegetation land between 1973 and 2023 were rapidly developed from 0% and 3.46% to 21.95% and 7.71% respectively at the expense of other land classes including bare soil, river course and rocky lands (Fig. 11). Because

of the additive effects of various human activities to some extent, the amplitude of morphological responses has been quite high in the case of the GZR. Along with this, one of the main trends for expanding the vegetation area is the growth of human settlements and other infrastructure-related activities, including the extension of road networks. Additionally, many people rely on agriculture for their livelihood, and they practice it along the adjacent banks of the river. However, their lives are terrible, and they suffer significant financial losses as a result of the frequent shifting of riverbanks.

Many factors have influenced the environment in the research region; for example, on both sides of the GZR, there are around seventy (both legal and unlawful) sand and gravel mines. Increasing mines of sand and gravel means destroying the riparian vegetation and degrading the river ecosystem. Overall, agricultural areas have increased from 3.46% in 1973 to 7.71% in 2023 (Fig. 11), leading to significant bank erosion. All things considered; the risk of bank erosion is reduced when there is any kind of vegetative cover along the riverbanks.

These mines are the main cause of habitat loss (Das et al., 2014), physical habitat disturbance, riparian habitat destruction (Koehnken et al., 2020), increased water turbidity (Padmalal and Maya, 2014), increased water salinity (Ashraf et al., 2011), increased water treatment costs (Ashraf et al., 2011), lateral channel erosion and instability (Mukherjee et al., 2017), influencing the uncertainty of the slope (Hackney et al., 2021), and changes in water flows (Rentier and Cammeraat, 2022). All of which had affected the river ecosystems. Furthermore, this has caused a decline in soil erosion and soil quality that was drastically altering the landscape. Thus, sand mining changed the GZR ecosystem.

All impacts realized in this research indicate that river sand extraction has damaged the biological environment and affected the entire food chain and ecosystem services. Moreover, the depletion of natural resources in the study area is causing a loss of ecosystem services as well, such as the provision, regulation, and support of services (Blumstein and Thompson, 2015). On the other hand, it is essential to identify land uses that are extremely sensitive to human activities to prevent harm to ecosystem services for drinking water surrounding the basin (Davids et al., 2018). Additionally, a large temperature change can reduce biodiversity, and a warmer river holds less dissolved oxygen in its water (Scarano, 2019).

Moreover, sand and gravel excavations, along with rainy weather, led to riverbank erosion in the study area. Thus, the development and modification of the surrounding GZR occurred at different periods, which led to the destruction of the biological environment. Also, all of these human-induced channel changes can have adverse impacts on the environment, society, and economy, including the destruction of riparian vegetation and infrastructure, an increase in the danger of flooding, and adjustments for aquatic and riparian vegetation ecosystems. Similarly, it has been noted that as river discharge and flow velocity have increased, bank erosion has accelerated (Sil et al., 2022).

Since the majority of alluvial rivers are found in the study area due to geology, monsoon rains are another factor that significantly affects bank erosion. During this time, the river reaches its peak flow, and its capacity and speed increase, causing the side banks to overflow and causing severe bank erosion.

Human activities were the key factor that induced flow alteration in the natural flow regime of the GZR. For the planning, development, delivery, and evaluation of the results of environmental water regimes, it is imperative to comprehend the implications of these flow regime modifications (Rolls and Bond, 2017). As a result, various disturbances will have an impact on the biodiversity and ecological functioning of the GZR and its floodplain (Poff and Zimmerman, 2010).

The biggest dangers to the world's biological diversity in riverine systems are thought to be river fragmentation and riparian vegetation loss, and this is as of 2023 (Table 4). Due to a

decrease in aquatic areas, fragmentation isolates the patches and harms species composition. The movement and protection of species depend on habitat corridors. To preserve green spaces that can serve as important recreational areas, their development and administration are crucial. Therefore, riverbank erosion is strongly related to vegetation. Consequently, the GZR is under threat because all indications point to the river ecosystem's decline.

Accordingly, human involvement can directly cause channel shape changes, which are typically detectable only over decades (Kang and Kanniah, 2022). Thus, these results explain the decline in natural resources in the GZR basin by demonstrating an inherent drop in resources brought on by growing agriculture and urbanization.

The current study has shown how social and economic factors stress the GZR, altering its ecological processes and impacting its fauna and flora. A multitude of factors, such as water discharge, anthropogenic activities, and climate change, constantly alter the dynamics of the GZR channel. Among these, flood-related incidents have the potential to drastically and unpredictably change river courses.

Thus, the region covered by erosion was generally shown to be more dynamic between 1952 and 2023 than the area covered by aggregation (deposition). The dynamics of the GZR and other rivers of a similar nature around the world will be better understood thanks to this study. Doing micro-research in this sensitive area is therefore vitally needed to support the preservation of the river's ecosystem.

Finally, in the last three decades, the GZR habitats were most negatively damaged and took the biggest hit by human activity, particularly sand and gravel mining, although most reaches were affected for a variety of reasons. Unfortunately, there is no strategy for river restoration in this area or even in the whole of Iraq to protect biodiversity and stop further deterioration.

Conclusion

1. The present work demonstrates how Landsat satellite data can be successfully applied to RS and GIS using multi-temporal satellite imagery to monitor riverbank erosion and aggregation.
2. Due to the characteristics of the research area, the sand and gravel mining activities influence changes in river morphology (shape) at different levels.
3. This study highlights the effects of operations along the GZR, including sand mining and artificial meander closures for irrigation purposes, on the river migration.
4. Continued river channel narrowing results in a shift in the behavior of the river system, necessitating an urgent management strategy combining the river's risk reduction and improvement.
5. This investigation of the GZR has shown that the year 2023 saw a notable shortening of the waterway.
6. It has undergone significant modifications to accommodate human demands, including the removal of sand and gravel from the river, the riparian vegetation buffer zone, 's destruction and the provision of irrigation water.
7. In 2023, clearing land utilized for extensive residential, agricultural, and industrial purposes, like sand and gravel mining, was the most typical change. Therefore, across all time scales, human intervention has grown to be a significant force affecting river dynamics.

Conflict of Interest

The author declares that there are no competing interests.

References

- Addy, S., Cooksley, S., Dodd, N., Waylen, K., Stockan, J., Byg, A., and Holstead, K., 2016. River Restoration and Biodiversity, IUCN Gland, Switzerland.
- Ashraf, M.A., Maah, M.J., Yusoff, I., Wajid, A., and Mahmood, K., 2011. Sand mining effects, causes and concerns: A case study from Bestari Jaya, Selangor, Peninsular Malaysia. *Scientific Research and Essays*, 6, 1216-1231.
- Aziz, S.Q. and Omar, I.A., 2019. Performance Evaluation and Water Quality Index Analysis for Qandil Water Treatment Plant. *Polytechnic Journal*, 12, 4 DOI: <https://doi.org/10.25156/ptj.v12n1y2022.pp21-29>.
- Billah, M.M., Majumdar, A., Rahman, S.M.A., Alam, M.S., Hossain, M.J., Talukder, J., Islam, M.M., and Khanam, T., 2023. Riverbank erosion and rural food security in Bangladesh. *World*, 4, 528-544 <https://doi.org/10.3390/world4030033>.
- Blumstein, M. and Thompson, J.R., 2015. Land-use impacts on the quantity and configuration of ecosystem service provisioning in Massachusetts, USA. *Journal of Applied Ecology*, 52, 1009-1019 <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12444>.
- Das, T.K., Haldar, S.K., Gupta, I.D., and Sen, S., 2014. Riverbank erosion induced human displacement and its consequences. *Living Reviews in Landscape Research* 1-35 doi:10.12942/lrlr-2014-3, 8.
- Davids, R., Rouget, M., Boon, R. and Roberts, D., 2018. Spatial analyses of threats to ecosystem service hotspots in Greater Durban, South Africa. *PeerJ*, 6, e5723 <https://doi.org/10.7717/peerj.5723>.
- Elias, Z. and Sissakian, V.K., 2022. Influence of the Tectonic Activity on the Terraces of the Greater Zab River, NE Iraq, Zagros Fold-Thrust Belt. *The Iraqi Geological Journal*, 59-69 DOI: [10.46717/igj.55.1F.5Ms-2022-06-20](https://doi.org/10.46717/igj.55.1F.5Ms-2022-06-20).
- Fuller, M.R., Doyle, M.W., and Strayer, D.L., 2015. Causes and consequences of habitat fragmentation in river networks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1355, 31-51 <https://doi.org/10.1111/nyas.12853>.
- Giller, P.S. and Malmqvist, B., 1998. *The biology of streams and rivers*, Oxford University Press.
- Hackney, C.R., Vasilopoulos, G., Heng, S., Darbari, V., Walker, S., and Parsons, D.R., 2021. Sand mining far outpaces natural supply in a large alluvial river. *Earth Surface Dynamics*, 9, 1323-1334.
- Halabaku, E. and Bytyçi, E., 2024. not mentioned in text Overfitting in Machine Learning: A Comparative Analysis of Decision Trees and Random Forests. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 39, <https://doi.org/10.32604/iasc.2024.059429>.
- Hamad, R., 2022. Erbil Basin groundwater recharge potential zone determination using fuzzy-analytical hierarchy process (AHP) in north Iraq. *Tikrit journal for agricultural sciences* 22, 175-190 <https://doi.org/10.25130/tjas.22.3.20>.
- Hassan, M.S., 2015. Quantification of river bank erosion and bar deposition in Chowhali Upazila, Sirajganj District of Bangladesh: a remote sensing study. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4 <https://doi.org/10.4236/gep.2016.41006>, 50-57.
- Henshaw, A.J., Sekarsari, P.W., Zolezzi, G., and Gurnell, A.M., 2020. Google Earth as a data source for investigating river forms and processes: Discriminating river types using form-

- based process indicators. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45, 331-344 <https://doi.org/10.1002/esp.4732>.
- Hossain, M.A., Gan, T.Y., and Baki, A.B.M., 2013. Assessing morphological changes of the Ganges River using satellite images. *Quaternary international*, 304, 142-155 <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.03.028>.
- Kang, C.S. and Kanniah, K.D., 2022. Land use and land cover change and its impact on river morphology in Johor River Basin, Malaysia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101072 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101072>.
- Kasvi, E., Hooke, J., Kurkela, M., Vaaja, M.T., Virtanen, J.P., Hyypä, H. and Alho, P., 2017. Modern empirical and modelling study approaches in fluvial geomorphology to elucidate sub-bend-scale meander dynamics. *Progress in Physical Geography*, 41, 533-569 <https://doi.org/10.1177/0309133317715870>.
- Koehnken, L., Rintoul, M.S., Goichot, M., Tickner, D., Loftus, A.C., and Acreman, M.C., 2020. Impacts of riverine sand mining on freshwater ecosystems: A review of the scientific evidence and guidance for future research. *River Research and Applications*, 36, 362-370 <https://doi.org/10.1002/rra.3586>.
- Leopold, L.B., 1997. *Water, rivers, and creeks*, University Science Books.
- McFeeters, S.K., 2013. Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. *Remote Sensing*, 5, 3544-3561.
- Mukherjee, R., Bilas, R., Biswas, S.S., and Pal, R., 2017. Bank erosion and accretion dynamics explored by GIS techniques in lower Ramganga River, Western Uttar Pradesh, India. *Spatial Information Research* 25, 23-38 <https://doi.org/10.1007/s41324-016-0074-2>.
- Padmalal, D. and Maya, K., 2014. Impacts of river sand mining. *Sand mining: Environmental impacts and selected case studies*, 31-56 https://doi.org/10.1007/978-94-017-9144-1_4.
- Poff, N.L. and Zimmerman, J.K., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater biology* 55, 194-205 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>.
- Rentier, E. and Cammeraat, L., 2022. The environmental impacts of river sand mining. *Science of the Total Environment* 838, 155877 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155877>.
- Ritter, K.S., Paul S., Ken H., Patricia K., Gevan M., Beth L.L., 2002. Sources, pathways, and relative risks of contaminants in surface water and groundwater: a perspective prepared for the Walkerton inquiry. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 65, 1-142 <https://doi.org/10.1080/152873902753338572>.
- Rolls, R.J. and Bond, N.R., 2017. Environmental and ecological effects of flow alteration in surface water ecosystems. *Water for the Environment*. Elsevier <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00004-8>.
- Scarano, F.R., 2019. Biodiversity sector: risks of temperature increase to biodiversity and ecosystems. *Climate change risks in Brazil*, 131-141.
- Schmutz, S. and Sendzimir, J., 2018. Riverine ecosystem management: science for governing towards a sustainable future, Springer Nature <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3>.
- Semwal, S. and Dutt, C.D., 2019. Geomorphic Study of Channel Bars in Alaknanda River of Srinagar Valley, Garhwal Himalaya, Uttarakhand. *J. Ind. Geomorph*, 7, 63-78.

- Sil, B.S., Ashwini, K., Annayat, W., Debnath, J., Farooq, M., and Meraj, G., 2022. Observing spatiotemporal inconsistency of erosion and accretion in the Barak River using remote sensing and GIS techniques. *Conservation* <https://doi.org/10.3390/conservation3010002>, 3, 14-31.
- Sissakian, V.K. and Al-Ansari, N., 2019. Geology, Geomorphology, Tectonics, and Geography of the Tigris Basin. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 9, 291-314.
- Smith, L.M. and Winkley, B.R., 1996. The response of the Lower Mississippi River to river engineering. *Engineering Geology* 45, 433-455 [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(96\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(96)00025-7).
- Sreebha, S., 2008. Environmental impact of sand mining: a case study in the river catchments of Vembanad Lake, Southwest India.
- Wohl, E., 2019. Forgotten legacies: Understanding and mitigating historical human alterations of river corridors. *Water Resources Research* 55, 5181-5201 <https://doi.org/10.1029/2018WR024433>.



Estimating Digital Clay Texture of Mesopotamian Models From 2D Images Using Deep Learning to Render Full- Immersive Virtual Reality (VR)

Ali Salim Rasheed ^{1*} 

¹ Department of Media Technology and Communications Engineering, College of Engineering, University of Information Technology and Communications, Baghdad, Iraq.

Article information

Received: 09- Feb -2025

Revised: 24- Mar -2025

Accepted: 19- May -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

Panoramic scene,
Clay texture,
Cylindrical projection,
Deep learning,
Virtual reality,

Correspondence:

Name: Ali Salim Rasheed

Email: ali.rasheed@uoitc.edu.iq


ABSTRACT

Archaeologists have introduced AI-powered digital tools to assist in the geological surveying of artifacts and identifying their compositional textures, whether clay or rocks, as realistic examples of their ancient settlements. Modern digital applications of virtual and augmented reality are concerned with displaying archaeological models and giving the audience a full immersion that simulates the basic materials from which they were built or carved, and diagnosing the rock or clay components of the earth that were used in their manufacture. Deep convolutional neural network algorithms have played an important role in expanding the capabilities of virtual panoramas by making them more realistic and immersive. In this paper, we produce a Mesopotamian deep Panoramic–Virtual Reality (DMP-VR) model for reconstructing a completely immersive, digital clay texture of archaeological models’ information-rich and low-noise super-resolution panoramic scene of the Mesopotamian civilization in 360° from low-resolution 2D images of Assyrian and Babylonian models gathered from online search engines. Alignment sensor software compensates for tilt issues during acquisition, and images are first rotated using a geometric transformation depending on the data center image stitching, involving cutting training images to random $f_{sub} \times f_{sub}$ -pixel sub-images and stitching the ends of features to minimize errors. The quantitative and visual comparison of our method (DMP-VR) with other methods achieved ideal results in terms of reconstructing a super-resolution, fully immersive 360-degree panoramic scene. The artifacts have a digital clay texture that is identical to their original reality.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60860](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60860), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تخمين نسيج الطين الرقمي لنماذج بلاد ما بين النهرين من الصور ثنائية الأبعاد باستخدام التعلم العميق لتقديم واقع افتراضي كامل الانغماس

علي سالم رشيد^{*1} 

¹ قسم تكنولوجيا الإعلام وهندسة الاتصالات، كلية الهندسة، جامعة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، بغداد، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
<p>لقد قدم علماء الآثار أدوات رقمية تعمل بالذكاء الاصطناعي للمساعدة في المسح الجيولوجي للقطع الأثرية وتحديد نسيجها التكويني سواء من الطين أو الصخور كأمثلة واقعية لمستوطناتهم القديمة. إن التطبيقات الرقمية الحديثة للواقع الافتراضي والمعزز التي تهتم بعرض النماذج الأثرية وإعطاء الجمهور انغماساً كاملاً يحاكي المواد الأساسية التي بنيت أو نقشت منها، وتشخيص المكونات الصخرية أو الطينية للأرض التي استخدمت في صناعتها. لقد لعبت خوارزميات الشبكات العصبية التلافيفية العميقة فائقة الدقة دوراً مهماً في توسيع إمكانيات المشاهد البانورامية الافتراضية من خلال جعلها أكثر واقعية وغامرة. في هذه الورقة، ننتج نموذجاً بانورامياً عميقاً لبلاد ما بين النهرين - الواقع الافتراضي (DMP-VR) لإعادة بناء نسيج طيني رقمي غامر تماماً للنماذج الأثرية الغنية بالمعلومات ومنخفضة الضوضاء مشهد بانورامي فائق الدقة لحضارة بلاد ما بين النهرين في 360 درجة من صور ثنائية الأبعاد منخفضة الدقة لنماذج آشورية وبابلية تم جمعها من محركات البحث عبر الإنترنت. يعوض برنامج مستشعر المحاذة عن مشكلات الميل أثناء الاستحواذ، ويتم تدوير الصور أولاً باستخدام تحويل هندسي حسب مركز البيانات. تتضمن عملية خياطة الصور قص صور التدريب إلى صور فرعية عشوائية $f_{sub} \times f_{sub} \text{-pixel}$ وخياطة نهايات الميزات لتقليل الأخطاء. حققت المقارنة الكمية والبصرية لطريقتنا (DMP-VR) مقارنة بالطرق الأخرى نتائج مثالية من حيث إعادة بناء مشهد بانورامي فائق الدقة، كامل الانغماس بزوايا 360 درجة تتمتع القطع الفنية الأثرية بنسيج طيني رقمي طبق الأصل لواقعها الأصلي.</p>	<p>تاريخ الاستلام: 09- فبراير - 2025</p> <p>تاريخ المراجعة: 24- مارس - 2025</p> <p>تاريخ القبول: 19- مايو - 2025</p> <p>تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية:</p> <p>مشهد بانورامي، نسيج طيني، الاسقاط الاسطواني، التعلم العميق، الواقع الافتراضي،</p> <p>المراسلة:</p> <p>الاسم: علي سالم رشيد Email: ali.rasheed@uoitc.edu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60860](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60860), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Culture reflects the people's reality, a critical method for strengthening community cohesion and preserving diversity, a valuable source of knowledge, a sustainable material for artists, writers, and historians, and it is a link between what our forefathers created and what our grandchildren will present (Aririguzoh, 2022; Abe, 2020; Rasheed *et al.*, 2024). Mesopotamia (Iraq) is the home of the oldest civilizations known to humanity throughout history (Allen and Heldring, 2022). On its land, the most famous empires arose, such as the Babylonian, Sumerian, and Assyrian, which provided much knowledge to humanity and inspired many nations that came thereafter (Abdul-Rahman Hussein, 2020). The most prominent part of what it provided was cuneiform writing and a wealth of stone carvings, clay tablets, and archaeological inscriptions that conveyed the events of that distant period (Michel, 2021). Nowadays, the products of those civilizations are considered a dazzling tourist destination for those interested in archaeological culture and researchers and investigators into the events of ancient nations, as the world's museums in important capitals such as the Louvre Museum (Caubet, 2009) in Paris and the British Museum (Nadkarni, 2020) in London are filled

with these precious antiquities that are visited daily by hundreds of people to see the way of life, industries and cultures of the people who lived Before Christ (BC).

Virtual reality (VR) technology has come into contact with many facets of life over time and has become an interactive tool in fields such as engineering, education, and electronic shopping, as well as digital gaming and storytelling (Sepasgozar, 2020; Salim *et al.*, 2024). The immersive panoramic experiences in the virtual reality environment have supplied users with a three-dimensional simulation that has achieved complete immersion in the environment. They enjoyed interacting with and recognizing virtual objects because of their virtuality, comprehensive view, and broad eyesight. Specifically, virtual panoramic tourism enables tourists to get a natural feeling while touring archaeological sites available in the world digitally (Siddiqui *et al.*, 2022), as it saves them the trouble of travel and the high cost, representing positive steps in enhancing confidence in wearable technology (Kim *et al.*, 2021). By combining the advanced technological capabilities of wearable technology equipped with cameras and virtual reality (VR) applications (Spero *et al.*, 2022), exciting tourist experiences can be provided with expansive aerial and comprehensive panoramic views that achieve immersion in the digital content by the users wearing the Head Mounted Display (HMD) (Caserman *et al.*, 2021).

Convolutional neural networks (CNNs) permit the virtual environment to respond to the user's actions and classifying his interactions with virtual world components by recognizing and analyzing virtual visual scenes (Kang *et al.*, 2020). Furthermore, attaining seamless flow in tracking the movement of the head and facial movements and the movement of the hands and body in real time inside an interactive and immersive environment facilitates complete mental deception during the virtual experience (Kyrlitsias and Grigoriou, 2022). Deep learning algorithms, for example, generative adversarial networks (GANs), can reconstruct the network texture of characters from authentic images during the training phase, employing Pix2Pix GAN algorithms to enhance 2D super-resolution photographs by refining textures and sharpening features in comparison to the original images. This is done by training the model through a pair of low-resolution images and depth map datasets as inputs (Chaurasia and Chhikara, 2024), resulting in a 3D avatar that contributes to the production of virtual cinema scenes by improving visual accuracy and displaying human behaviours that simulate virtual reality via adaptive response to reality devices (Jabberi *et al.*, 2024). Thus, deep learning algorithms and computer vision applications have significantly improved the overall quality of virtual experiences, particularly regarding interaction and connectivity between real and virtual realities.

This study presents a technical approach called Panoramic – Virtual Reality (DMP-VR) that works to reconstruct the archaeological models of the Mesopotamian civilization in terms of the main structure and covering them with a clay or rock texture according to their original material digitally in order to generate a high-resolution panoramic scene of the Mesopotamian culture. A completely immersive, digital clay texture of archaeological models' information-rich, low-noise super-resolution panoramic scene of the Mesopotamian civilization in 360° from low-resolution 2D images of Assyrian and Babylonian models gathered from online search engines. Many heritage landmarks have been lost due to climatic conditions or exceptional factors, which led to their extinction and absence from the real scene, and over time, they became forgotten, and only a few scattered images remained on social media sites and search engines on the Internet. They must be restored using modern methods and advanced reconstruction methods; deep learning algorithms and artificial intelligence techniques have provided the possibility of restoring them, so that those interested people and the public can recognize them, and thus protect and preserve them from loss. This falls within the responsibilities and tireless efforts to preserve heritage from loss or destruction because it represents a real legacy for future generations. Deep learning algorithms will be used to reconstruct high-resolution panoramic images of the Mesopotamian civilization from individual low-resolution images found on search engines and international museum websites. It is

presented in a virtual reality realm using a head-mounted display (HMD) to create excitement and immersion while also introducing the audience to the historical heritage of Mesopotamia.

Related Works

Sun *et al.* (2021) presented a lightweight model called Aerial-PASS to analyze images captured in real-time with high accuracy by installing a panoramic ring lens on a drone to capture aerial scenes at a 360° annular field of view. The neural network with semantic segmentation of the panoramic ring in this model achieved a real balance between inference times. Implementing the segmentation involves verifying the validity of the views of public places and streets saved in the network system as a dataset.

Zhang *et al.* (2020) projected geographical panoramic images and virtual 3D environments using panoramic oblique photogrammetry (POP), which uses drones equipped with six fish-eye cameras and panoramic image presentation algorithms to capture the entire panoramic scenery. The experimental findings of this technology revealed that it is effective at constructing a virtual geographical environment with high-resolution panoramic images.

Feng *et al.* (2021) provided an approach aimed at increasing awareness of environmental protection, where the problems of panoramic video installation were fixed by reducing the time of stitching clips using the parallax compensation algorithm by capturing scenes from an altitude of 500 meters. The aerial experiment to capture panoramic scenes demonstrated an increase in awareness of environmental protection and preservation.

Wan *et al.* (2021) proposed a strategy for merging aerial images by achieving constraint-free stitching to generate a panoramic image using the tuning package used in extracting the initial feature set of those images, as well as creating a strong alignment energy while preserving the mesh-based shape transformation used in generating the panoramic scene. Compared to other methods, this method produced effective results while stitching drone photos. Providing a panoramic view by stitching aerial images from drones, the purpose of which is to generate a series of connected and complementary information. These methods have greatly progressed in developing virtual reality applications (Boukerch *et al.*, 2021). It enabled users to fully immerse themselves in digital environments, associate with their elements, and interact with their tools by wearing glasses and a helmet to obtain more realistic views in real-time (Cen, 2021).

Drones have played an important role in guiding virtual reality devices by creating immersive experiences for their users. For example, adopting FPV technology (Efaz *et al.*, 2020) to deliver (360°) panoramic views contributes to improving experiences through interactive photography that engages and entertains people. The reality of the current field of view is the beginning of generating a new reality with a broad vision in displaying a (360°) panoramic scene rich with information that achieves comprehensive benefits for users, which is considered the basis of the modern technology industry (Danielsson *et al.*, 2020). Human-computer interaction technology enhanced the user experience and effectively extracted global and local features, and its role emerged in creating the panoramic reality (Katona, 2021).

Deep neural networks have notably generated panoramic images by learning features from large datasets and estimating homogeneity matrices to combine images and predict the wide panoramic frame (Lee *et al.*, 2020). Khamiyev *et al.* (2023) relied on the experiment, where deep neural networks are used, to generate panoramic images in a way that outperforms traditional RANSAC methods in terms of time by 72%, as the proposed model achieved 7.31 pixels of average absolute loss, the absolute value in the X and Y directions. The results were visually reasonable compared to previous methods.

Convolutional neural networks (CNNs) have made significant advances in visual scene construction compared to traditional methods such as SIFT, through their ability to extract complex hierarchical features (edges, textures, and shapes) directly from massive datasets with no need for manual geometry. Achieved by training them to handle complex scenarios such as

lighting changes, blurry surfaces, and noise, which are associated with the image capture process. Symmetry estimation is performed using 3×3 homography matrices, 8 degrees of freedom to define geometric transformations to align overlapping images and predict image symmetry parameters directly (Tian *et al.*, 2025).

CNNs assume blending masks or employ generative adversarial networks (GANs) to minimize artefacts and ensure smooth transitions between stitched images. Architectures such as Flow Net and Depth-Aware Networks handle parallax by adding optical flow or depth estimation. Homography networks may learn to alter exposures/colors (homogeneity) across photos, hence improving visual uniformity. CNNs are used by applications such as Google Photos to automatically stitch panoramic scenes, VR/AR technology, and Real-time panorama production for an immersive feel.

Ullah *et al.* (2020) proposed an affordable approach for creating 360-degree panoramic images. This image can be either mono or stereo, and it was captured using a drone with sensors set in a circular pattern and six cameras equipped with optical sensors. The ends of the photos were joined using a digital stitching program, and the edges of their features were connected to create a scene. A panoramic view has a sense of integration. Compared to competing approaches, the proposed method produces single-phase material and 3D content more efficiently.

Huang *et al.* (2020) used a panoramic system to examine the target scene for photography and detect restrictions to evaluate the structural integrity of infrastructure using deep learning networks, model PADENet, by using a drone to capture panoramic shots and build a data set after processing those images and removing distortions to train the deep model, which improves accuracy in detecting damage and classifying its type. Deep Convolutional Neural Networks (CNNs) have been advanced through their effective performance in learning priors that can be generalized across the real world. These tasks are not without limitations during training, the basic images that form the panoramic scene, bypassing the convolution and obstacles of large-scale data sets due to limited weights during inference, and modelling long-range pixels (Laschowski *et al.*, 2022).

Methods

The main contribution of this study is to use the deep convolutional neural network architecture (DMP-VR) that allows users to generate high-resolution panoramic scenes supported by digital clay texture UV warping of archeology models in the environment surrounding their heritage position, augments them with data on the shooting scene as well as the orientation and field of view of the drone camera, feeds such data to deep neural algorithms that automatically identify the mountain on-screen coordinates, and finally allows the audience to visualize panoramas historical objects in a full-immersive environment. Our model (as shown in Figure 1) has adopted the generation of super-resolution (SR) images from low-resolution (LR) images of archaeological objects dating back to the Mesopotamian civilization to improve the panoramic scene and achieve complete immersion for the user, which creates more opportunities for interaction and excitement.

Cylindrical image projection

The Deep Mesopotamian Panoramic–Virtual Reality (DMP-VR) model aims to input low-resolution Mesopotamia heritage images to reconstruct their corresponding high-resolution versions to generate a continuous spherical image representation from icosahedral input data. Firstly, Mesopotamian low-resolution 2D images are collected from internet engine searches. Each series is saved as a collection of images; each is stored with PNG metadata. Deep Super-Resolution performance on input images is achieved by representing cylindrical data as an icosahedron and effectively extracting features from a cylindrical, sharpened texture surface of

uniform faces. This is accomplished by a unique data structure based on the icosahedron and weight sharing between kernels in various orientations.

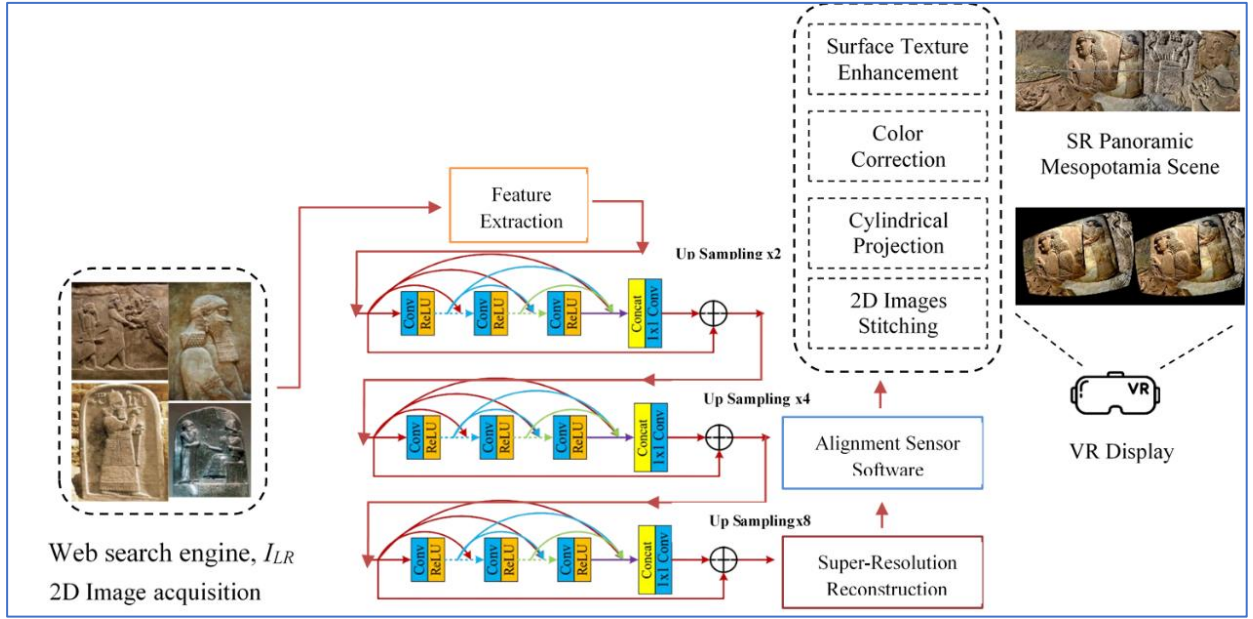


Fig. 1. DMP-VR deep model architecture.

Cylindrical image projection interpolation for the input images of any size (denoted as C) to the desired output size of the SR image: $f: C \rightarrow W$. The following deep CNN forward step aims to recover the high-resolution details for W to make an image (denoted as $F(W)$) similar to the original high-quality image. The desired mapping mentioned above function (F) comprises three convolution layers: feature extraction, non-linear mapping, and scene reconstruction. A series of filters is used to convolve the image and extract its features. The patches are then represented with a set of pre-trained bases. The layer is represented as an operation $F1$:

$$F_1(W) = \max(0, W_1 * M + D_1) \quad (1)$$

Furthermore, W_1 and D_1 demonstrate the filters and biases, respectively. For an image with c channels and f_1 filter size, n_1 convolutions with a kernel size of $c \times f_1 \times f_1$ are performed. Each member of the n_1 -dimensional D_1 vector corresponds to an individual filter. This step's final output is extracting a n_1 -dimensional feature for each patch. The second layer generates additional n_2 -dimensional vectors from the mapped n_1 -dimensional vectors. The appropriate operation is:

$$F_2(W) = \max(0, W_2 * F_1(W) + B_2) \quad (2)$$

Where W_2 and B_2 represent the layer equation filters and biases respectively. However, there are n_2 filters of size $n_1 \times f_2 \times f_2$ and n_2 -dimensional B_2 vector. Finally, the layer produces a high-resolution patch that will be utilized to reconstruct the following layer. Figure (2) shows that the software sensor alignment step prepares the images to be combined into a cylindrical perspective. The implemented solution requires that the order of photos in a series is known from the image-collecting stage, and frame dimensions for input images are known parameters exposed by manufacturers via the operating system's APIs.

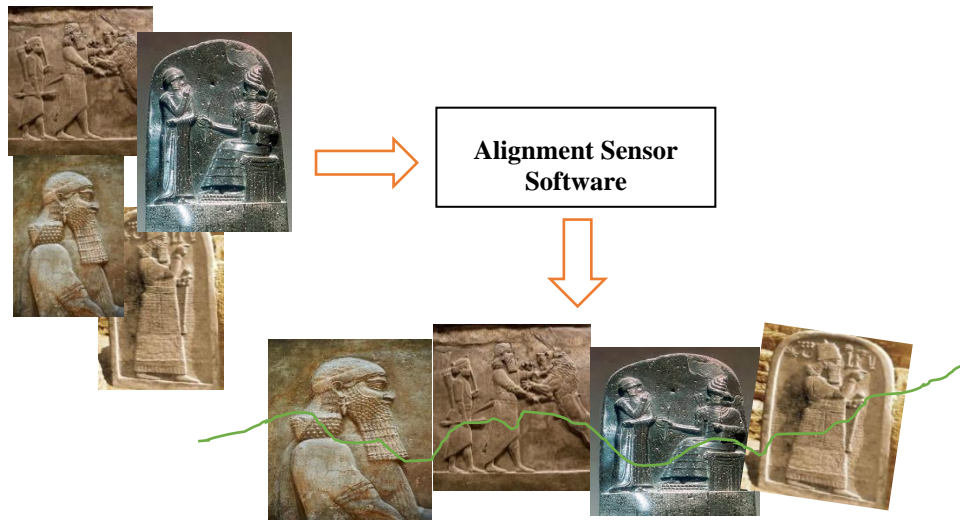


Fig. 2. Alignment sensor software historical Mesopotamian images

Alignment sensor software compensates for tilt issues during acquisition, and images are first rotated using a geometric transformation depending on the data center. Then, they are projected onto the cylindrical reference surface, and pixel-based alignment post-processing is used to refine the relative picture positions inferred from the input data. Sensor-based alignment in this step, images are consecutively distorted by computing and applying a perspective transformation based on pitch and roll values—panoramic cylindrical projection. The next step is to project each image onto the cylindrical reference surface as depicted in Figure 3. First, forward warping is performed to map the image to the cylinder. From the image coordinates (I_x, I_y) , the projected coordinates (I_x', I_y') on the cylinder's planar surface are:

$$I_x' = s^\alpha = \tan^{-1} I_x / f, I_y' = s (y / \sqrt{I_x^2 + f^2}) \quad (3)$$

The 3D cylinder dimensions (α) , focal point (f) , and scaling factor $(s = f)$ are used to decrease distortion at the image center.

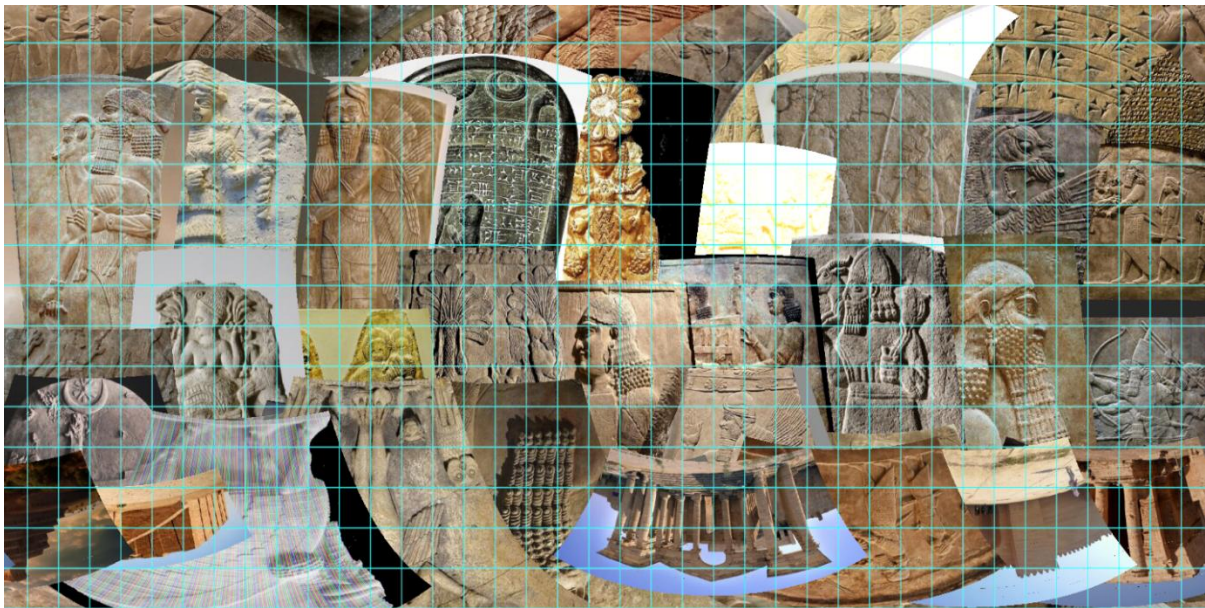


Fig. 3. Panoramic cylindrical historical Mesopotamian images projection.

The parameters provided by software specialized in building panoramic scenes from two-dimensional images are options with variable values through which the focal length values can be determined between the software lens that works as a virtual camera, and the dimension

values (scales) can be changed to organize the panoramic scene according to the nature of the panoramic shot. This is done through guesswork and manual experimentation.

Panorama image stitching

Generating a panoramic image result from merging two or many super-resolution images within one frame (Liu *et al.*, 2024). In panoramic stitching, there is a logical overlap of the ends of the images to overcome the distortions resulting from the stitching process due to taking these images in different areas and conditions. This results in features of varying color density, which can be overridden by adjusting the alignment directions of adjacent features of those images (Wu, 2023). Color correction aims to minimize the effect of such variations, while feature matching and image parameter computation in the camera calibration phase aid the image stitching process during panorama synthesis (Fu *et al.*, 2023). However, the resulting panoramas typically have wavy aberrations that severely impair perceived resolution. The misalignment of nearby cameras causes these wavy artefacts; we employed the global rotation

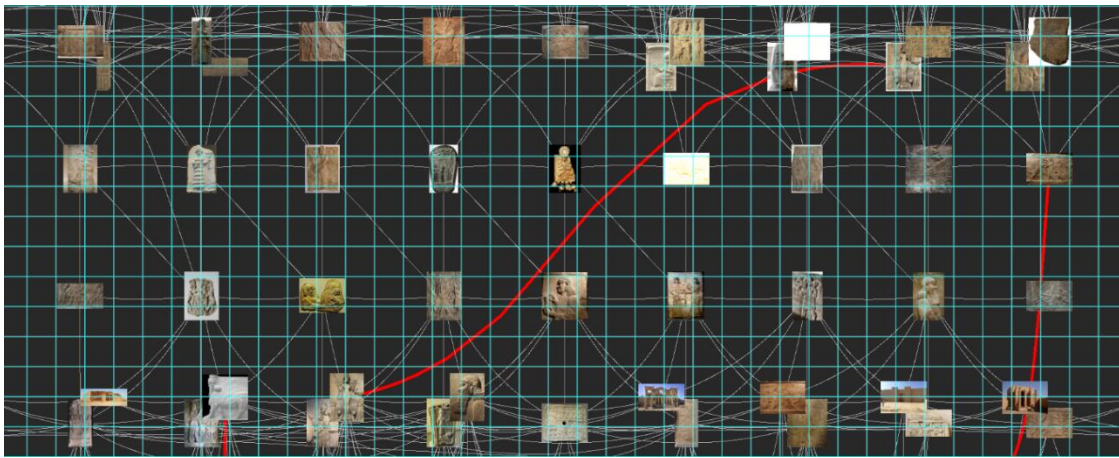


Fig. 4. Image stitching steps with clay digital color correction.

approach for panoramic straightening and generated a high-quality, straight panorama to remove these wavy effects. The first camera parameters are estimated based on image dimensions (La Salandra *et al.*, 2020).

Image stitching involves cutting training images (X_i) to random $f_{\text{sub}} \times f_{\text{sub}}$ -pixel sub-images and stitching the ends of features to minimize errors. After blurring them with a Gaussian kernel, low-resolution samples are made by downscaling and upscaling sub-images. Cylindrical interpolation is utilized to finish the downscaling and upscaling using the same scaling factor (three in our study). To avoid the border effect, no padding is used in the network. As a result, the output size of a sub-image using network filter sizes $\{(f_{\text{sub}} - k_1 - k_2 - k_3 + 3) 2 \times C\}$ is less than the input size. Create the 360° heritage panoramic image, map the panorama into the 3D environment, and translate the peak coordinates from the planar system of the panoramic image to the cylindrical system as illustrated in Figure 5. First, the collected panorama and peak hotspots or labels are mapped to a planar reference frame representing a full 360° view.

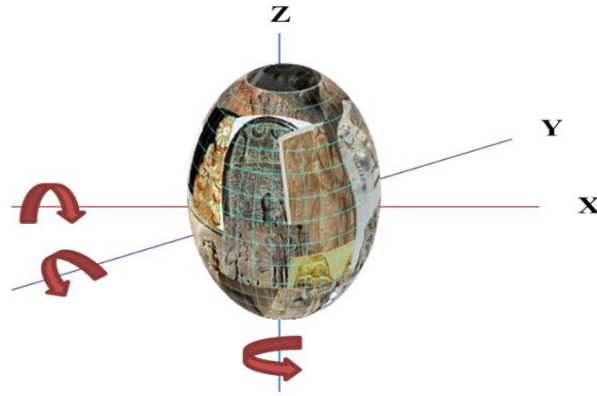


Fig. 5. Result of panoramic cylindrical system.

Results

Experiment

Deep convolutional neural network architecture (DMP-VR) practical evaluations of our method have achieved a high-quality panoramic scene by stitching low-quality Mesopotamian cultural images previously collected from Internet search engines by increasing their color efficiency and sharpening their surface texture. To give it a more credible appearance that mimics the panoramic reality and is based on sensing the credibility of the horizon for those images and reducing the percentage of impurities that result from stitching the pixels of their edges, achieving a logical nature of the overlapping of those images.

In the training phase, we used the Lion dataset (Maier *et al.*, 2020), captured by an RGB-D camera, to generate a pair of images (RGB image, depth map) to train the Pix2Pix GANs model to generate a super-resolution image (SR). Lion Dataset is an archaeological dataset consisting of (515 RGB images - 1296x968 resolution, 515 Depth - 640x480 resolution), 26 Keyframes. Our training stage was performed on a virtual GPU Colab environment.

In the testing phase, the low-resolution 2D images of Mesopotamian artifacts, such as Assyrian and Babylonian models, were gathered from online search engines to generate super-resolution images (SR), which can be stitched together to find a panoramic view using the SIFT algorithm.

In Testing phase experiments, we applied an 30% split, low - resolution (LR) RGB images, nearly 153 images of the Mesopotamian model for testing. The testing of the image samples contributed to achieving highly accurate and reliable results. A 20% holdout validation set (203 images) was extracted from the main data to monitor learning rate and batch size for ensuring stability and reliability of the results.

Quantitative evaluation

As shown in Table 1, the quantitative panoramic experiments achieved better quality results than the panoramic images generated by state-of-the-art methods using quantitative metrics, WS-PNSR and WS-SSIM.

Table 1: Panoramic Quantitative evaluation on our method DMP-VR and state-of-the-art methods for $\times 2$, $\times 4$, and $\times 8$ SR.

Method	Panoramic Image $\times 2$		Panoramic Image $\times 4$		Panoramic Image $\times 8$	
	WS-PNSR	WS-SSIM	WS-PNSR	WS-SSIM	WS-PNSR	WS-SSIM
FCRN(Chen et al.,2020)	22.6	0.4571	25.20	0.5779	26.11	0.7958
EDSR(Lin, 2022)	22.8	0.5493	25.73	0.5852	26.40	0.8003
SRCNN(Mohan et al.,2022)	24.16	0.5384	25.88	0.5955	27.84	0.8428
360-SS(Yoon et al.,2022)	26.93	0.6032	26.83	0.7842	27.98	0.8680
RLFN(Kong et al.,2022)	27.22	0.6419	27.91	0.7339	28.19	0.8738
DMP-VR(ours)	29.85	0.8116	30.64	0.8869	32.20	0.9952



Fig. 6. HDR Mesopotamian panoramic scene.



Fig. 7. Visual result as a virtual reality 360° scene.

The most significant potential limitations that negatively affect the performance of our method and other methods are the poor quality of the input images as data sets, and their lack of depth map, which leads to inconsistencies in determining the alignment of the pixel ends during the stitching process, and the resulting panoramic scene does not achieve full immersion and has weak, realistic representations.

The visual results of our model, DMP-VR, have achieved a panoramic scene (Fig. 6) of stitching super-resolution historical images of the Mesopotamian civilization, which were collected and reconstructed in a manner rich in information, with many concepts and topics. Our model enhanced panoramic image quality from four aspects: increased texture details, enhanced clarity, reduced noise, and removal of color fringe. A complete visual perception and total immersion in the virtual environment were achieved using virtual reality glasses (HMD) as shown in Figure (7), as this (360°) panoramic scene generates an integrated visualization of a specific historical era, for example, Assyrian and Babylonian stories, achieving a comprehensive concept for the user by assembling these murals, of course, generating a new immersive experience. We examined the training phase with our images and studied the effect of cylindrical scenes on the results instead of the traditional ones. Subsequently, the training parameters, number of iterations, and network input image size are adaptively changed based on our images.

Conclusion

We suggested a DMP-VR model for reconstructing a completely immersive, information-rich, low-noise super-resolution panoramic scene of the Mesopotamian civilization in 360° from low-resolution 2D images of Assyrian and Babylonian models gathered from online search

engines. The panoramic results provided users with an immersive experience in the virtual reality environment utilizing HMD, while promoting the rebirth of the heritage of the oldest human civilizations. Our proposed strategy outperformed previous methods in terms of quantitative and visual results by adjusting input photos to set accurate results during the training and generating phases. This study contributes to finding advanced methods and guiding agent learning algorithms in reviving world heritage and enabling generations to preserve the heritage of their ancient peoples and enhance virtual reality tourism; by saving travel trouble and cost, VR tourism has an enormous opportunity to democratize travel, improve connectivity, and minimize environmental impact. But its success is dependent on resolving technological, ethical, and economic barriers through collaboration among tech programmers, travel boards, and legislators. By focusing on user-centric architecture, cultural sensitivity, and ecological practices, businesses can harness VR's revolutionary power while limiting hazards. Then there are obstacles. The user expressed interest in learning about the barriers to acceptance. Technical difficulties could include high content creation costs and latency issues. There are also accessibility issues, such as motion sickness. Ethical and cultural problems, such as excessive tourism and the distortion of cultural places, are also relevant. Related to business difficulties include ROI unpredictability and an absence of standardization. In addition to playing a fundamental role in the development of animation cinema and 3D electronic games, it is considered a complementary scene for artistic activities concerned with the heritage of nations and their civilizations. In the future, we will investigate fast and quality drama video scenes with high-resolution deep methods for panorama videos, which can be applied in various media applications such as 360° panorama drama video scenes super-resolution algorithms.

References

- Abdul-Rahman Hussein, M.H., 2020. The aesthetics of nature in the drawings of ancient Iraqi art. *International Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 10(3), pp. 75–87. <https://doi.org/10.37648/ijrssh.v10i03.008>
- Abe, J., 2020. Beyond cultural competence, toward social transformation: Liberation psychologies and the practice of cultural humility. *Journal of Social Work Education*, 56(4), pp. 696–707. <https://doi.org/10.1080/10437797.2019.1661911>
- Allen, R.C. and Heldring, L., 2022. The collapse of civilization in southern Mesopotamia. *Cliometrica*, 16(2), pp. 369–404. <https://doi.org/10.1007/s11698-021-00229-2>
- Aririguzoh, S., 2022. Communication competencies, culture and SDGs: Effective processes to cross-cultural communication. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01109-4>
- Boukerch, I., Takarli, B., Saidi, K., Karich, M., and Meguenni, M., 2021. Development of panoramic virtual tours system based on low-cost devices. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43(B2-2021), pp. 869–874. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-869-2021>
- Caserman, P., Garcia-Agundez, A., Gámez Zerban, A. and Göbel, S., 2021. Cybersickness in current-generation virtual reality head-mounted displays: Systematic review and outlook. *Virtual Reality*, 25(4), pp. 1153–1170. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00513-6>
- Caubet, A., 2009. The historical context of the Sumerian discoveries. *Museum International*, 61(1–2), pp. 74–80. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0033.2009.01678.x>
- Cen, H., 2021. Application of VR technology in criminal law education practice teaching and countermeasures analysis. In **Proceedings of the 2021 2nd International Conference on Information Science and Education (ICISE-IE)* pp. 1653–1656. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICISE-IE53922.2021.00365>

- Chaurasia, D. and Chhikara, P., 2024. Sea-Pix-GAN: Underwater image enhancement using adversarial neural network. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2023.104021>
- Danielsson, O., Holm, M. and Syberfeldt, A., 2020. Augmented reality smart glasses in industrial assembly: Current status and future challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100175>
- Efaz, E.T., Mowlee, M.M., Jabin, J., Khan, I., and Islam, M. R., 2020. Modeling of a high-speed and cost-effective FPV quadcopter for surveillance. In 2020, the 23rd International Conference on Computer and Information Technology (ICIT). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIT51783.2020.9392696>
- Feng, W.Z., 2021. Implementation of aerial panoramic photography for environmental studies through VR experiences. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.20849/jess.v4i1.926>
- Feng, W.Z., Huang, Y.C., and Chao, F.L., 2020. Design of aerial panoramic photography: Contrast between industrialized and natural zones. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(4), pp. 849–856. <https://doi.org/10.25046/AJ050499>
- Fu, M., Liang, H., Zhu, C., Dong, Z., Sun, R., Yue, Y. and Yang, Y., 2023. Image stitching techniques applied to plane or 3-D models: A review. *IEEE Sensors Journal*, 23(8), pp. 8060–8079. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3251661>
- Kang, T., Chae, M., Seo, E., Kim, M., and Kim, J., 2020. Deephandsvr: Hand interface using deep learning in immersive virtual reality. *Electronics*, 9(11), pp. 1–14. <https://doi.org/10.3390/electronics9111863>
- Katona, J., 2021. A review of human-computer interaction and virtual reality research fields in cognitive infocommunications. *Applied Sciences*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/app11062646>
- Khamiyev, I., Issa, D., Akhtar, Z. and Demirci, M.F., 2023. Panoramic image generation using deep neural networks. *Soft Computing*, 27(13), pp. 8679–8695. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08056-5>
- Kim, H., Kwon, Y.T., Lim, H.R., Kim, J.H., Kim, Y.S., and Yeo, W.H., 2021. Recent advances in wearable sensors and integrated functional devices for virtual and augmented reality applications. *Advanced Functional Materials*, 31(39). <https://doi.org/10.1002/adfm.202005692>
- Kyrlitsias, C. and Michael-Grigoriou, D., 2022. Social interaction with agents and avatars in immersive virtual environments: A survey. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.786665>
- La Salandra, A., Frajberg, D. and Fraternali, P., 2020. A virtual reality application for augmented panoramic mountain images. *Virtual Reality*, 24(1), pp. 123–141. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00385-x>
- Laschowski, B., McNally, W., Wong, A., and McPhee, J., 2022. Environment classification for robotic leg prostheses and exoskeletons using deep convolutional neural networks. *Frontiers in Neurorobotics*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.730965>
- Lee, J.H., Kim, D.H., and Jeong, S.N., 2020. Diagnosis of cystic lesions using panoramic and cone beam computed tomographic images based on deep learning neural network. *Oral Diseases*, 26(1), pp. 152–158. <https://doi.org/10.1111/odi.13223>

- Liu, H., Ma, W., Ruan, Z., Fang, C., Shang, F., Liu, Y., Wang, L., Wang, C., and Jiang, D., 2024. A single frame and multi-frame joint network for 360-degree panorama video super-resolution. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108601>
- Michel, C., 2021. What about 3D manuscripts? The case of the cuneiform clay tablets. In *Exploring Written Artefacts*, pp. 89–113. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110753301-006>
- Nadkarni, D., 2020. A plaster cast of a Mesopotamian lioness in the Durham Oriental Museum. In *Studies in Archaeology and Conservation*, pp. 39–47. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429342257-5>
- Rasheed, A.S. and Hamza Omran, A., 2024. Embedded deep learning to improve the performance of approaches for extinct heritage images denoising. *Iraqi Journal of Computer Science and Mathematics*, 5(3), pp. 526–534. <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2024.5.03.033>
- Rasheed, A.S., Jabberi, M., Hamdani, T.M., and Alimi, A.M., 2024a. Exploring the potential of high-resolution drone imagery for improved 3D human avatar reconstruction: A comparative study with mobile images. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Systems*, pp. 167–181. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0376-0_13
- Rasheed, A.S., Jabberi, M., Hamdani, T.M., and Alimi, A.M., 2024b. PIXGAN-Drone: 3D avatar of human body reconstruction from multi-view 2D images. *IEEE Access*, 12, 74762–74776. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3404554>
- Sepasgozar, S.M.E., 2020. Digital twin and web-based virtual gaming technologies for online education: A case of construction management and engineering. *Applied Sciences*, 10(13). <https://doi.org/10.3390/app10134678>
- Siddiqui, M.S., Syed, T.A., Nadeem, A., Nawaz, W., and Alkhodre, A., 2022. Virtual tourism and digital heritage: An analysis of VR/AR technologies and applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(7), pp. 303–315. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130739>
- Spero, H.R., Vazquez-Lopez, I., Miller, K., Joshaghani, R., Cutchin, S., and Enterkine, J., 2022. Drones, virtual reality, and modeling: Communicating catastrophic dam failure. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), pp. 585–605. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2041116>
- Sun, L., Wang, J., Yang, K., Wu, K., Zhou, X., Wang, K., and Bai, J., 2021. Aerial-PASS: Panoramic annular scene segmentation in drone videos. In *2021, the 10th European Conference on Mobile Robotics (ECMR)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ECMR50962.2021.9568802>
- Tian, L., Liu, Y., Li, M., Zhang, H., Wang, J., and Chen, S., 2025. Atomic force microscopy wide-field scanning imaging using homography matrix optimization. *Micron*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2024.103730>
- Ullah, H., Zia, O., Kim, J.H., Han, K., and Lee, J.W., 2020. Automatic 360° mono-stereo panorama generation using a cost-effective multi-camera system. *Sensors*, 20(11). <https://doi.org/10.3390/s20113097>

- Wan, Q., Chen, J., Luo, L., Gong, W., and Wei, L., 2021. Drone image stitching using local mesh-based bundle adjustment and shape-preserving transform. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(8), pp. 7027–7037. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3025528>
- Wu, K., 2023. Creating panoramic images using ORB feature detection and RANSAC-based image alignment. *Advances in Computer and Communication*, 4(4), pp. 220–224. <https://doi.org/10.26855/acc.2023.08.002>
- Zhang, X., Zhao, P., Hu, Q., Ai, M., Hu, D., and Li, J., 2020. A UAV-based panoramic oblique photogrammetry (POP) approach using spherical projection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, pp. 198–219. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.016>



Permeability Estimation Using HFU Method Enhanced by Bootstrap Forest AI-Approach for FZI Prediction in Mishrif Reservoir, Southern Iraq

Layth H. Abd Ali ^{1*} , Sameera Hamd-Allah ² 

^{1,2}Petroleum Engineering Department, College of Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

Article information

Received: 21- Jan -2025

Revised: 19 - Feb -2025

Accepted: 20- Mar -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

Permeability Estimation,
Reservoir characterization,
HFU,
AI-approach,
Bootstrap Forest method,

ABSTRACT

The exploitation of artificial intelligence (AI) with the hydraulic flow unit technique (HFU) to enhance permeability prediction is an important step in reservoir characterization. HFU classifies the reservoir into distinct petrophysical properties, which are then used in permeability estimation. They are a function of the flow zone indicator (FZI), which is determined based on core permeability and porosity. Core measurements are often costly, time-consuming, and only cover limited intervals; therefore, it is necessary to use other techniques to predict FZI in unsampled intervals and wells. Thus, an advanced artificial intelligence method called Bootstrap Forest is employed to predict the FZI value from well logs. In this research, 889 core samples of six wells from the Buzurgan Oilfield's Mishrif Formation are used to identify the number of HFUs based on three techniques: probability plot, RQI versus Φ_z analysis, and histogram analysis. Their utilization reveals that 10 HFUs represent this formation with a correlation coefficient ranging between 0.950 and 0.996. Core measurements and logs are used to construct the Bootstrap Forest model in cored wells, which yielded a high coefficient of determination (R^2) of 0.999 and a low root mean squared error (RMSE) of 0.01, indicating that it is an effective model for predicting FZI based just on log data for uncored wells. Finally, the effective porosity is used with the predictive FZI to estimate the permeability, resulting in a perfect match between estimated and core permeability.

Correspondence:

Name: Layth H. Abd Ali

Email:

l.hamza1708@coeng.uobaghdad.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60858](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60858), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

حساب نفاذية الصخور باستخدام طريقة HFU بمساعدة تقنيات الذكاء الصناعي "Bootstrap Forest" للتنبؤ بقيمة FZI في تكوين مشرف، جنوبي العراق

ليث حميد عبد علي *1 ^{ID}، سميرة محمد حمدالله 2 ^{ID}

^{1,2} قسم هندسة النفط، كلية الهندسة، جامعة بغداد، بغداد، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
تم استثمار الذكاء الصناعي لتحسين التنبؤ بنفاذية الصخور والتي تعد خاصية مهمة في توصيف المكامن استناداً الى تقنية HFU. هذه التقنية تصنف المكامن الى اقسام ذات خواص بتروفيزيائية معينة ثم يستخدم التصنيف في تحديد قيمة النفاذية لاحقاً. تعتمد هذه التقنية على قيمة FZI والتي تُحسب اعتماداً على نفاذية لباب الصخرة ومساميتها. عادةً ما تكون قياسات النفاذية من اللباب الصخري مكلفةً ومستغرقةً الكثير من الوقت مغطياً أعماقاً محدده من البئر، لذلك وجب استخدام تقنيات أخرى للتنبؤ بقيمة FZI وذلك بتوظيف تقنية Bootstrap Forest احدى تقنيات الذكاء الصناعي المتقدمة لإيجاد قيمة FZI من خلال تسجيلات مجسات الابار التي لم يستخرج منها لباب صخري. في هذا البحث، تم استخدام 889 عينة لباب صخري استخرجت من ستة آبار مخترقةً تكوين مشرف بحقل بزركان النفطي للتعرف على عدد HFU اعتماداً على ثلاث طرق: مخطط الاحتمالية وتحليل RQI مع Φ وتحليل المدرج التكراري حيث استنتج ان عشر وحدات تمثل هذا التكوين بقيمة R2 عالية تتراوح ما بين (0.950 و 0.996). تم استخدام قيم اللباب الصخري وتسجيلات المجسات لبناء نموذج Bootstrap Forest الذي اعطى قيمة R2 عالية تصل الى 0.999 وقيمة RMSE قليلة تساوي 0.01 مما يدل على كفاءة النموذج للتنبؤ بمقدار نفاذية الصخور. وأخيراً تم استخدام مسامية الصخور الفعالة مع قيمة FZI المتنبأه لحساب نفاذية الصخور، ولتعطي تطابقاً متميزاً بين القيمة المقدرة من النموذج والمحسوبة من اللباب الصخري.	<p>تاريخ الاستلام: 21- يناير - 2025</p> <p>تاريخ المراجعة: 19- فبراير - 2025</p> <p>تاريخ القبول: 20- مارس - 2025</p> <p>تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية: حساب النفاذية، الخواص المكامن، وحدات الجريان الهيدروليكية، تقنيات الذكاء الصناعي، طريقة بوتستراب فورست،</p> <p>المراسلة: الاسم: ليث عبد علي</p> <p>Email: l.hamza1708@coeng.uobaghdad.edu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60858](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60858), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

State permeability refers to the rock's ability to transmit fluid, which is a vital factor in reservoir characterization and management, and it is important for predicting hydrocarbon production. Estimation of permeability in a carbonate reservoir presents a significant challenge due to its pronounced heterogeneity. Generally, permeability is determined from core analysis, well-test analysis, and well-logs. Core permeability measurement provides a high degree of accuracy, but it is often costly, time-intensive, and restricted to specific well intervals (Hmeed and Hamd-Allah, 2023; Mohammadian *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2019). Therefore, it is quite necessary to use other methods to predict permeability in unsampled wells. In the well test analysis, the flow rate and pressure changes are measured throughout the testing period to estimate the average permeability within the reservoir, which is not recognized for a specific depth (Tadayoni and Valadkhani, 2012). The indirect well log method offers continuous recording of physical parameters through the wellbore, enabling indirect permeability estimation. Well-log tools such as sonic log, bulk density log, NMR logs, and neutron porosity log enhance comprehension of the dataset. However, they may produce less satisfactory results, attributed to the uncertainties in the empirical parameters representing varying reservoir conditions. The inherent limitations of the conventional approach emphasize the necessity for more advanced techniques in permeability estimation (Al-Ameri and Hamd-Allah, 2023; Balan *et al.*, 1995; Mohammadian *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2019).

Reservoir characterization presents a formidable challenge simply because of the inherent uncertainty connected with reservoir heterogeneity, which pertains to the reservoir properties variation. To mitigate this complexity, the hydraulic flow unit (HFU) is employed to aggregate core samples with analogous lithological and petrophysical attributes into a unique unit. This approach enables the estimation of detected petrophysical reservoir properties and mitigates the expense of coring operations. The HFU is associated with the Flow Zone Indicator (FZI), which is driven from the reservoir quality index (RQI) and normalized porosity (Φ_z). The FZI offers a quantitative method to interpret the relationship between macroscopic properties, such as porosity and permeability, and microscopic features, such as distribution and pore throat size (Al-Rikaby and Al-Jawad, 2024; Amaefule *et al.*, 1993; Astsauri *et al.*, 2024; Borhani and Emadi, 2011; Man *et al.*, 2021). In the literature, various methods like RQI versus Φ_z cross plot, histogram analysis, and probability plot have been employed to classify and analyze the reservoir into HFUs. When the reservoir is divided into distinct flow units, the permeability within a specific unit can be estimated with high precision (Borhani and Emadi, 2011; Kharrat *et al.*, 2009). Although the HFU method yields results that match laboratory-cored permeability, it isn't easy to classify HFU in uncored wells and determine the permeability value. Therefore, it is necessary to find a supplementary method or technique to determine the value of FZI used to predict permeability.

Rapid and economical assessments of reservoir parameters are achieved through the effective integration of conventional evaluation methods with machine learning techniques such as Bootstrap Forest. This makes a transition towards more precise and efficient reservoir characterization, which then enhances the decision-making speed in reservoir management (Astsauri *et al.*, 2024; Ayal and Sadeq, 2024; Khaled *et al.*, 2022). Previous studies have employed some of the AI algorithms: Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), Artificial Neural Networks (ANN), Extreme Gradient Boosting (XGB), and an adaptive network fuzzy inference system (ANFIS), to accurately predict the permeability (Abnavi *et al.*, 2021; Al Hussein and Hamd-Allah, 2024; Man *et al.*, 2021; Salman *et al.*, 2022; Sebtosheikh *et al.*, 2015).

In this study, an AI technique called Bootstrap Forest combines the expected response values from several decision trees cultivated using a bootstrapped sample from the training set (Hastie *et al.*, 2005). It is employed together with the HFU method to estimate permeability using 889 core and log data from six wells of the Mishrif Formation within Buzurgan Oilfield. The Mishrif Formation contains about 30% of Iraq's total oil reserves (Abdula, 2020). Checking the model accuracy is through R^2 and RMSE. Furthermore, validating the model in one well within the case study to confirm the model's efficacy and reliability.

Study Area

Buzurgan Oilfield is located within the Missan oilfields in southeastern Iraq near the Iraqi-Iranian border. Structurally, Buzurgan Oilfield is an NW-SE axis anticline covering approximately 353.40 km². It consists of two domes (Fig. 1) showing the location of the target field, the structure, and orientation of the north and south domes (CNOOC, 2017). Buzurgan Oilfield was discovered in 1970 and operated in November 1976 from the Mishrif reservoir with a regular well pattern and large well spacing (> 800 m). The principal target interval within Buzurgan Oilfield is the Cretaceous Mishrif carbonate reservoir, which is stratigraphically subdivided into seven zones: MA, MB11, MB12, MB21, MB22, MC1, and MC2. MB21 is the main pay zone characterized by one pressure system, a structural reservoir with edge water, and a wide oil-water transition zone. It contributes approximately 95% oil production of the Buzurgan Oilfield (CNOOC, 2017). Figure 2 shows the stratigraphy description of the Mishrif Formation-Buzurgan oil field.

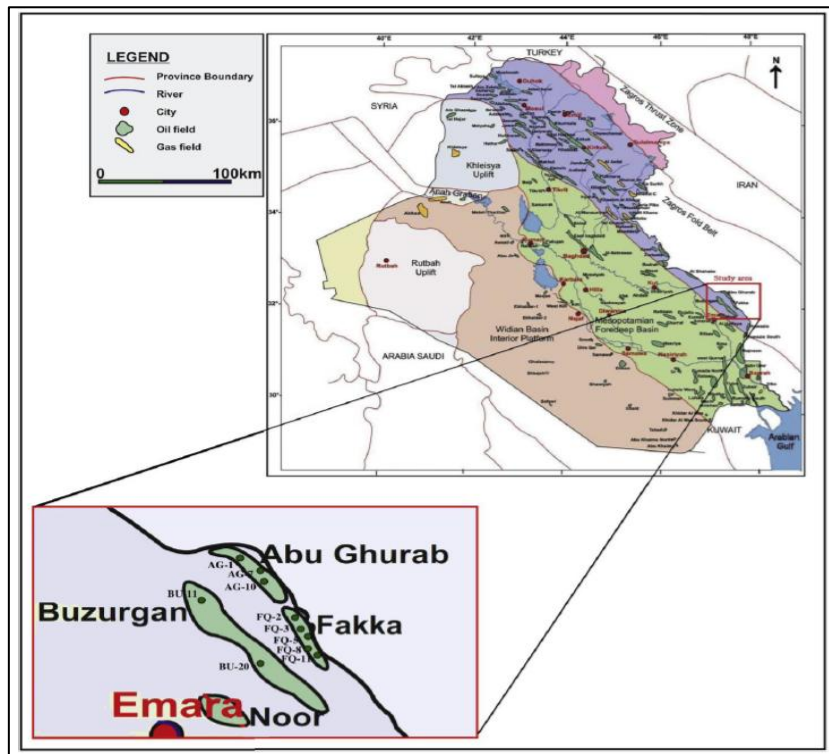


Fig. 1. A map showing the location of Buzurgan Oilfield (CNOOC, 2017).

Age	Formation	Lithology	Description	Symbol
Neocene	Bachitary, upper, Medium, and Lower Fars		Represent by Clay, Shale, anhydrite, some sandstone, Clay shale and White Dolomite	Shale
				Clay
Lower Miocene to Oligocene	Asmari		Limestone, Dolomite and Anhydrite, and Dolomitic shale	Anhydrite
				Sandstone
Cretaceous			Clay, limestone, Clay shale, Sandstone, and Dolomite	
Turonian to upper Cenomanian	Mishrif		Mainly Limestone and characterized by thin layer on the top, limestone vary from soft to medium and hard (Mudstone, Packstone, Wackstone, Grainstone)	Limestone

Fig.2. Stratigraphy description of Mishrif Reservoir- Buzurgan Oilfield (Hussein, 2012).

HFU Identification and FZI determination for cored wells

For reservoir characterization, accurately predicting of permeability is important to understand hydrocarbon production (Faidhllah and Hamd-Allah, 2023). The HFU method initially introduced by Amaefule et al. 1993 is driven from the modified equation of Kozeny Carman 1927:

$$k = \left(\frac{1}{K_T S_{vgr}^2} \right) \times \left(\frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \right) \quad (1)$$

Where: ϕ_e : effective porosity; k : permeability in m^2 ; S_{vgr} : specific surface area per unit grain volume; K_T : pore-level effective zoning factor.

The HFU method incorporates the normalized porosity (ϕ_z) and reservoir quality index (RQI) for FZI prediction. The calculation of these parameters can be achieved through the following two equations:

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\phi_e}} \quad (2)$$

$$\phi_z = \frac{\phi_e}{1-\phi_e} \quad (3)$$

In this method, plotting RQI against ϕ_z on a log scale enables the identification of HFUs for samples that exhibit similar slopes. The samples of each slope correspond to similar petrophysical and pore throat characteristics. The Flow Zone Indicator (FZI) for each HFU is calculated from the intercept of the trend line with ϕ_z equals one unit. FZI for each sample can be calculated using the following equation:

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}} = \frac{RQI}{\phi_z} \quad (4)$$

Where: F_s = shape factor; τ = tortuosity.

After identifying the HFUs and determining their FZI values, permeability can be estimated based on FZI values as in the following equation.

$$K = 1014 * FZI^2 * \frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \quad (5)$$

The researchers identify the number of HFUs of formations using porosity and permeability core data through some methods including: RQI vs. ϕ_z analysis, probability plot and histogram analysis. The histogram provides quick preliminary overview of HFUs. RQI and ϕ_z are computed using Equations (2 and 3). Samples that align on a straight line have similar petrophysical properties and classified as a single HFU. Probability plot of FZI demonstrates greater suitability for determining the number of HFUs, as it facilitates a more straightforward and dependable identification process (Abbaszadeh *et al.*, 1996; Abnavi *et al.*, 2021; Alobaidi, 2016; Amaefule *et al.*, 1993).

Permeability estimation in un-cored intervals and wells

To leverage from the HFU method in predicting rock permeability in un-cored wells, it is essential to accurately determine FZI (Man *et al.*, 2021; Mohammadian *et al.*, 2022; Salman, *et al.*, 2022; Sebtosheikh *et al.*, 2015). Various (AI) models are used to predict FZI from well logs. In this paper, the Bootstrap Forest method is employed to construct a model for determining the FZI value in the uncored intervals and wells using both well logs data and FZI from the cored well. This model is then validated using performance criteria, the coefficient of

determination (R^2), and the root mean squared error (RMSE) for generalization of the model in order to predict the FZI values in other wells. The input logs data included NPHI, RHOB, DTC, RXO, RT, SP, and GR logs, while log FZI served as the output for the Bootstrap Forest model. Finally, by using the model prediction (FZI) and ϕ_e , Eq. (5) can be used to calculate permeability.

Results and Discussion

Data collection and analysis

Predicting permeability in the carbonate reservoir relies on 889 data points of core and well logs data. Table (1) presents a detailed summary for core data, while Figure (3) depicts the relationship between permeability and porosity in the core. The significant dispersion in the relationship between porosity and permeability core data appears in the low R^2 of 0.278, highlighting the formation heterogeneity. Therefore, porosity alone is insufficient to analyze and explain the observed permeability variation.

Table 1: Statistical summary of the core dataset for six wells.

Property	Data points	Mean	Standard deviation	max	min
Permeability	889	22.178	56.308	491.200	0.100
porosity		0.1555	0.0466	0.2620	0.0150

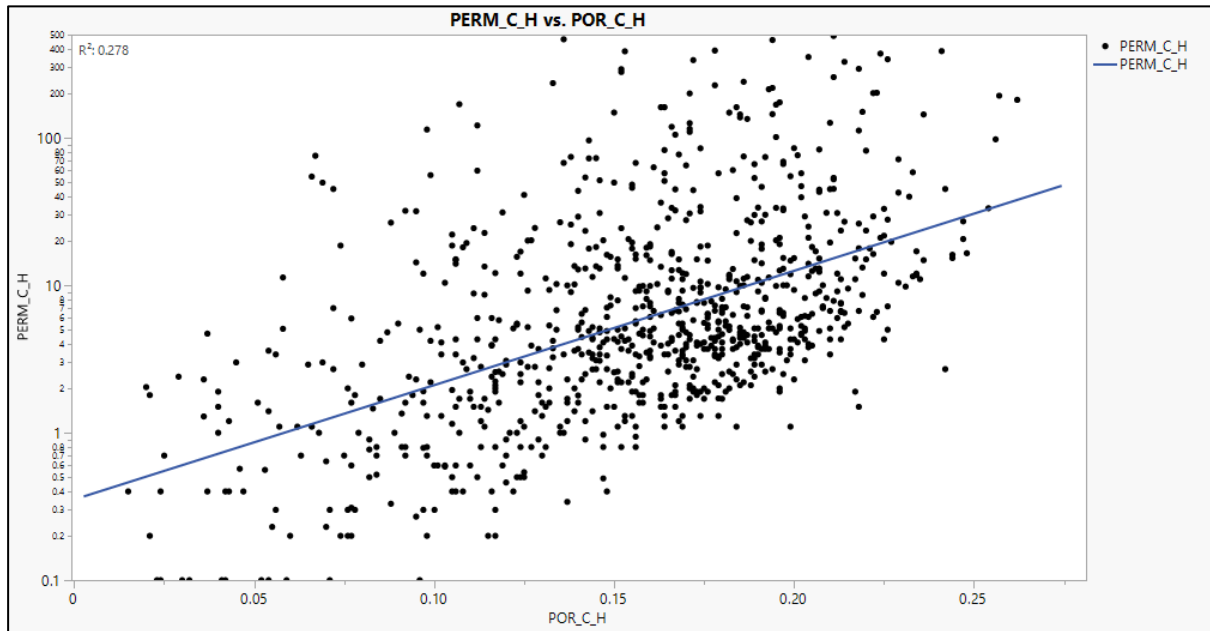


Fig. 3. Core porosity versus core permeability for sampled wells.

The distribution of FZI is observed to be non-normal, as illustrated in Figure 4A. Consequently, direct prediction of FZI from well logs has led to inaccurate results. To approximate FZI data to a normal distribution, a logarithmic transformation is employed as presented in Figure 4A. For a preliminary summary of the data from well logs, Table 2 shows their statistics, and Figure 4A displays the histogram of each parameter. Additionally, cross plots between the input and the output parameters are shown in Figure 4B.

As demonstrated in Figure 4B, there is no discernible relationship between the log data and the resulting FZI value, so it is not possible to create a linear or multiple equation to find the resulting FZI. Consequently, it is necessary to find alternative techniques to deal with this issue.

Identifying the Hydraulic flow unit

A non-normal distribution is evident in the qualitative examination of the FZI data, as shown in Figure 4A. Despite efforts to normalize FZI data into a logarithmic transformation,

the resultant distribution remains non-normal as presented in Figure 4A. This persistence can be ascribed to the direction of fluid flow (permeability) on FZI. As a result, accurately determining the number of the HFUs by using a probability plot is essential.

The probability plot is a statistical method for evaluating the normality of a dataset. The identification of multiple straight lines in the plot is significant evidence of distinct hydraulic flow units, each characterized by a normal distribution. As illustrated in Figure 5, ten lines suggest the presence of ten HFUs in the Mishrif Formation. Nevertheless, it is essential to note that this method relies on both visual interpretation and statistical analysis, which may introduce subjectivity to the results. Therefore, caution is required when analyzing these findings. Despite its constraints, the probability plot remains a valuable technique in data analysis, offering information about the behavior and characteristics of subsurface reservoirs.

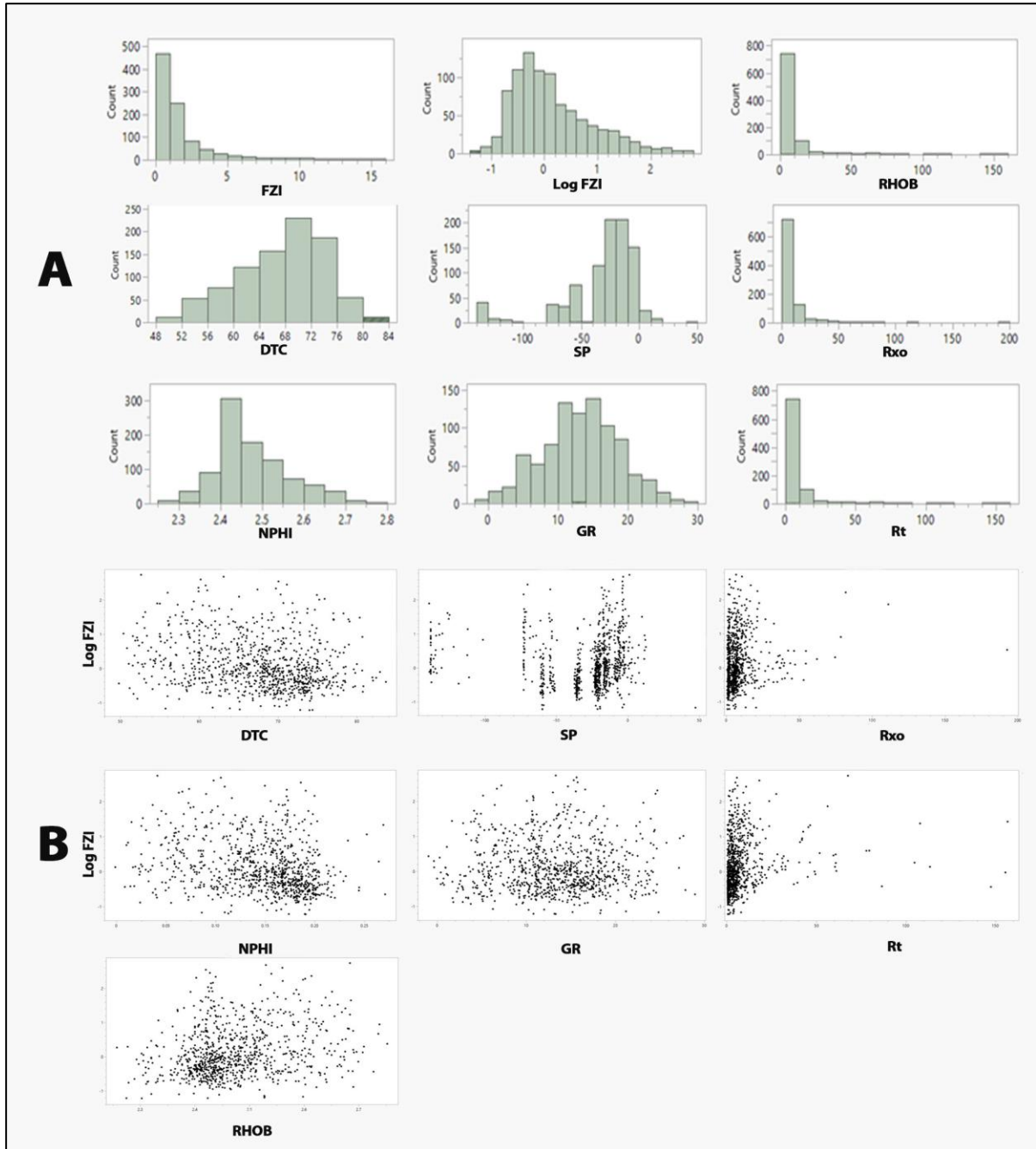


Fig. 4. Core porosity versus core permeability for sampled wells: A) Histograms; B) Cross plots.

Table 1: Statistical summary of well-log parameters.

Property	Data points	Mean	Standard deviation	max	min
DTC		67.389	6.659	83.660	49.810
SP		-31.05	31.23	47.18	-139.20
Rxo	889	7.64	11.427	192.69	0.50
GR		13.199	5.429	28.960	-1.000
RHOB		2.4700	0.0847	2.7500	2.2500
Rt		7.444	14.290	156.800	0.329
NPHI		0.144	0.047	0.270	0.000

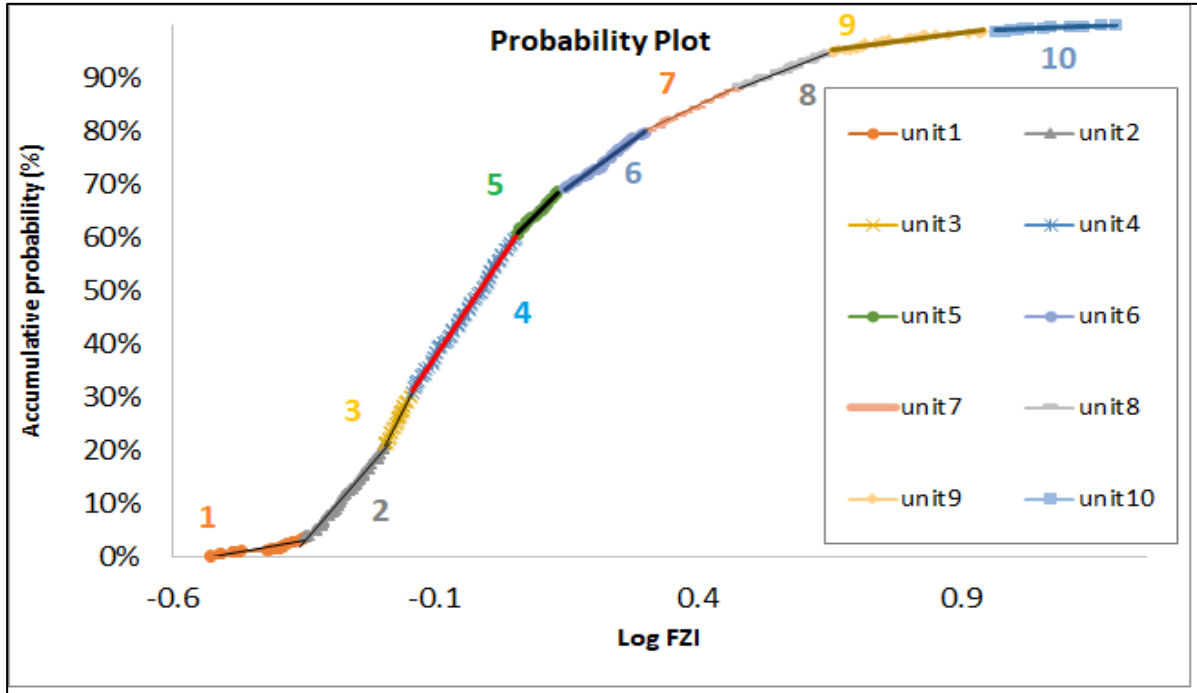


Fig. 5. HFUs identification through Probability plot of log FZI.

The final method employed to identify HFUs is plotting RQI vs. Φz as illustrated in Figure 6. In this method, points that exhibit similar FZI values tend to align on a straight line, indicating similar pore throats. Each straight line corresponding to similar FZI values is classified as a single HFU. Furthermore, the FZI values for HFUs are determined from the straight lines that intersect with Φz equal to one. Data analysis is performed using JMP and Techlog 2015.3 for all the above methods.

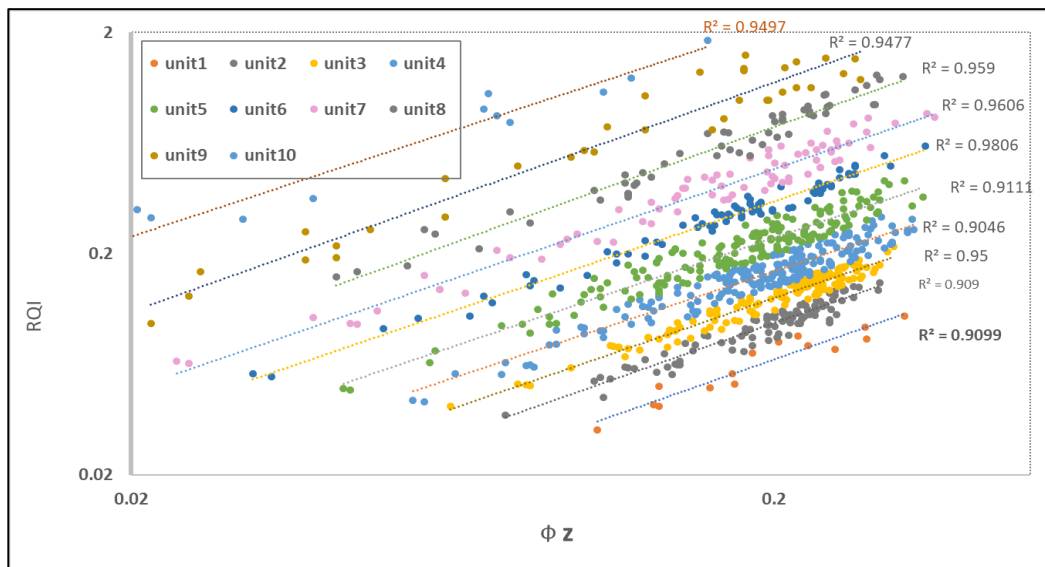


Fig.6. Plot of RQI vs. normalized porosity.

Figure (7) indicates that the permeability and porosity relationship is improved significantly compared to whether it is a single relationship linking all data, as in Figure (3), where the value of the correction coefficient for HFUs is raised to a range between 0.950~0.996. Table 3 displays HFUs' colors, correlation coefficients, and equations for determining permeability; the high values of correlation coefficient reflect both the accuracy and high compliance of the results.

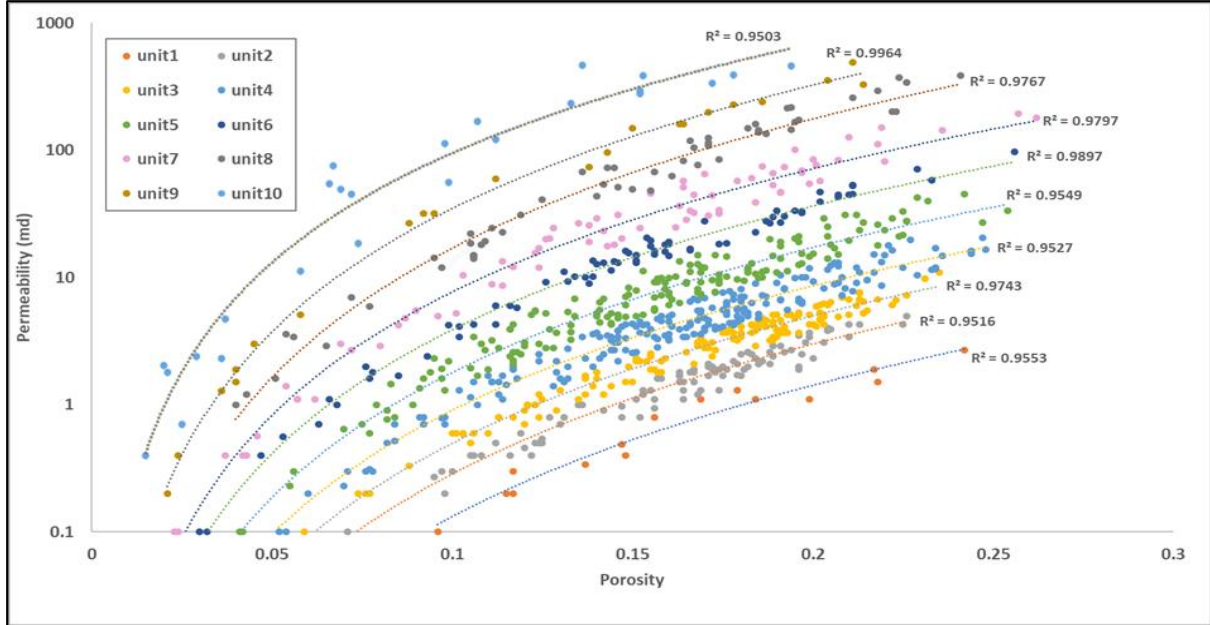


Fig. 7. Plot of permeability core against porosity core for each HFU.

Table 3: Hydraulic Flow Units' colors, correlation coefficients, and equations of permeability determination.

HFU No.	Permeability Prediction Eq.	R ²	HFU Color
1	$k=354.7\Phi^{3.4288}$	0.9553	Orange
2	$k=702.63\Phi^{3.3905}$	0.9516	Grey
3	$k=1063.8\Phi^{3.3301}$	0.9743	Yellow
4	$k=1598.9\Phi^{3.247}$	0.9527	Light Blue
5	$k=3298.9\Phi^{3.2644}$	0.9549	Green
6	$k=6644.3\Phi^{3.233}$	0.9897	Dark Blue
7	$k=12790\Phi^{3.2212}$	0.9797	Pink
8	$k=40450\Phi^{3.376}$	0.9767	Dark Grey
9	$k=58293\Phi^{3.2234}$	0.9964	Light Orange
10	$k=68618\Phi^{2.8592}$	0.9503	Light Blue

Permeability prediction by using Bootstrap Forest based on the HFU method

The corporation of HFU analysis with machine learning enables rapid and precise permeability estimation, reducing reliance on expensive core sampling. Figure (8) shows the cross plots between the FZI predicted from the Bootstrap Forest method, which depends on the well log presented in Table (2), and the FZI of core data. The results of this model demonstrate a high R² of 0.999 and a low root mean square error (RMSE) of 0.01, indicating that it is an effective model for predicting FZI based just on log data. Relying on the outstanding results of the model in determining the value of FZI, it can be employed in conjunction with effective porosity in Eq. (5) to determine the rocks' permeability.

Figure 9 shows an excellent match between the core and estimated permeability on one well within the case of the study. Through the results in Figures (8 and 9), it is clear that a distinct ability to predict rock permeability values is demonstrated by the model, with a clear correspondence observed between the estimated results and the laboratory values. Therefore, it is clear that this method can be used to predict the permeability values in the heterogeneous carbonate reservoirs.

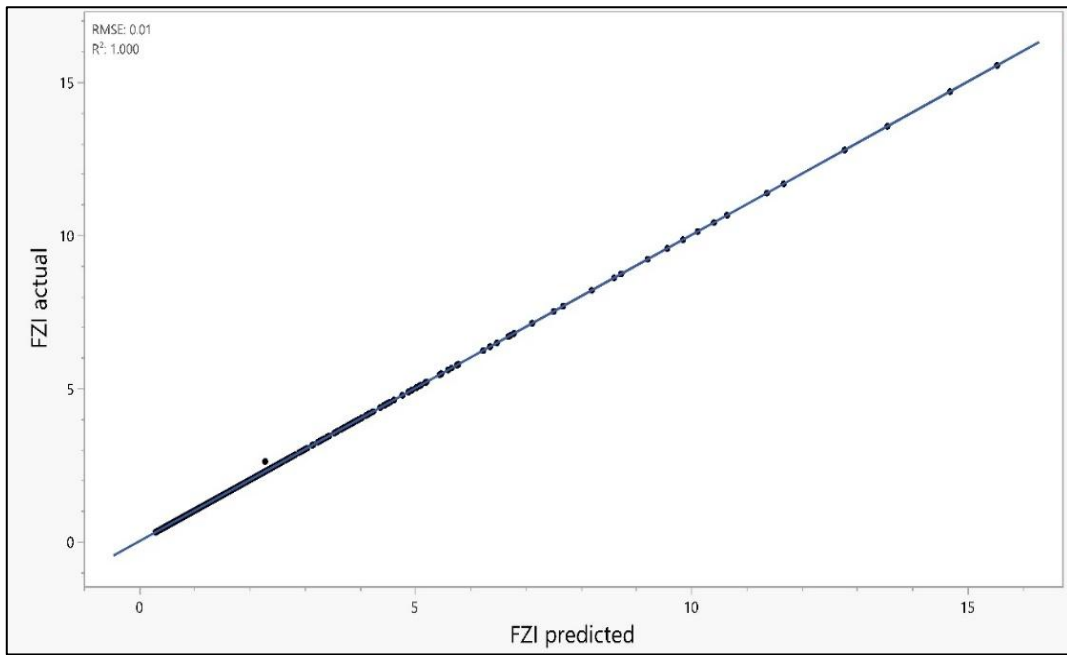


Fig. 8. Cross plot of the FZI-predicted vs. FZI-actual.

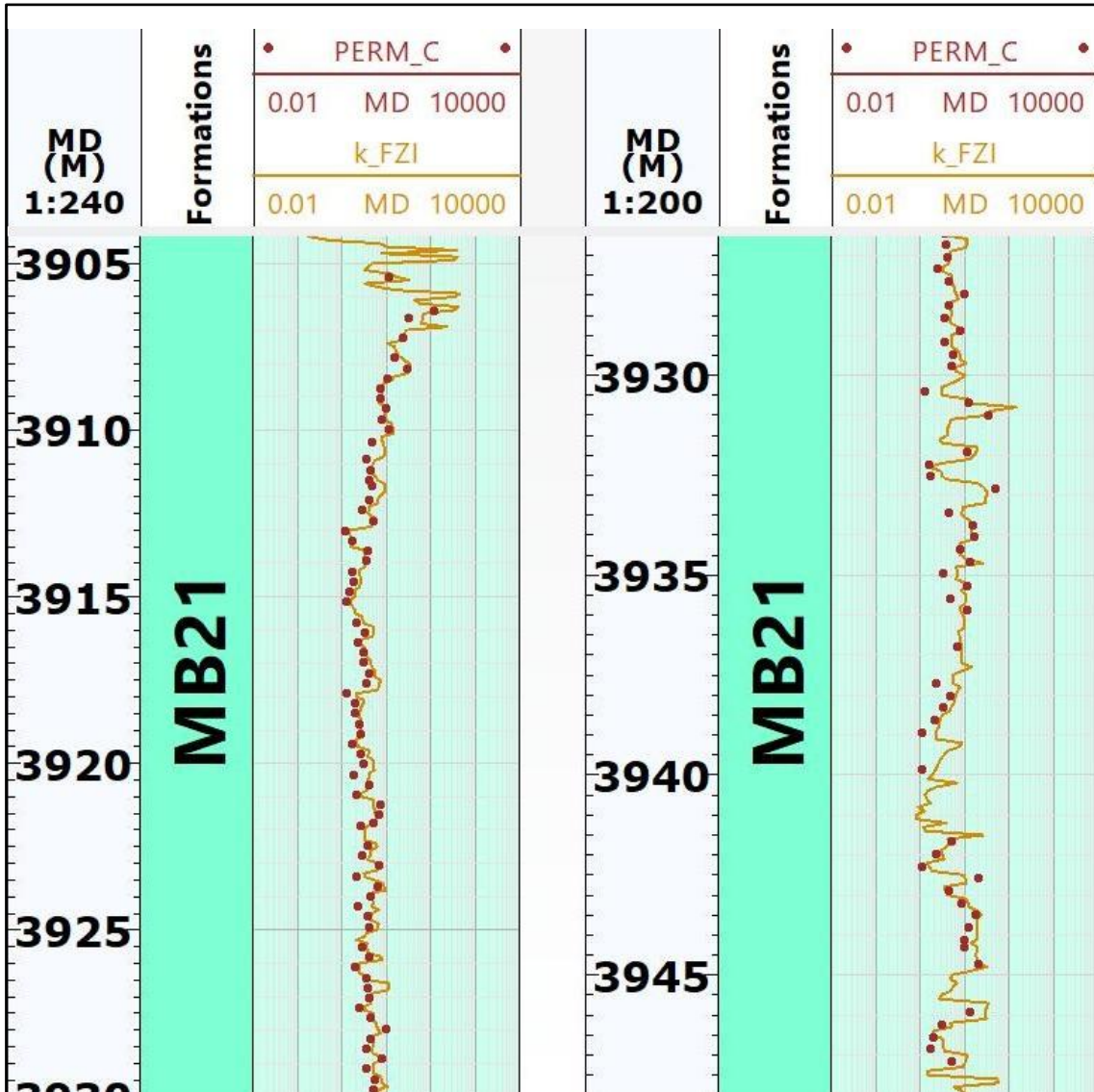


Fig. 9. K-core and K-Bootstrap.

Conclusions

Good estimation of reservoir permeability is an important issue for developing an effective reservoir model that affects production, injection, and stimulation operations. Core data represent the most reliable source of rock permeability; however, obtaining cores from all wells and formations is not feasible due to financial and time constraints, necessitating an alternative approach.

- Porosity alone is inadequate for explaining and analyzing the variation of permeability in heterogeneous formations, as evidenced by the correlation coefficient of only 0.278 between core porosity and permeability.
- FZI values do not exhibit normal distribution, which may lead to misleading results when directly predicted from well logs. A logarithmic transformation of the FZI values is essential to approximate them to a normal distribution.
- It is not possible to create a linear or multiple equation to determine FZI, due to an indiscernible relationship between the log data and the FZI value.
- Probability plot effectively analyzes the data because it relies on both statistical analysis and visual interpretation.
- The Bootstrap Forest model effectively treats the complex data with non-uniform trends, which demonstrated a high R^2 of 0.999 and a low RMSE of 0.01, indicating that it is an effective model for predicting FZI based just on log data.

References

- Abbaszadeh, M., Hikari, F. and Fujio, F., 1996. Permeability prediction by hydraulic flow units, theory and applications. 11, 263-271. doi:<https://doi.org/10.2118/30158-PA>
- Abdula, R.A., 2020. Crude oil classification based on age and provenance from the Southern Iraq: A review. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 70. DOI:<https://doi.org/10.7186/bgsm70202007>
- Abnavi, A. Dehghan, A. and Jafar, Q., 2021. Hydraulic flow units and ANFIS methods to predict permeability in heterogeneous carbonate reservoir: Middle East gas reservoir. Arabian Journal of Geosciences Qajar, 14, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07084-5>
- Al-Ameri, N. and Hamd-Allah, S.M., 2023. Sonic scanner helps in identifying reservoir potential and isotropic characteristics of Khasib Formation. The Iraqi Geological Journal, pp. 129-143. <https://doi.org/10.46717/igj.56.1D.11ms-2023-4-20>
- Al-Rikaby, A.S. and Al-Jawad, M.S., 2024. Identification of Reservoir Flow Zone & Permeability Estimation. 33, pp. 1-21. <https://doi.org/10.62593/2090-2468.1011>
- Al Husseini, A.K. and Hamd-Allah, S.M., 2024. Prediction of petrophysical properties using neural network technique for Mishrif reservoir-Southern of Iraq, 2024. Vol. 3090. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0227959>
- Alobaidi, D., 2016. Permeability prediction in one of Iraqi carbonate reservoir using hydraulic flow units and neural networks. 17, pp. 1-11. <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2016.1.1>
- Amaefule, J.O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G. and Keelan, D.K., 1993. Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1993, pp. SPE-26436-MS. SPE. <https://doi.org/10.2118/26436-MS>

- Astsauri, T., Habiburrahman, M., Ibrahim, A.F. and Wang, Y., 2024. Utilizing machine learning for flow zone indicators prediction and hydraulic flow unit classification. *Scientific Reports*, 14, 4223. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54893-1>
- Ayal, A.M. and Sadeq, D., 2024. Prediction of Sand Production from Poorly Consolidated Formations Using Artificial Neural Network: A Case Study, Nahr Umr Formation in Subba Oil Field. *The Iraqi Geological Journal*, pp. 123-138. <https://doi.org/10.46717/igj.57.2C.10ms-2024-9-18>
- Balan, B., Mohaghegh, S., and Ameri, S., 1995. State-of-the-art in permeability determination from well log data: Part 1-A comparative study, model development. SPE Eastern Regional Meeting, 1995, pp. SPE-30978-MS. SPE. <https://doi.org/10.2118/30978-MS>
- Borhani, T. and Emadi, S., 2011. Application of Hydraulic Flow Units and Intelligent Systems for Permeability Prediction in a Carbonate Reservoir. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23338.72648>
- CNOOC, 2017. FINAL WELL REPORT. Internal report.
- Faidhllah, D. and Hamd-Allah, S., 2023. Prediction of Hydraulic Flow Units for Jeribe Reservoir in Jambour Oil Field Applying Flow Zone Indicator Method. *Iraqi Journal of Chemical Petroleum Engineering*, 24, pp. 65-70. <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2023.2.7>
- Hmeed, M. and Hamd-Allah, S. M., 2023. Studying the effect of permeability prediction on reservoir history matching by using artificial intelligence and flow zone indicator methods. *The Iraqi Geological Journal*, pp. 9-21. <http://dx.doi.org/10.46717/igj.56.1E.2ms-2023-5-12>
- Hussein, I. J., 2012. Building a Geological Model for the Buzurgan Oil Field/ Mishirif Formation. University of Baghdad/College of Engineering/Petroleum Department, MSc Thesis.
- Khaled, S., Gomaa, S.N., Karim, E., Mohamed, B., 2022. Development of an Artificial Neural Network Model to Calculate Static Young's Modulus Based on a Log-derived Data Base. *Journal of Petroleum Science*, 12, pp. 12-17. <https://doi.org/10.22078/jpst.2023.4879.1821>
- Kharrat, R., Mahdavi, R., Bagherpour, M.H. and Hejri, S., 2009. Rock type and permeability prediction of a heterogeneous carbonate reservoir using artificial neural networks based on flow zone index approach. SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, 2009, pp. SPE-120166-MS. SPE. <https://doi.org/10.2118/120166-MS>
- Man, H.Q., Hien, D.H., Thong, K.D., Dung, B.V., Hoa, N.M., Hoa, T.K., Kieu, N.V. and Ngoc, P.Q., 2021. Hydraulic flow unit classification and prediction using machine learning techniques: A case study from the Nam Con Son basin, offshore Vietnam. 14, 7714. <http://dx.doi.org/10.3390/en14227714>
- Mohammadian, E., Kheirollahi, M., Liu, B., Ostadhassan, M., Sabet, M., 2022. A case study of petrophysical rock typing and permeability prediction using machine learning in a heterogeneous carbonate reservoir in Iran. *Scientific Reports*, 12, 4505. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08575-5>
- Salman, O., Omar F., and Al-Jawad S., 2022. Permeability prediction in one of Iraqi carbonate reservoir using statistical, hydraulic flow units, and ANN methods. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 23, pp. 17-24. <https://doi.org/10.31699/IJCPE.2022.4.3>

- Sebtosheikh, M.A., Motafakkerfard, R., Riahi, M.A., Moradi, S., and Sabety, N., 2015. Support vector machine method, a new technique for lithology prediction in an Iranian heterogeneous carbonate reservoir using petrophysical well logs. Springer Nature, 30, pp. 59-68. <https://doi.org/10.1007/s13146-014-0199-0>
- Tadayoni, M. and Mina V., 2012. New approach for the prediction of Klinkenberg permeability in situ for low permeability sandstone in tight gas reservoir. SPE Middle East Unconventional Resources Conference and Exhibition, 2012, pp. SPE-152451-MS. SPE. <https://doi.org/10.2118/152451-MS>
- Zhang, X., Li, D., Zhang, M., and Li, C., 2019. Logging evaluation of permeability in Heterogeneous conglomerate reservoir. Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2017, 2019, pp. 155-164. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7560-5_14



Earthquake Distributions in Sulaimaniyah, North of Iraq

Suad Mohammed Ali ^{1*} , Hanan Abdulqader Darweesh ² , Iman Malallah Jaafar ³ 

^{1,2,3} Department of Geology, College of Science, University of Basrah, Basrah, Iraq.

Article information

Received: 24- Sep -2024

Revised: 19- Dec -2024

Accepted: 12- Feb -2025

Available online: 01- Apr- 2026

Keywords:

Sulaymaniyah,
Active Fault,
Magnitude,
Tectonic,
Zagros,

Correspondence:

Name: Suad Mohammed Ali

Email: suad.ali@uobasrah.edu.iq

ABSTRACT

One of the main natural threats is earthquakes, which pose a serious threat to human life and property. To examine seismic activity in Sulaymaniyah, a city, statistically determined distributions of earthquake hypocenters, magnitudes, and epicenters were reviewed from 1900 to 2018. Three contour maps that indicate the distribution of earthquakes in the study region were created using the Intercontinental Seismological Center Bulletin. The spreading of earthquakes shows that there is an increase in the number of earthquakes and their magnitude in areas with active faults, specifically in the southeastern and northwestern parts of the city of Sulaymaniyah, at the collision ridges between the Arabian and Iranian plates, and a decrease in the intensity, number of earthquakes, and their seismic magnitude in the center of the city itself. This means that Sulaymaniyah is the most seismically active and dangerous region in northern Iraq because it is located along the Zagros-Taurus belt, which is one of the most active seismic belts.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56098](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56098), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

توزيع الهزات الأرضية في السليمانية شمال العراق

سعاد محمد علي^{1*}، حنان عبد القادر درويش²، إيمان مال الله جعفر³

^{1,2,3} قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة البصرة، البصرة، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
تمثل الزلازل واحدة من التهديدات الطبيعية الرئيسية التي تشكل تهديدا خيرا على حياة الانسان وممتلكاته. لغرض دراسة النشاط الزلزالي في مدينة السليمانية، تم استخدام التوزيعات المحددة إحصائيا لمراكز الزلازل وقدرتها وبؤرها من عام 1900 إلى عام 2018. وتم إنشاء ثلاث خراط كنتورية تشير إلى توزيع الزلازل في منطقة الدراسة باستخدام نشرة مركز رصد الزلازل وبين انتشار الزلازل إن هناك زيادة في عدد ISC للزلازل وحجمها في المناطق ذات الصدوع النشطة وتحديدا في الأجزاء الجنوبية الشرقية والشمالية الغربية من مدينة السليمانية، عند مناطق التصادم بين الصفيحتين العربية والإيرانية، وانخفاض في شدة وعدد الزلازل وحجمها الزلزالي في وسط المدينة نفسها. وهذا يعني ان السليمانية هي المنطقة الأكثر نشاطا زلزاليا وخطورة في شمال العراق لأنها تقع على طول حزام زاغروس طوروس الذي يعد من أكثر الأحزمة الزلزالية نشاطا.	<p>تاريخ الاستلام: 24-سبتمبر-2024</p> <p>تاريخ المراجعة: 19-ديسمبر-2024</p> <p>تاريخ القبول: 12-فبراير-2025</p> <p>تاريخ النشر الالكتروني: 01-ابريل-2026</p> <p>الكلمات المفتاحية:</p> <p>السليمانية، الصدوع النشطة، المقدار الزلزالي، التكتونك، زاكروس،</p> <p>المراسلة:</p> <p>الاسم: سعاد محمد علي Email: suad.ali@uobasrah.edu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56098](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56098). ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Sulaymaniyah city is located in the north-east of Iraq, near the border with Iran, with longitudes 44-46 °E and latitudes 34-37 °N. It is located at an altitude of 2895 feet and is the fourth most populous Iraqi governorate, with a population of 2.5 million. According to Sissakian et al. (2014), Iraq is situated on the Arabian Plate's extreme northeastern region, where it collides with the Eurasian Plate. The primary structures generated by this collision, which is still ongoing, are mostly in the northwest-southeast trend, in the eastern, northeastern, and northern parts of Iraq. Iraq is located on the Shalair Terrane, an area of the country that is part of the Eurasian (Iranian) plate, in the far northeast of the nation. The rifting along the northeast African coast and the Red Sea and the Gulf of Aden opening up caused the Arabian plate, which includes Syria, the West of Iran, Jordan, and Iraq, to start separating from the continent of Africa (Fig. 1).

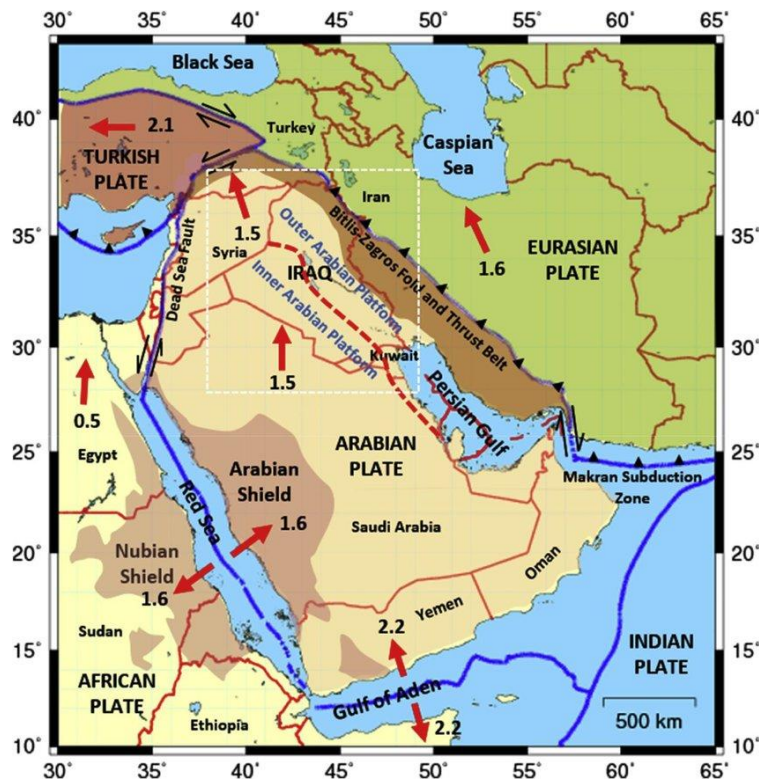


Fig. 1. The Arabian Plate's Tectonic Setting. The millimeters per year of plate motion are indicated by red arrows.

Sulaymaniyah is located in the High Folded Region (Fig. 2), which is situated inside the outer platform of the western Zagros Fold-Thrust Belt. The High Folded Region has structural and elevated terrain topography due to the association of the basement in deformation beneath the sedimentary layer by faulting. This region has several closely spaced, high-amplitude, narrow, and inverted folds of varying sizes and geometric shapes (Fouad, 2010).

The importance of this study lies in the fact that earthquakes are very important natural events because they help predict their future occurrence, thus providing better protection for humans and creatures and protecting the country from the collapse of its economy due to material losses. It is known that Sulaymaniyah is frequently exposed to earthquakes because it is in contact with the Iranian border, which is considered an active area, and some of these earthquakes may be damaging.

In seismology, the distribution of earthquakes is one of the important subjects investigated by many seismologists (Kagan, 2007; Kagan, 2010; Kagan and Jackson, 2016). They also studied (Hussien and Abdalnaby, 2019) earthquake distributions of the Mesopotamia Plain in Iraq by creating three contour maps of the number, depth, and magnitude, utilizing the International Seismological Center bulletin, to have a better knowledge of the seismic activity in the study area.

To fit the seismic data, Lillo et al. (2018) employed the Birnbaum-Saunders distribution and its maximum value variant. This application found that the maximum-value Birnbaum-Saunders distribution was more effective for describing seismic occurrences than the traditional model of extreme value distributions, discovering the association between Southern California earthquake magnitudes (Nicholls et al., 2018), and the findings show that it is positive. The association between the magnitude of earthquakes in SCEDC data and their aftershocks is consistent with the observed correlation between the greatest earthquakes in the GCMT catalog and their aftershocks.

In this work, a distribution of earthquake numbers, depths, and magnitudes within Sulaymaniyah is researched and plotted. The research was presented to evaluate the earthquake catalog of Iraq and prepare details regarding the spatial distribution of seismic events in Sulaymaniyah.

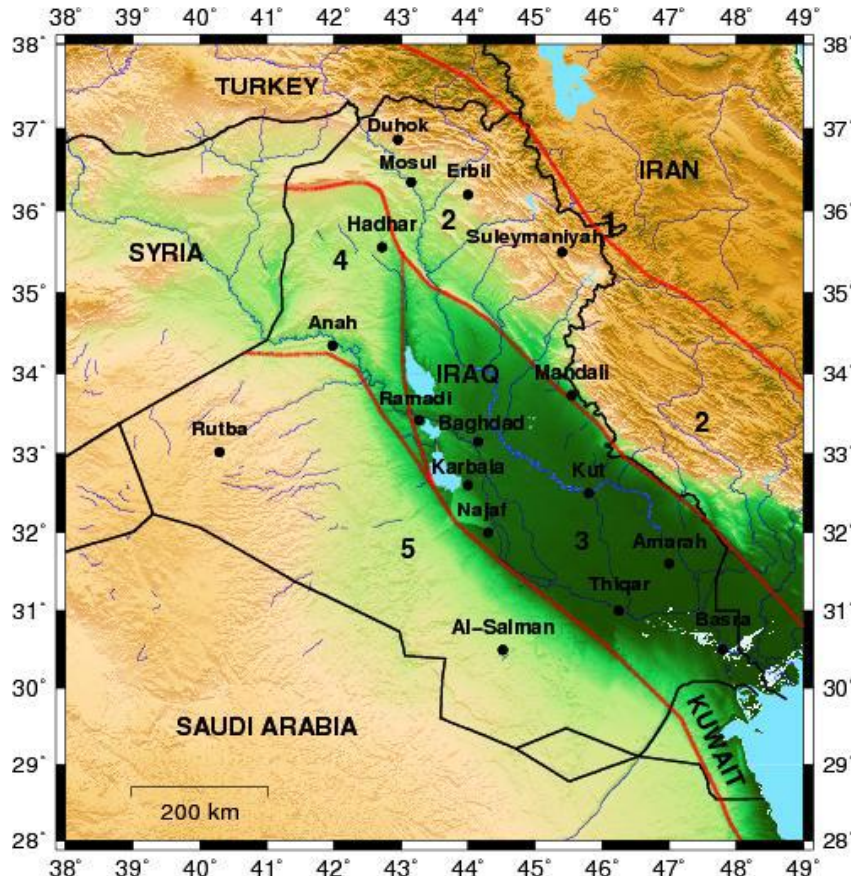


Fig. 2. Iraq's tectonic divisions by Fouad (2010). (1) Zone of Sanandaj-Sirjan. (2) Fold-Thrust Belts for Zagros.

Catalog of Earthquakes

In 1964, the International Seismological Centre (ISC) was established to collect, process, and archive seismic stations and net bulletins. It also prepares and disseminates the final summary of seismicity worldwide. One of its major responsibilities is maintaining the ISC Bulletin, which has been the world's longest-running, definitive record of seismicity. This entails collaborating with about 130 seismic networks and data centers worldwide. The Earthquake Center Bulletin's earthquake data was gathered to calculate the magnitude of seismic activity that occurred on the Mesopotamian Plain between 1900 and 2018. There are several reasons to use the ISC Bulletin. First, the accuracy of the location of the explosion epicenter is very high compared to other catalogs. Second, earthquakes reported by regional databases, including the Earthquake Research Institute, the Kuwait Institute for Scientific Research (KISR), the Iranian Seismic Center (IRSC), and the Kandili Observatory, are included in the ISC Bulletin.

Methodology

In this study, contour maps of the number of earthquakes, their depth, and their distributions were drawn (Figs. 3, 4, and 5) based on the Bulletin of the International Study Center for a period of 118 years from 1900 to 2018. To draw these maps, circles with a diameter of 0.25 degrees were chosen, and the center of each of these circles is situated where latitude and longitude converge.

Hence, a set of lines of longitude and latitude was drawn at 0.25 degrees to cover the entire study area. At each intersection point, the maximum depth, the number of earthquakes, and the maximum magnitude were found to fall within the circle (Table 1). The contour line on a map is the line that joins points of equal value. This is how the three contour maps of the number, depth, and magnitude distributions of earthquakes were drawn.

We note from the table below that the largest number of earthquakes and the highest magnitude are at a circle (30.31) at a shallow depth of the Earth's crust (30 km), as it was near the earthquake that occurred on November 11, 2017, as well as near the active fault extending in a north-south direction, which is a fault. Khanaqin, which confirms that these areas are more dangerous, and their maximum depth was 35 km.

Table 1: A set of 0.25° latitude and longitude that covered the study lines was utilized to create contour lines at each circle center for the number, maximum depth, and maximum amount.

Cycle (0.25 degrees)	Lat.	Long.	NO. of earthquakes	Max.mag (mb)	Max. depth (km)	Cycle (0.25 degrees)	Lat.	Long.	NO. of earthquakes	Max.mag (mb)	Max. depth (km)
1	36.25	44.5	26	4.7	49	17	35.5	45.25	39	5.1	35
2	36.25	44.75	32	4.7	49	18	35.5	45.5	39	5.1	35
3	36.25	45	45	5.5	49.6	19	35.5	45.75	45	5.1	35
4	36.25	45.25	60	5.5	52.6	20	35.5	46	57	4.9	35
5	36	44.75	60	5.5	52.6	21	35.25	44.75	94	5.1	35
6	36	45	31	5.6	53.2	22	35.25	45	62	5.1	35
7	36	45.25	40	5.5	35	23	35.25	45.25	38	5.1	35
8	35.75	44.57	41	5	35	24	35.25	45.5	69	5.1	35
9	35.75	45	38	5	35	25	35.25	45.75	116	5.7	35
10	35.75	45.25	36	5	35	26	35.25	46	120	4.7	35
11	35.75	45.5	40	5	35	27	35	45	39	4.6	35
12	35.75	45.75	50	4.8	35	28	35	45.25	50	4.7	35
13	35.65	45.7	50	4.8	35	29	35	45.5	152	4.9	35
14	35.75	46.25	29	4.9	35	30	35	45.75	434	5.7	35
15	35.5	44.75	76	5.1	37.5	31	34	45.25	138	6.8	35
16	35.5	45	48	5.1	37.2						

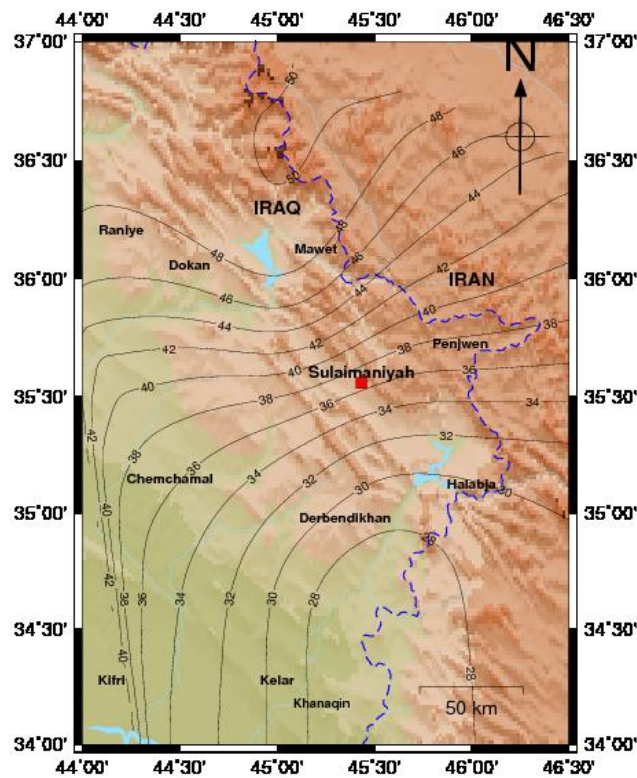


Fig. 3. Earthquake depth distributions covering 118 years, from 1900 to 2018, that were drawn using the ISC bulletin as a basis.

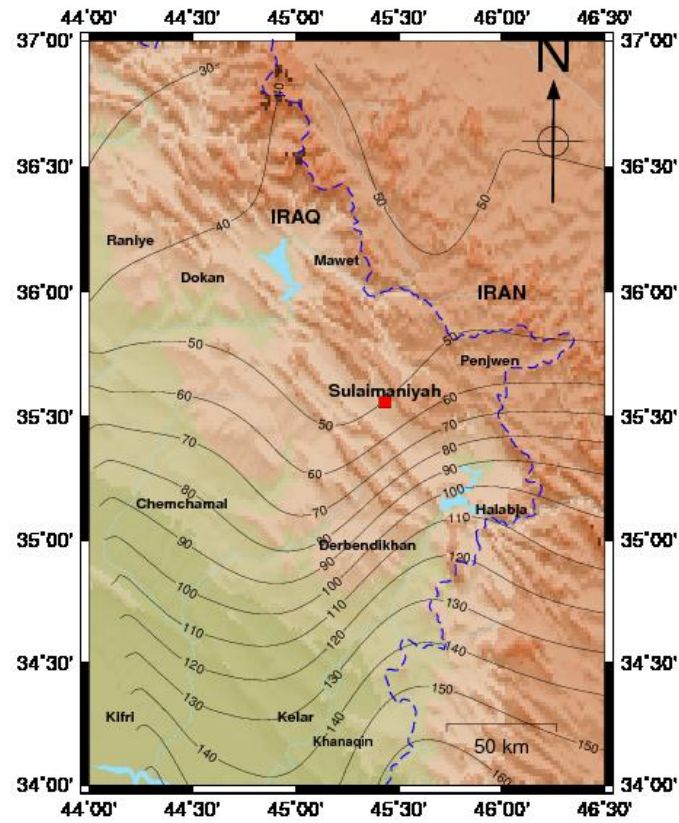


Fig. 4. Earthquake number distributions covering 118 years, from 1900 to 2018, that were drawn based on the ISC bulletin.

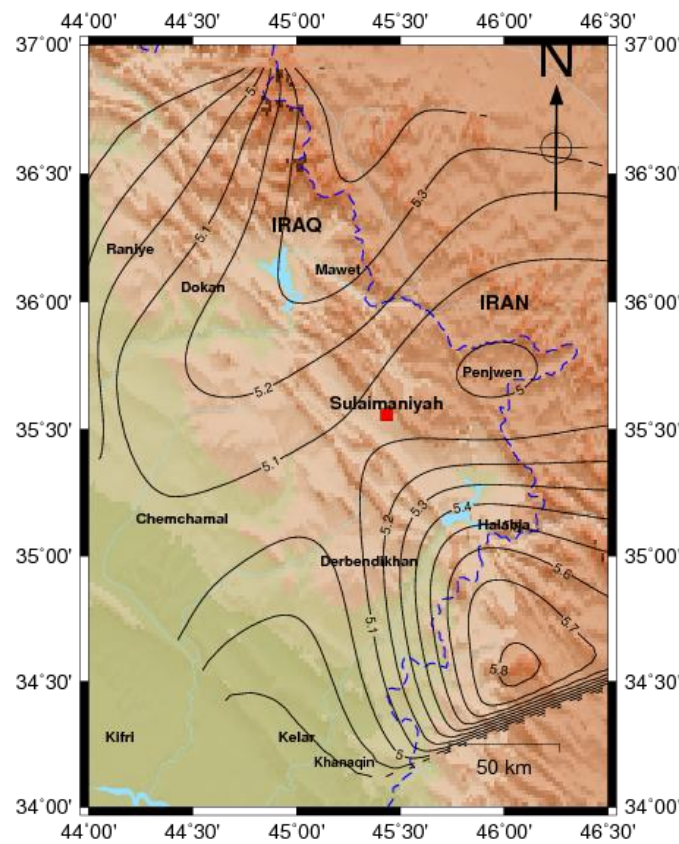


Fig. 5. Earthquake magnitude distributions covering 118 years, from 1900 to 2018, that were drawn based on the ISC bulletin.

Results and discussions

Faults in the study area

The study area contains several active fault lines (Fig. 6). Tectonic changes in Iran and Iraq caused many earthquakes as a result of these faults. In addition, over the last 11 years, there have been 25,000 earthquakes reported in the Zagros Mountains. With different magnitudes, these can lead to major destruction. The main fault responsible for the November 12, 2017, 7.3 magnitude earthquake remains to be determined. The Iranian Seismic Center (ISC) has determined its location, but the earthquake occurred near an active fault called the main Zagros reverse fault. The epicenter of the earthquake occurred 45 kilometers from the city of Halabja in Sulaymaniyah. There is also an active north-south strike-slip fault between the Iraqi-Iranian borders northeast of Mawet City and the Iraqi-Iranian border east of Khanaqin (Ibrahim, 2009).

Ali (2018) studied some active faults in the Zagros earthquake belt, based on the geographical distribution of earthquakes, which are collected in clusters, indicating the presence of active faults in their locations. This study was conducted by relying primarily on descriptive earthquake data collected from Onur et al. (2017). The resulting catalog with corresponding Mw sizes. Although intense seismic activity is mainly concentrated along the Zagros Belt, the catalog covers seismic activities in the region from 1900 to 2012 with a magnitude from 3.0 to more than 6.

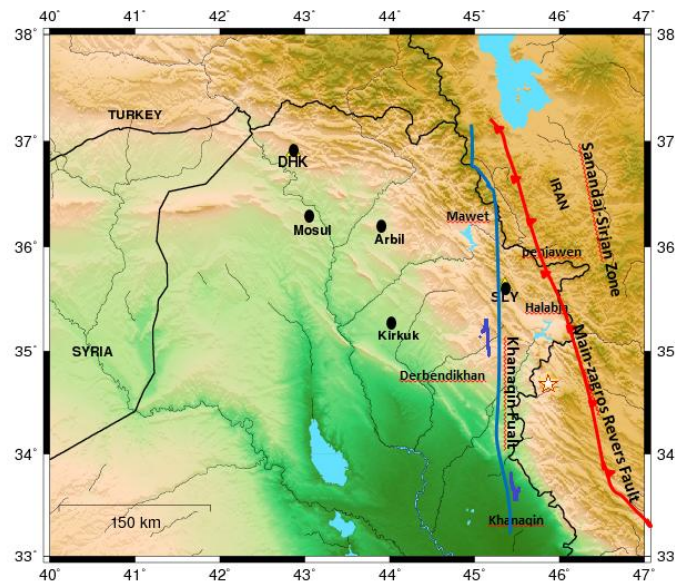


Fig. 6. Important fault lines in the area, with a star marking the epicenter on December 17, 2011.

Activity of seismicity

Earthquakes occur and are mostly concentrated along the folded belts of Zagros and Taurus, and seismic activity is distributed heterogeneously and dispersed throughout this region. Because of the rotating motions within the Arabian plate itself and because of the changes in the shape along the Arabian plate's border where it collides with the Turkish and Iranian plates, the deformation along the belt is heterogeneous (Al-Sinawi, 1997). Iraq is considered moderately seismically active based on its tectonic location on the Arabian Plate and the active collision boundary with Iran. In general, the seismic activity in Sulaymaniyah is mainly affected by the systems of Zagros and Taurus, with some new tectonic activation of the upper crust (Jassim and Göff, 2006) (Fig. 7).

Several destructive earthquakes occurred in Iraq, and the International Seismic Bulletin States that Iraq has thousands of earthquakes, according to the Center (ISC), and countries that bordered between 1900 to 2022 Figure 4 displays the geographical distribution of the magnitudes of earthquakes. From the figure, it is also clear that Sulaymaniyah is seismically active. Earthquakes of magnitude 6.9 have occurred over the past 100 years.

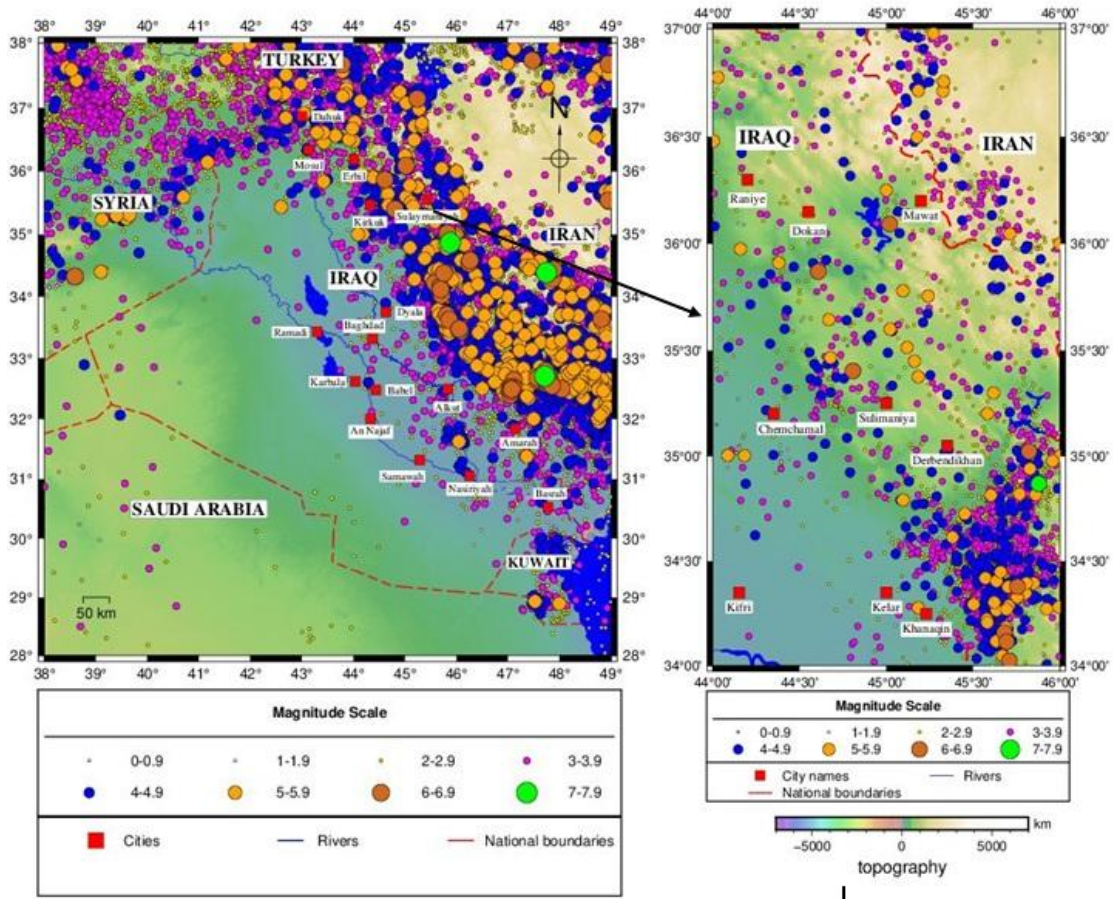


Fig. 7. The map of Iraq's earthquakes and those of its neighbors, depending on the ISC Bulletin for the years 1900-2022. The figure on the right represents the study area.

Conclusions

Regarding the contour map of the earthquake magnitude distributions in the study area, there are two areas witnessing major earthquakes, one of which is located to the southeast of the city of Sulaymaniyah, and the other is located to the northwest of the city. This means that the city center is surrounded by high seismic activity, but the city itself did not witness high seismic foci.

The seismic activity in the two regions is due to the presence of two faults, one of which is located to the southeast of the city, which is the Khanaqin fault, and the other to the northwest of it, which is an extension of the main Zagros reserve fault. The contour map of the number of earthquakes confirms that the number of earthquakes in two areas is large and decreases as we move away from the city center. Likewise, the depths of the earthquakes increase toward the city center, and they are shallow depths ranging from 28 to 48 km.

Distributions of earthquakes indicate that there are many earthquakes, and their magnitudes increase near the Iraqi-Iranian border, where the maximum magnitude reached more than 6. Evidence of this is the presence of the Khanaqin fault as well as a major reverse fault resulting from the Arabian and Iranian plates colliding, which causes earthquakes to occur from time to time in the region. Sulaymaniyah is a more dangerous area, especially the areas near the active faults mentioned above, which are close to the Iranian border.

Contour maps of the distribution of earthquakes can be considered a database for improving modern structural concepts in this region, which can significantly reduce the severity of the consequences for society. Sulaymaniyah City Council should use this information to avoid building across these geological hazards. However, the risks associated with the known fault movement caused by the earthquake in the new development area can be reduced. The

Sulaymaniyah region is considered unstable due to the presence of many major faults in different directions.

Acknowledgements

We thank the organization for providing the earthquake parameters to the Global Centroid-Moment-Tensor (GCMT) and the International Seismological Center (ISC) Project for plotting all maps in this study.

References

- Ali, S.M., 2018. Crustal structure and seismic active faults in Sulaimaniyah, Northern Iraq, and surrounding regions. Unpublished PhD Thesis, College of Science, University of Basrah, Iraq.
- Alsinawi, S.A., 1997. Fundamentals of seismology. Abadi Center for Publications and Studies, Sana'a, Yemen (in Arabic).
- Fouad, S.F.A., 2010. Tectonic and Structural Evolution of the Mesopotamia Foredeep, Iraq. Iraqi Bulletin of Geology and Mining. 6 (2), pp. 41-53.
- Badria, A.H. and Wathiq, A.G., 2019. Earthquake Distributions of the Mesopotamia Plain, Iraq Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG) e-ISSN: 2321-0990, p-ISSN: 2321-0982. Vol. 7, Issue 2 Ser.
- Ibrahim, A.O., 2009. Tectonic style and evolution of the NW segment of the Zagros Fold-Thrust - Belt, Sulaimaniya Governorate, and Kurdistan Region NE Iraq. Unpublished PhD Thesis, College of Science, University of Sulaimaniya, Iraq.
- Jassim, S.Z. and Göff, J.C., 2006. Geology of Iraq. DOLIN, sro, distributed by the Geological Society of London.
- Kagan, Y.Y., 2007. Earthquake spatial distribution: the correlation dimension. Geophysical Journal International, 168(1), pp. 1175-1194. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03251.x>
- Kagan, Y.Y., 2010. Statistical distributions of earthquake numbers: the consequence of the branching process. Geophysical Journal International, 180 (3), pp. 1313-1328. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04487.x>
- Kagan, Y.Y. and Jackson, D.D., 2016. Earthquake rate and magnitude distributions of great earthquakes for use in global forecasts. Geophysical Journal International, 206 (1), pp. 630-643. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw161>
- Lillo, C., Leiva, V., Nicolis, O. and Aykroyd, R.G., 2018. L-moments of the Birnbaum-Saunders distribution and its extreme value version: Estimation, goodness of fit and application to earthquake data. Journal of Applied Statistics, 45 (2), pp. 187-209. <https://doi.org/10.1080/02664763.2016.1269729>
- Nichols, K., Trevino, E., Ikeda, N., Philo, D., Garcia, A., and Bowman, D., 2018. Interdependency amongst earthquake magnitudes in Southern California. Journal of Applied Statistics, 45 (4), pp. 763-774. <https://doi.org/10.1080/02664763.2017.1313965>
- Sissakian, V.K., Fouad, S.F., Al-Ansari, N., Knutsson, S., 2014. Deformational Style of the Soft Sediment (SEISMITES) within the Uppermost Part of the Euphrates Formation, Western Iraq, Jour of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, vol. 4, no. 4, 71-86. ISSN: 1792-9040 (print), 1792-9660 (online) Scienpress Ltd.
- Onur, T., Gok, R., Abdlnaby, W.G., Mahdi, H., Numan, N.M. S., Al-Shukri, H., Shakir, A.M., Ghlaib, H.K., Ameen, T.H., and Abd, N.A. 2017. Comprehensive earthquake catalog for Iraq in terms of moment magnitude. Seismological Research Letters. Vol. 88, Number3. <https://doi.org/10.1785/0220160078>



Integrated Geospatial Analysis of Geomorphometric Characteristics in the Hasab Watershed's Drainage Network, Iraqi Southern Desert

Bashar F. MaarooF ^{1*} , Hashim H. Kareem ² , Jaffar H. Al-Zubaydi ³ , Manal Sh. Al-Kubaisi ⁴ , Ban AL- Hasani ⁵ , Mawada Abdellatif ⁶ , Iacopo Carnacina ⁷ 

¹ Babylon Center for Civilization and Historical Studies, University of Babylon, Hillah, Babil, Iraq.

² Department of General Sciences, University of Misan, Amarah, Misan, Iraq.

³ Department of Applied Geology, University of Babylon, Hillah, Babil, Iraq.

⁴ Department of Geology, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

^{5,6,7} Civil Engineering and Built Environment Department, Faculty of Engineering Technology, Liverpool John Moores University, Liverpool L3 5UX, UK.

Article information

Received: 10- Feb -2025

Revised: 29- Mar -2025

Accepted: 31- May -2025

Available online: 01-Apr – 2026

Keywords:

Fluvial Geomorphology,
Geomorphometry,
Watershed Modeling,
Hasab Watershed (HWS),

Correspondence:

Name: Bashar F. MaarooF

Email:

basharma@uobabylon.edu.iq

ABSTRACT

The geomorphometric characteristics of the Hasab catchment in the Iraqi southern desert are studied. The study utilized geospatial data, including the Digital Elevation Model (DEM) (SRTM), satellite imagery, and topographic maps, to analyze the geomorphometric characteristics of a watershed and then incorporated them into a topological model. The order priorities were ranked from 2677 to 167, with percentages of 35.316%, 23.245%, 16.596%, 11.728%, 10.910%, and 2.2031. The Hasab watershed has 4342.563 km of stream length, with Hasab sub-watershed (1) accounting for 50.882% and Hasab sub-watershed (4) 28.045% having the second-most length. The bifurcation ratios of sub-watersheds vary based on geological and climatic data, with the highest ratio in the Hasab sub-watershed at 10.235, followed by others at 2.151, 2.318, and 1.263. The Hasab watershed's stream frequency is 1.421 km/km², with sub-watershed rates increasing to 2.126 km/km². Sub-watershed values range from 2.958 km/km² to 1.252 km/km². The Hasab watershed has a drainage density of 1.387 km/km², with sub-watersheds having varying density values. The highest density is 1.392 km/km² in Hasab sub-watershed (4), while the lowest is 0.716 km/km² in Hasab sub-watershed (3). The Hasab watershed has a basin texture rate of 11.290 Stream/km, with the highest value in Hasab sub-watershed (4) and the lowest in Hasab sub-watershed (2). Factors like basin area, rock formation hardness, structural features, rainfall intensity, slopes, basin shape, and vegetation density influence stream order diversity in basins. Waterway length rates and bifurcation ratios vary, with first-order streams transitioning into second-order ones due to river captivity.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60866](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60866), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

التحليل الجيومكاني المتكامل للخصائص الجيومورفومترية لشبكة التصريف النهري لمستجمع مياه حسب في الصحراء العراقية الجنوبية

بشار معروف^{1*}، هاشم كريم²، جعفر الزبيدي³، منال الكبيسي⁴، بان الحسني⁵، مودة عبداللطيف⁶،
ياكوبو كارناسينا⁷

¹ مركز بابل للدراسات الحضارية والتاريخية، جامعة بابل، الحلة، بابل، العراق.

² قسم العلوم العامة، جامعة ميسان، العمارة، ميسان، العراق.

³ قسم علوم الأرض التطبيقية، جامعة بابل، الحلة، بابل، العراق.

⁴ قسم علوم الأرض، جامعة بغداد، بغداد، العراق.

^{5,6,7} قسم الهندسة المدنية والبيئة المبنية، كلية تكنولوجيا الهندسة، جامعة ليفربول جون موريس، ليفربول L3 5UX، المملكة المتحدة.

المخلص	معلومات الارشفة
تناول البحث دراسة الخصائص الجيومورفومترية لشبكة التصريف النهري لمستجمع مياه حسب في صحراء العراق الجنوبية. استخدمت الدراسة البيانات الجيومكانية من خلال نموذج الارتفاع الرقمي (SRTM) (DEM) وصور الأقمار الصناعية والخرائط الطبوغرافية لتحليل الخصائص الجيومورفومترية للمستجمع المائي ودمجها في نموذج طوبولوجي. تراوحت المراتب النهريّة من 167 إلى 2677، بنسب 23.245٪، 35.316٪، 16.596٪، 11.728٪، 10.910٪، و 2.2031٪ على التوالي. بلغت أطول المجاري النهريّة لمستجمع مياه حسب الرئيس 4342.563 كم، حيث يمثل مستجمع مياه حسب الثانوي (1) 50.882٪ ومستجمع مياه حسب الثانوي (4) 28.045٪ وهو ثاني أطول مجرى مائي. تباينت نسب التفرع في مستجمعات المياه الثانويّة، وذلك حسب تأثير العوامل الجيولوجية والمناخية، حيث بلغت 10.235 في مستجمع مياه حسب الثانوي (4) وهي أعلى نسبة. بلغ معدل التكرار النهري لمستجمع مياه حسب الثانوي (4) 1.421 كم ² /كم، مع زيادة معدلات مستجمعات المياه الثانويّة إلى 2.126 كم ² /كم، وقد تراوحت بقية القيم من 2.958 كم ² /كم إلى 1.252 كم ² . بلغت كثافة التصريف لمستجمع مياه حسب الرئيس 1.387 كم ² /كم، مع وجود قيم كثافة متفاوتة لمستجمعات المياه الفرعية، أعلى كثافة هي 1.392 كم ² /كم في مستجمع مياه حسب الثانوي (4)، بينما أدنى كثافة هي 0.716 كم ² /كم في مستجمع مياه حسب الثانوي (3). بلغ معدل النسيج الحوضي 11.290 مجرى مائي/كم، مع أعلى قيمة في مستجمع المياه حسب الثانوي (4) وأدنى قيمة في مستجمع المياه حسب الثانوي (2). تؤثر عوامل مثل مساحة الحوض، وصلابة تكوين الصخور، والخصائص التركيبية، وكثافة هطول الأمطار، والمنحدرات، وشكل الحوض على تنوع ترتيب المجاري المائية في الأحواض. تتنوع معدلات طول المجاري المائية ونسب التفرع، مع انتقال المجاري المائية من الدرجة الأولى إلى مجاري من الدرجة الثانية بسبب أسس النهر.	تاريخ الاستلام: 10-فبراير-2025 تاريخ المراجعة: 29-مارس-2025 تاريخ القبول: 31-مايو-2025 تاريخ النشر الإلكتروني: 01-أبريل-2026 الكلمات المفتاحية: الجيومورفولوجيا النهريّة، الجيومورفومتري، نمذجة الأحواض النهريّة، مستجمع مياه حسب، المراسلة: الاسم: بشار معروف Email: basharma@uobabylon.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60866](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60866), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Geomorphometry is the measurement and mathematical study of the Earth's surface configuration, including the dimensions and shape of its landforms (Minár et al., 2024). The geomorphometric analysis is accomplished by measuring the linear, aerial, relief, and gradient of the channel network and the contributing ground slope of the basin (Garzon et al., 2023). An area's drainage lines help describe the evolution of the region's geomorphometry and explain its current three-dimensional geometry. Shape indices, a vital component of a

watershed's characteristics, are used in drainage basin geomorphometry to quantify basin shape and describe the hydrological features of a river basin (Zhou et al., 2023). The drainage basin analysis is crucial in any hydrological investigation, including pedology, environmental assessment, groundwater management, and groundwater potential assessment. According to hydrologists and geomorphologists, the relationship between runoff characteristics and drainage basin systems' geographic and geomorphic features is nearly significant. The physiographic characteristics of drainage basins, such as size, shape, slope, drainage density, and stream lengths, are associated with numerous significant hydrological phenomena (Pinto et al., 2023).

Therefore, water resources must be evaluated for the economy and the sustainability of livelihoods. Plans for development and management are also necessary if the ecosystem is to endure and keep supplying local communities with essential products and services. New methods of managing water and basins also require the best and most sustainable use of freshwater resources. Quantitative geomorphometry analysis of the watershed can provide the hydrological nature of the rocks within the watershed, which is essential information for watershed management plans (Iacobucci et al., 2024). A watershed's fundamental unit is its stream network, which shows its hydrological, geological, and structural configuration. For the management and execution of conservation measures, an understanding of the watershed's topography, stream network, and its pattern, and geological and geomorphological setup is necessary (Anyá and Bhuiyan, 2024). Different regional hydrological models developed using the watershed's geomorphological features are used to solve various hydrological issues in ungauged watersheds. A geomorphometric characterization of the watershed is crucial for assessing its hydrological set-up in conjunction with its geology and geomorphology (Minár et al., 2024).

The basic units for managing land and water resources are drainage basins, catchments, and sub-catchments (Newman et al., 2022). Morphometric analysis is crucial for hydrological research, drainage basin development, and drainage basin management (Lindsay et al., 2004). The two main factors influencing running water ecosystems operating at the basin scale are morphometric parameters and climate. River basin assessment, watershed prioritization for soil and water conservation, and watershed-level natural resource management greatly benefit from the quantitative analysis of morphometric parameters (Ahmad et al., 2024).

The study aims to determine the typical engineering features of the Hasab drainage basin, one of the seasonal river basins in the southern Iraqi desert. Some attributes include stream order, lengths, mean stream length, bifurcation rate, stream frequency, and river drainage patterns. The study suggests connections between the shape and size features of the Hasab Valley drainage network and the landforms and processes in the area. The study seeks to identify the key shape features of the Hasab Valley drainage network and examine the natural factors that influence it, as well as the area's water flow and landform patterns.

Materials and Methods

Study Site

The Hasab watershed (HWS) is located in the western part of the southern Iraqi desert within the administrative borders of the Al-Najaf Governorate (Al-Abadi et al., 2015). It is bordered to the north by the south and southeastern parts of the Al-Najaf Sea and the Al-Tok Marsh. In contrast, to the south, it is bordered by the Jal Abu Khuwayma area near the Iraqi-Saudi border (Fig. 1). The HWS extends between latitudes ($30^{\circ}48'12''\text{N} - 31^{\circ}49'18.331''\text{N}$) north and longitudes ($43^{\circ}09'3.559''\text{E} - 44^{\circ}22'30.496''\text{E}$) east. It is one of the seasonal valleys in the southern Iraqi desert within the regions of the lower valleys and the Al-Hejar area. The area of the HWS is 3718.362 km^2 , with a perimeter of 468.274 km , and a total length of 150.801 km , starting from its upper sources near Dhahrat Hasab and Jal Abu Khuwayma and

ending at its mouth near Al-Tok Marsh. The HWS is characterized by a relatively low-altitude plateau (Fig. 4) and its gradual slope from the southwest towards the northeast (Fig. 1).

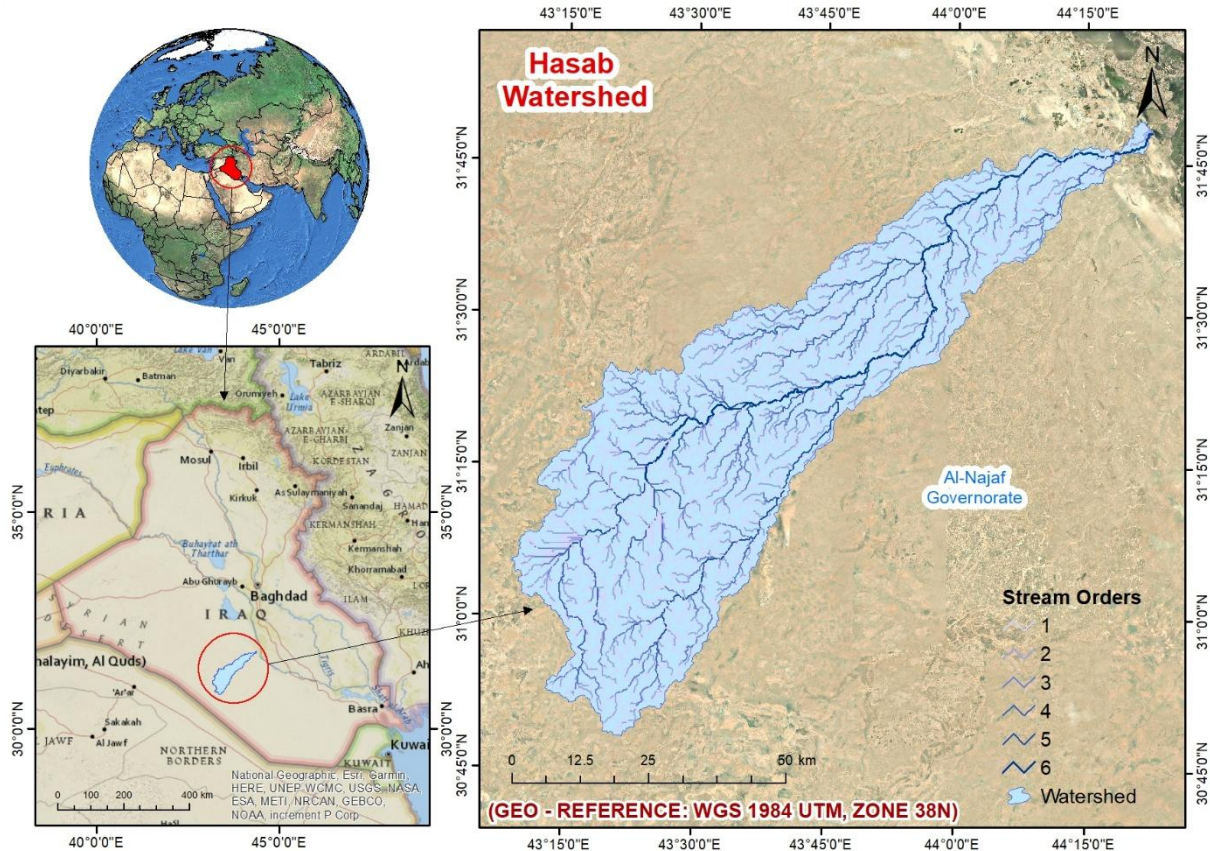


Fig. 1. Location of the Hasab watershed in Iraq.

The general slope rate is 2.466 m/km, and the varying elevations between its parts characterize the basin. The highest elevation in its upper sources in its southwestern part reached 390 m above sea level (Figs. 2 – 4). The lowest elevation reached 20 m (a.s.l) in the estuary area near Al-Tok Marsh and Bahr Al-Najaf. The HWS is characterized by increased ruggedness in its upper parts, representing the source area extending between the contour lines 390 - 280 m (a.s.l). This area represents the youth stage according to the phases of the Davisian cycle of the development stages of river basins, where many topographic features are spread, represented by plateaus, hills, fault edges, and other topographic features (MaarooF *et al.*, 2025). The central area of HWS, which represents the maturity stage of the Davisian geomorphological cycle, is located between contour lines 280-130 m (a.s.l). It represents all the landforms in the southern Iraqi desert (MaarooF, 2022). It is less steep and rugged than the first region. Its level decreases gradually until it reaches the estuary region, which represents the aging stage of the geomorphological cycle and is located between contour lines (130 – 20) m (a.s.l).

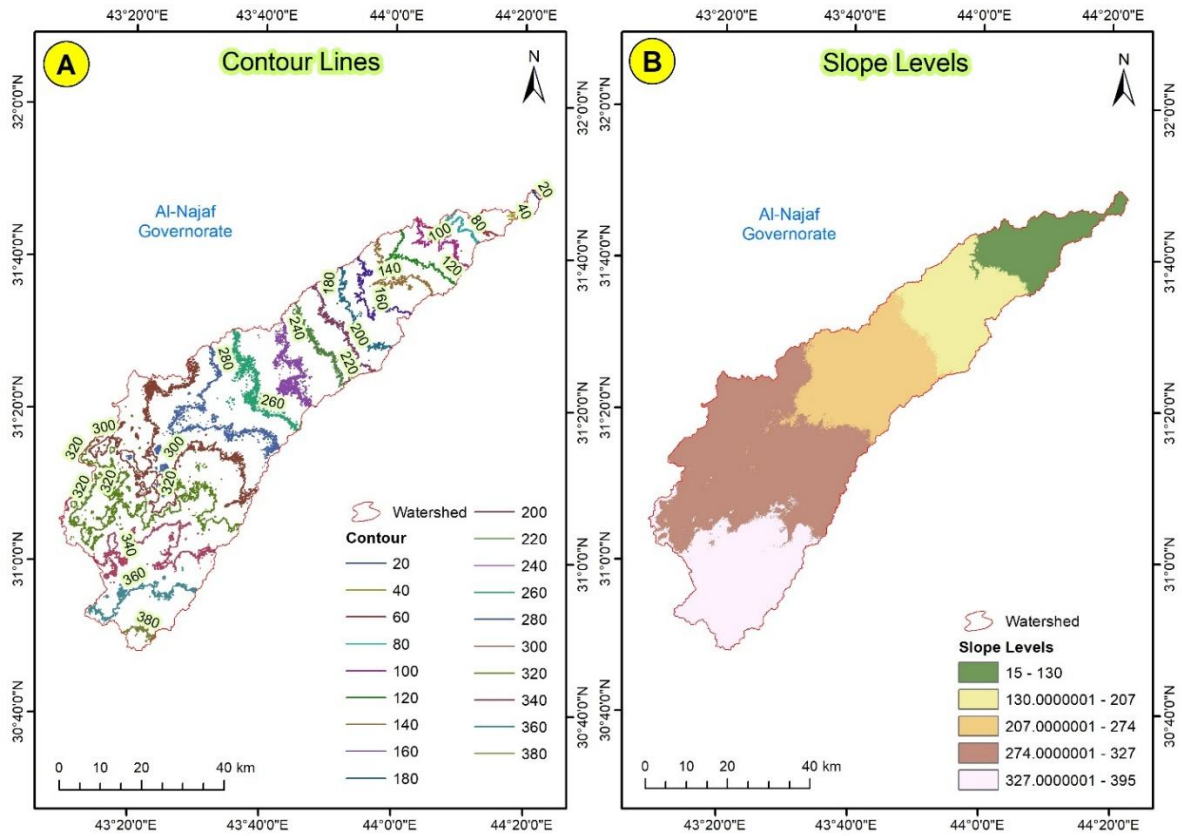


Fig. 2. (A) Contour lines and (B) Slope Levels of the Hasab watershed.

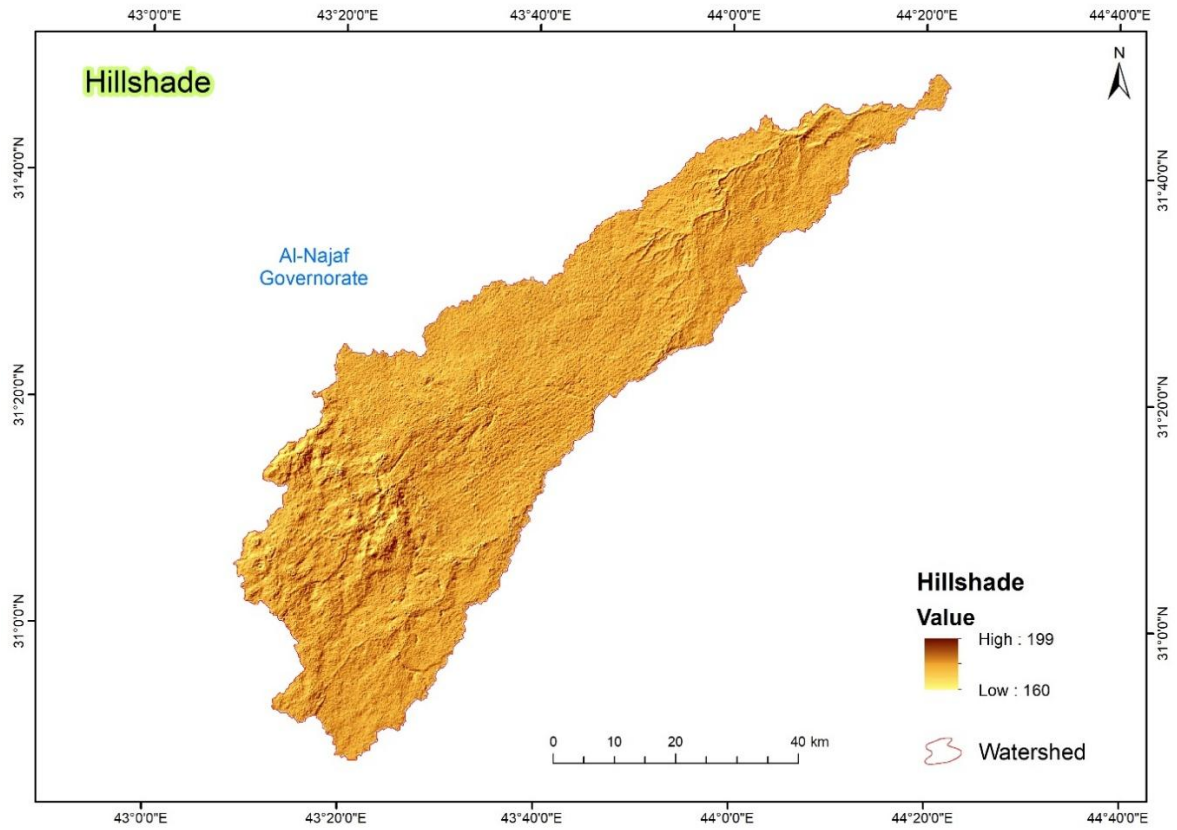


Fig. 3. The Hillshade of the Hasab watershed.

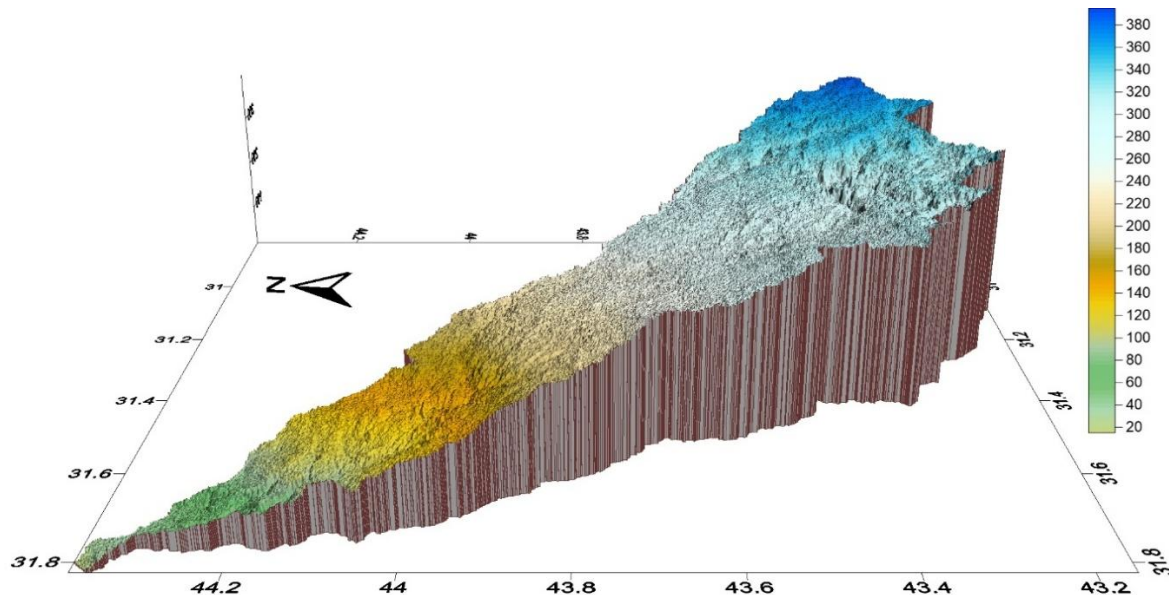


Fig. 4. The 3D model of the Hasab watershed.

Geologically, the study area consists of geological formations that vary according to their sedimentary environment (Maarroof et al., 2021). Some were deposited under continental environments, resulting from marine regression, while others were deposited under marine environments, resulting from marine transgression (Sissakian and Fouad, 2015). The ages of these formations ranged from the Upper Eocene to the Holocene. The causes of marine regression and submergence are due to the tectonic activity upon the exposed region it was exposed to during its geological history, resulting in changes in sea level and climate (Al-Jibouri and Gayara, 2015). The Fat'ha Formation is exposed in the northern parts of the study area. It contains basal breccia and sandstone with a thickness of 3 – 6 m and occupies an area of 37.46 km², representing 1.007% of the total area. The Ghar Formation is exposed in the northern parts of the study area and consists of red mudstone, fine sandstone, and gravelly sandstone with layers of chalky sandstone and basal breccia; it occupies an area of 179.75 km², representing 4.83% (Table 1) (Ma'ala, 2009). The Dammam Formation is one of the most significant geological formations in the study area (Fig. 4), and it may have been formed during the Eocene (Al-Jiburi and Al-Basrawi, 2009). It was divided into two members (middle and lower) based on lithologic, physical, and fossil changes. The first is the Middle Dammam Formation, which is exposed across the northern and central parts of the study area (Fig. 4) with an area of 1563.464 km², representing 42.04% (Table 1). The Lower Dammam Formation is exposed across the southern parts of the study area, with an area of 1452 km², representing 39.04% (Jassim and Al-Jiburi, 2009).

Table 1: Geological formations, their areas, and percentages in the study area.

Formation	Period	Area (km ²)	Percentage (%)
Depression fills deposits	Quaternary	97.604	2.624
Fatha Formation	Miocene	37.46	1.007
Gypcrete deposits	Quaternary	21.65	0.582
Ghar Formation	Miocene	179.75	4.834
Lower Dammam Formation-Jill	Eocene	1452	39.049
Middle Dammam Formation	Eocene	1563.464	42.047
Umm Er Radhuma – Akashat	Paleocene	240.999	6.481
Lower Zahra Formation	Pleistocene	60.19	1.618
Upper Zahra Formation	Pleistocene	65.23	1.754

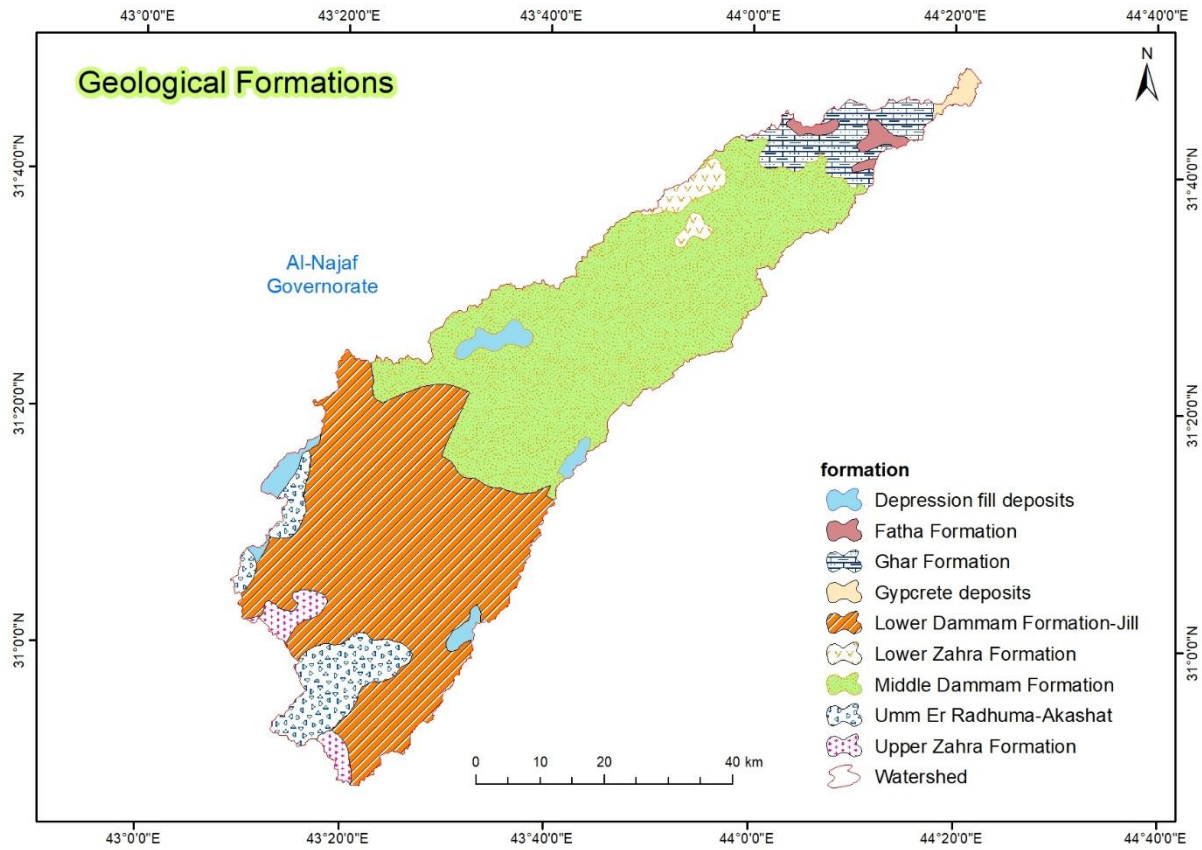


Fig. 5. Geological formations of the Hasab watershed.

Climatically, there is an apparent seasonal variation in temperature rates (Al-Hasani et al., 2024a). The temperature increases in the summer months (June, July, and August), reaching its highest in July at 37.3 °C (Fig. 6). In winter, the temperature is relatively moderate (Al-Hasani et al., 2024b). The temperature tends to decrease, with the lowest recorded in January at 10.9 °C. Rainfall is variable and fluctuating, characterized by its seasonality (AL- Hasani et al., 2025c). It falls at relatively spaced intervals as showers that quickly turn into torrential floods, eroding the earth's surface and forming its slopes (Maarouf et al., 2023). The highest rainfall value was recorded in December at 16.3 mm, while the lowest was recorded in May and October at 4.6 mm each (Şarlak and Mahmood Agha, 2018). The northern and northwestern winds dominate the study area and are similar to the winds over Iraq's central and southern regions, with an annual average of 2.6 m/s. Wind speed increases in the summer months (June, July, August), reaching 3.2, 4.1, and 2.9 m/s, respectively, and decreases in the winter months (November, December, January), reaching 1.8, 1.4, and 2.1 m/s, respectively.

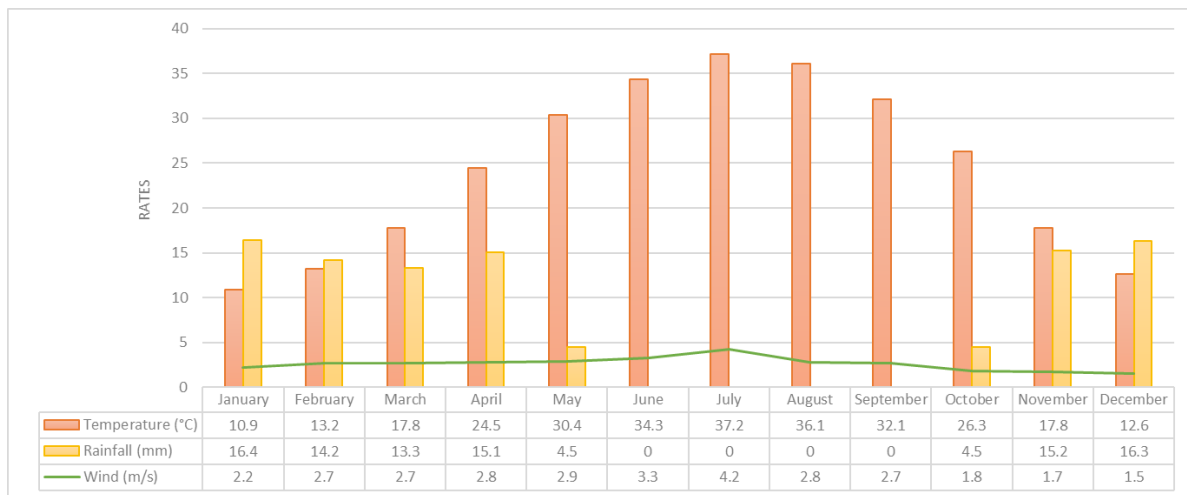


Fig. 6. Temperature, precipitation, and wind speed data for the study area from 1990 to 2020 from the Al-Najaf Climatic Station. [Iraq | World Meteorological Organization \(wmo. int\)](http://Iraq | World Meteorological Organization (wmo. int))

The Hasab watershed is divided into four sub-watersheds:

1. Hasab sub-watershed (1) (HSW1): This sub-watershed is located in the eastern part of the study area. It has an area of 1600.53 km², a perimeter of 433.866 km, and a length of 121.422 km (Table 2 and Figs 7 and 8).

2. Hasab sub-watershed (2) (HSW2): This sub-watershed is located in the western part of the study area. It has an area of 517.364 km², a perimeter of 143.776 km, and a length of 47.183 km (Table 2 and Figs 7 and 8).

3. Hasab sub-watershed (3) (HSW3): This sub-watershed is located in the southern part of the study area. It has an area of 725.85 km², a perimeter of 230.457 km, and a length of 230.457 km (Table 2 and Figs 7 and 8).

4. Hasab sub-watershed (4) (HSW4): This sub-watershed is located in the southern part of the study area. It has an area of 874.699 km², a perimeter of 225 km, and a length of 59.762 km (Table 2 and Figs 7 and 8).

Table 2: Area, perimeter, and length of Hasab sub-watersheds.

Sub-watersheds	Area (km ²)	Perimeter (km)	Length (km)
Hasab sub-watershed (1) (HSW1)	1600.53	433.866	121.422
Hasab sub-watershed (2) (HSW2)	517.364	143.776	47.183
Hasab sub-watershed (3) (HSW3)	725.85	230.457	81.636
Hasab sub-watershed (4) (HSW4)	874.699	225	59.762

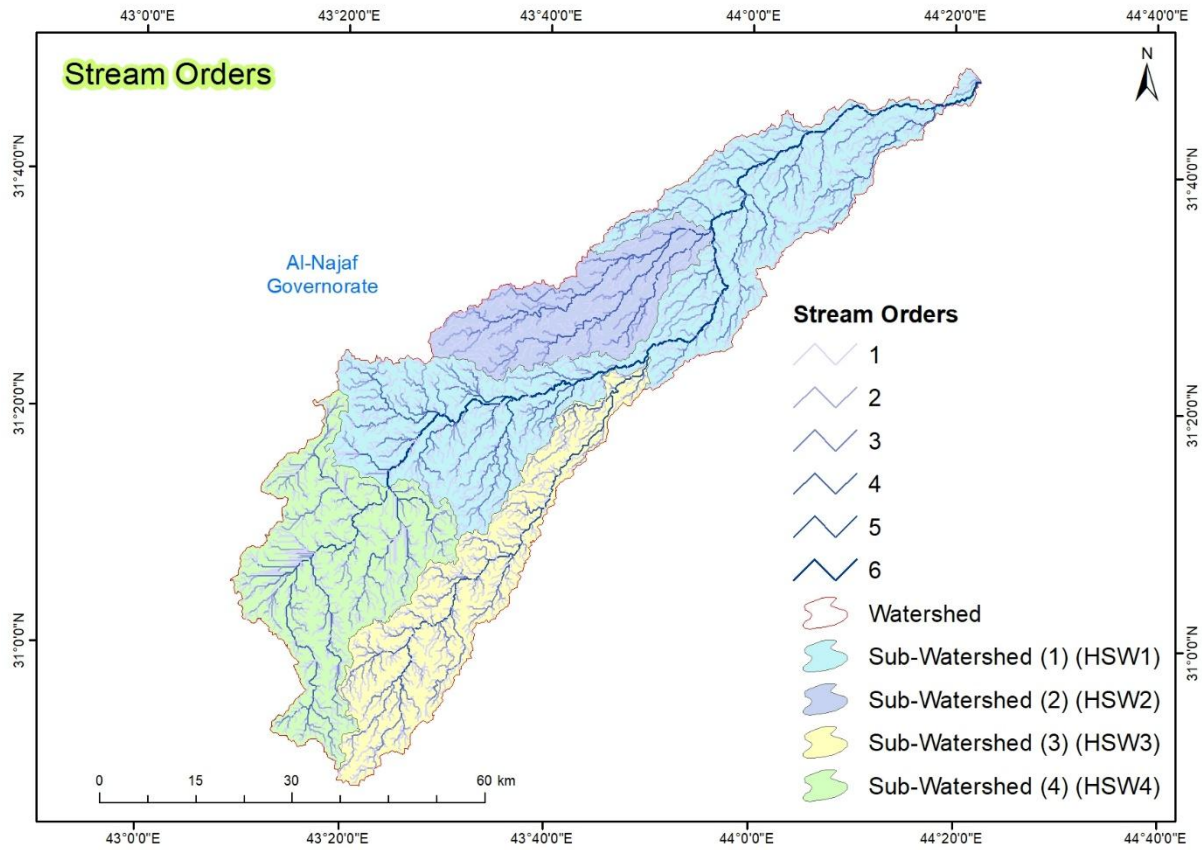


Fig. 7. Drainage basin network of the Hasab watershed and its sub-watersheds.

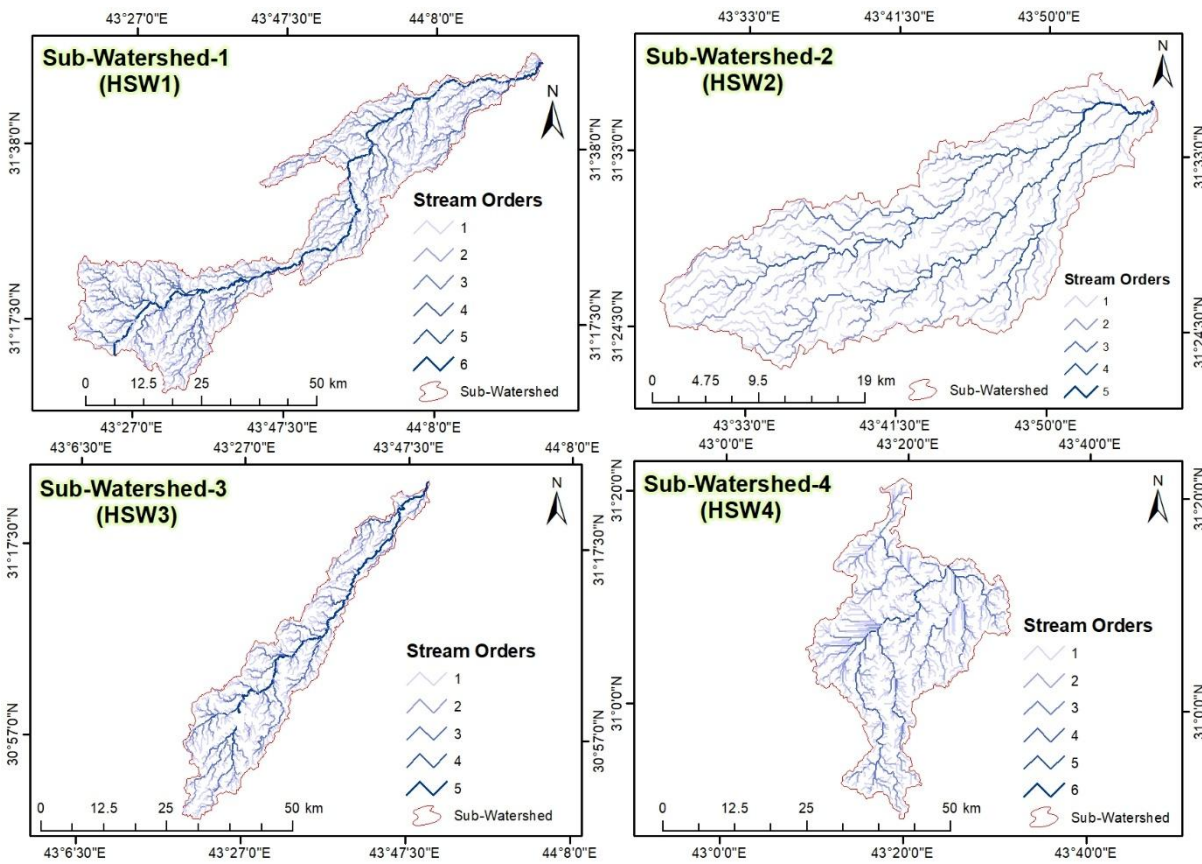


Fig. 8. Drainage basin network of Hasab Sub-watersheds.

Hydrologically, HWS is a seasonal watershed characterized by being a semi-arid area, and water does not flow in it except after being exposed to rainstorms that feed it with water (Ilaibi and Al-Sudani, 2019). Rain begins to fall from October until May, and water flows if the rainstorm continues and covers all parts of the area (MaarooF, 2024). The annual water flow volume in the basin can be determined by applying the Berkeley equation, which is based on the climate and topography elements (MaarooF, 2022b). Using the above equation, the results indicated that a watershed's expected annual flow volume is 0.001 billion/m³ (Table 3). The results were based on the amount of rainfall, the valley's area, the channel's average width, and the slope rate (MaarooF and Kareem, 2020). The equation's results were proportional; as the values of these variables increase, the flow rate increases, and vice versa.

Table 3: Expected annual runoff volume of the Hasab watershed.

Parameters	Units	Values
Area	(km ²)	3718.36
Length	(km)	150.80
Width	(km)	28.18
Annual rainfall	(mm)	8.3
Slope rate	(m/km)	2.45
Annual rainfall volume	(billion/m ³)	0.03
Width / Length	(km)	0.18
Expected annual flow	(billion/m ³)	0.001

Data Sources and Processing

An analysis and interpretation of the geomorphometric characteristics of the watershed was conducted utilizing the parameters presented in Table 4. The US Department of Defense provided the geospatial data through the Digital Elevation Model (DEM) (SRTM). Satellite imagery with a spatial resolution of 15 m was used from the US Landsat ETM+8 satellite for 2022. Additionally, the 1:100,000 topographic maps from the General Authority for Survey of Iraq and the 1:250,000 geological and hydrological maps from the Iraqi Geological Survey were used. By applying ArcGIS V.10.8, these data were incorporated into a topological model as raster layers (MaarooF, 2025). In addition to extracting the river drainage network at all levels, the main watershed and sub-watersheds were located and extracted as vector layers (Arosio et al., 2024). Additional software tools for spatial analysis, including Google Earth Pro V.7.1, ArcGIS Earth V.2, Surfer V.10, and Global Mapper V.11, were also utilized. Using a set of geomorphometric parameters, the stage of interpretation and geomorphometric analysis of the features of the river drainage network was advanced following the availability of an integrated geospatial database for the study area (Prasannakumar et al., 2011). Connecting and evaluating the factor, geomorphological process, and stage on the one hand, and forming the drainage network characteristics for a watershed on the other, was accomplished within the framework of geomorphological analysis (MaarooF and Kareem, 2023). Cartographic techniques also clarified the spatial dimensions of the watershed's geomorphometric features (Fig. 4).

Table 4: Geomorphometric parameters of the river drainage network.

Parameters	Symbol	Formula	Description	Reference
Stream orders	(U)	Hierarchical Rank	--	(Strahler, 1957)
Stream length	(L_u)	Length of the streams	--	(Schumm, 1956)
Mean stream length	(L_{sm})	$L_{sm} = L_u / N_u$	L_u = Total length of stream order (U) (km) N_u = Total number of stream orders (U) (km)	(Strahler, 1957)
Bifurcation ratio	(R_b)	$R_b = N_u / (N_u + 1)$	N_u = Total number of stream orders (U) (km) $N_u + 1$ = Total Number of streams of its next order	(Horton, 1945)
Stream frequency	(F_s)	$F_s = N_u / A$	N_u = Total number of stream orders (U) (km) A = Area of the watershed (km ²)	(Horton, 1945)
Drainage density	(D_d)	$D_d = L_u / A$	L_u = Total length of stream order (U) (km) A = Area of the basin (km ²)	(Horton, 1945)
Basin texture	(T)	$T = N_u / P$	N_u = Total number of stream orders (U) (km) P = Perimeter (km)	(Smith, 1950)
Constant of channel maintenance	(M_c)	$M_c = 1/D_d$	D_d = Drainage density	(Schumm, 1956)

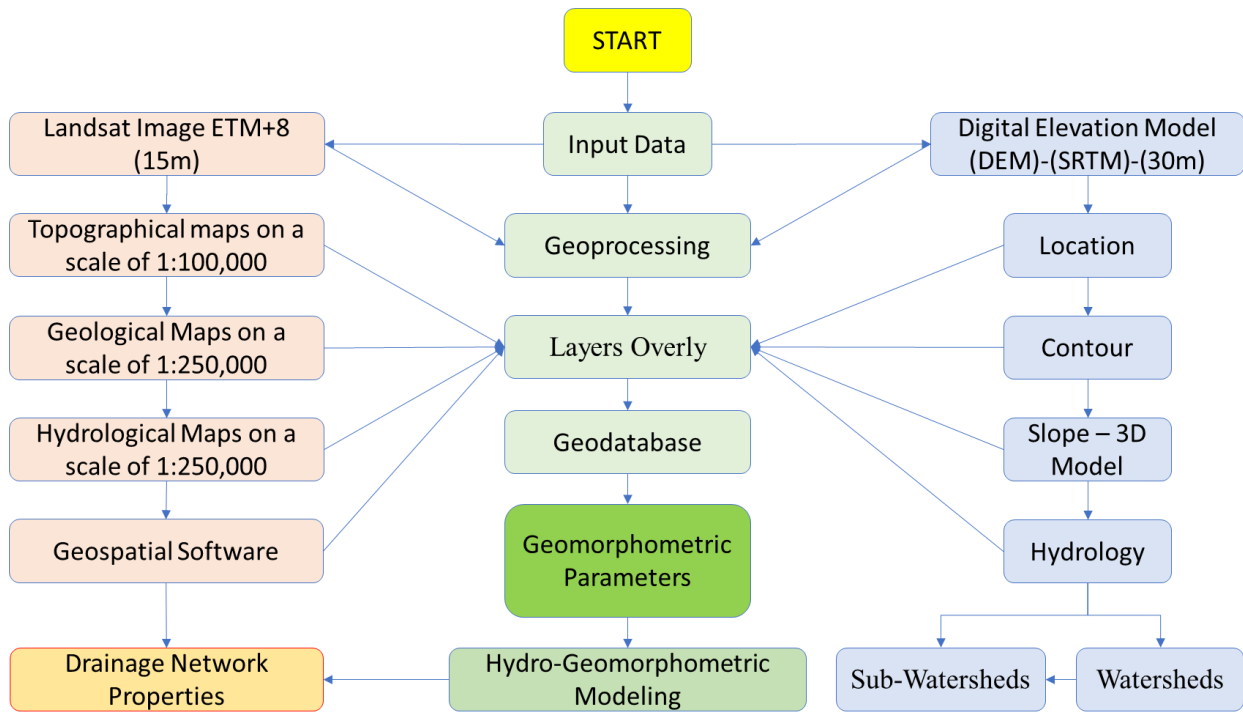


Fig. 9. Flowchart of methodology.

Results and Discussion

Stream orders (U)

The stream orders in the study area are classified according to the method presented by Strahler (1957). According to this method, the watercourses of small streams and torrents that do not meet any tributary from their upper reaches are classified as first-order tributaries. When two first-order streams meet, a second-order stream is formed; when two second-order streams meet, a third-order stream is formed, and so on for the remaining orders. To simplify, a new higher order is formed when the two lower orders meet. The total number of river orders in the Hasab watershed was 6 (Figs. 7 and 8) and Table 4. Their numbers varied from one order to another, according to Horton's law for waterways (Arefin et al., 2020). This confirms that waterways in their orders follow a geometric progression, with the highest limit being the first order, and then they begin to decrease as river orders increase (Mahala, 2020). The first order was 2677, with a percentage of 35.316%, while the second was 1762, with a rate of 23.245%. The third order was 1258, with a percentage of 16.596%; the fourth was 889, with a percentage of 11.728%; and the fifth order was 827, with a percentage of 10.910%. As for the sixth order, it was 167, with a percentage of 2.203%.

There is an apparent variation in the number of stream orders from one basin to another, which is normal, according to Strahler's explanation above (Strahler, 1957). In addition to the direct proportion to the basin area, the larger the area, the greater the number of valleys in the stream orders. Also, the difference in the hardness of the rock formations plays a significant role in the variation of river beds. Rugged rocks resist erosion processes, unlike less complicated stones exposed to these processes, and thus form more beds. In addition to the structural features of the faults and fractures that affect the area through which the streams run. The intensity of rainfall, slopes, the shape of the basin, and the density of vegetation all affect the diversity of stream orders.

Table 5: Stream orders of the Hasab watershed and its sub-watersheds.

Sub-watersheds	Number of stream orders						Total number
	First order	Second order	Third order	Fourth order	Fifth order	Sixth order	
Hasab sub-watershed (1) (HSW1)	1134	502	306	124	15	166	2247
Hasab sub-watershed (2) (HSW2)	327	146	70	93	12	--	648
Hasab sub-watershed (3) (HSW3)	532	502	378	160	525	--	2097
Hasab sub-watershed (4) (HSW4)	684	612	504	512	275	1	2588
The Total	2677	1762	1258	889	827	167	7580
Percentage %	35.316	23.245	16.596	11.728	10.910	2.203	100

Stream length (L_n)

The total stream lengths of the Hasab watershed were 4342.563 km (Table 6). Most of the lengths were located in large watersheds. Hasab sub-watershed (1) (HSW1) accounted for 50.882%, with a total of 2209.585 km. The Hasab sub-watershed (4) (HSW4) occupied the second place, with a percentage of 28.045% and a total length of 1217.902 km. The remaining sub-watersheds represented by Hasab sub-watersheds (2) and (3) were 9.100% and 11.971%, respectively, with a total length of 395.188 km and 519.888 km. At the level of river orders, the total length of the first order reached 2726.788 km, representing 39.554% of the total length of the channels. Meanwhile, the length of the second-order channels reached 1195.247 km, representing 17.338%. As for the remaining orders (third, fourth, fifth, and sixth), their lengths reached 614.265 km, 334.133 km, 137.578 km, and 1885.653 km, respectively, with percentages of 8.910%, 4.846%, 1.995%, and 27.353%.

Table 6: Stream length of the Hasab watershed and its sub-watersheds.

Sub-watersheds	Length of the stream (km)						Total length (km)	%
	First order	Second order	Third order	Fourth order	Fifth order	Sixth order		
Hasab sub-watershed (1) (HSW1)	1105.740	518.718	303.842	114.482	14.243	152.558	2209.585	50.882
Hasab sub-watershed (2) (HSW2)	395.188	171.258	71.635	94.904	9.519	742.507	395.188	9.100
Hasab sub-watershed (3) (HSW3)	519.888	241.693	112.917	34.040	82.046	990.587	519.888	11.971
Hasab sub-watershed (4) (HSW4)	705.972	263.578	125.871	90.707	31.770	0.001	1217.902	28.045
The Total	2726.788	1195.247	614.265	334.133	137.578	1885.653	4342.563	100
Percentage %	39.554	17.338	8.910	4.846	1.995	27.353	100	100

Mean stream length (L_{sm})

According to Horton (1945), there is a direct correlation between the length of the river channel and its order; as the order of the channel increases, the average length increases by three times. In specific streams, the ratio of the lengths of these channels varies due to natural factors and conditions along the stream. Adjusting Horton's law of waterway lengths (Strahler, 1957a) verified that the channel length increases in a constant ratio from one order to another, three times the minor order. Additionally, Strahler (1957) proposed that the average lengths of waterways in successive orders tend to add up to a geometric progression, starting with the first-order average length and increasing by a fixed length ratio.

The average length of an order increases according to a geometric progression, which is consistent with what Horton and Strahler mentioned above. Smaller average stream lengths characterize the lower orders, while larger average stream lengths characterize the higher orders. The average of the first order was 1.048 km, followed by the second order with 0.503 km, while the average of the third order was 0.304 km, and the fourth order was 0.218 km, while the fifth and sixth orders were 0.154 and 1.207 km, respectively. As for the sub-watersheds, the variation is apparent in the average stream length, with the Hasab sub-watershed (1) (HSW1) reaching a value of 2.397 km, representing 36.389%, the highest percentage. The Hasab sub-watershed (4) (HSW4) came in second place with a value of 2.005 km with a percentage of 30.438. The reason for the variation in the length rates of waterways in the study area is attributed to several reasons represented by the diversity in geological formations, which in turn was reflected in the rock diversity in the region, which ranged between hard rocks that are resistant to geomorphological processes and others that are less

hard and have weak resistance to these processes, in addition to the apparent diversity in slope rates and the tremendous and distinct role of these slopes in increasing the speed of running water and thus increasing erosion rates, in addition to the effect of the structural composition represented by cracks, fractures, and joints.

Table 7: Average length of streams for the Hasab watershed and its sub-watersheds.

Sub-watersheds	Average length of streams according to their orders (km)						Average (km)	%
	First order	Second order	Third order	Fourth order	Fifth order	Sixth order		
Hasab sub-watershed (1) (HSW1)	0.975	0.516	0.330	0.230	0.189	0.153	2.397	36.389
Hasab sub-watershed (2) (HSW2)	1.208	0.586	0.341	0.255	0.158	2.549	1.208	18.339
Hasab sub-watershed (3) (HSW3)	0.977	0.481	0.298	0.212	0.156	2.126	0.977	14.832
Hasab sub-watershed (4) (HSW4)	1.032	0.430	0.249	0.177	0.115	0.0002	2.005	30.438
Average	1.048	0.503	0.304	0.218	0.154	1.207	6.587	100
Percentage %	30.502	14.647	8.862	6.359	4.496	35.131	100	100

Bifurcation ratio (R_b)

As proposed by Horton (1945), it is the ratio of the number of streams of one order to the number of streams of the following order. It is calculated by finding the average bifurcation within the basin as a whole. This parameter completes the relationship between river order and stream numbers. (Strahler, 1957a) reported that the average bifurcation ratio is 3.5 for each order and the order above it, meaning that first-order streams are three and a half times larger than second-order streams, and second-order streams are also three and a half times larger than third-order streams, forming an inverse geometric relationship (Strahler, 1954). The bifurcation ratio of the sub-watersheds shows that three-quarters of the first-order streams develop into second-order streams through river capture processes. The first-order streams are more significant in number, length, and bifurcation ratio than the other orders. This indicates a need for a better proportion between the lengths and numbers of lower-order streams and the main streams due to the significant changes these streams experience from water erosion (Niculiță, 2020). This process does not stop at this point; however, it continues transforming second-order streams into third-order streams in a geometric progression expressed by the bifurcation ratio according to Horton's law for the number of streams. The bifurcation ratios of sub-watersheds vary from one sub-watershed to another, according to the geological and climatic data prevailing in the region. The bifurcation ratio of the Hasab sub-watershed (4) (HSW4) is recorded as 10.235, the highest among all sub-watersheds (Table 8). The remaining sub-watersheds varied in their ratios, reaching 2.151, 2.318, and 1.263 for the sub-watersheds (HSW1), (HSW2), and (HSW3), respectively.

Table 8: Bifurcation ratio of the Hasab watershed and its sub-watersheds.

Watersheds	Orders	Number of streams	Bifurcation ratio	Average
Hasab sub-watershed (1) (HSW1)	1	1133	1.128	2.151
	2	1004	1.093	
	3	918	1.850	
	4	496	6.613	
	5	75	0.075	
	6	996	-	
Hasab sub-watershed (2) (HSW2)	1	327	1.119	2.318
	2	292	1.390	
	3	210	0.564	
	4	372	6.2	
	5	60	-	
Hasab sub-watershed (3) (HSW3)	1	532	1.059	1.263
	2	502	1.328	
	3	378	2.362	
	4	160	0.304	
	5	525	-	
Hasab sub-watershed (4) (HSW4)	1	684	1.117	10.235
	2	612	1.214	
	3	504	0.984	
	4	512	1.861	
	5	275	46	
	6	6	-	

Stream frequency (F_s)

This parameter indicates the frequency of streams within drainage basins and quantifies the ratio of drainage channels to basin area. The stream frequency rate suggests the density of watercourses per km² and the dissection in the drainage basin's configuration (Vörös et al., 2022). The rise in the average length of streams correlates with the increase in streams featuring a gentle slope. This can be utilized to discern various hydrological and geomorphological attributes. It illustrates the density of watercourses per square kilometer and their contribution to the severity of basin fragmentation, which escalates with the frequency of rivers per square kilometer (Rai et al., 2018).

The stream frequency of the Hasab watershed was 1.421 km/km² (Table 9), and the sub-watershed rate increased to 2.126 km/km². The sub-watersheds varied in their values, with Hasab sub-watershed (4) (HSW4) reaching 2.958 km/km², the highest value, and Hasab sub-watershed (2) (HSW2) reaching 1.252 km/km², the lowest value. The variation in the river frequency values of the Hasab watershed is related to the local differences in the geological structure and topography of the basin, which control the number of tributaries and streams. In addition to the effect of the spatial characteristics of the sub-watersheds, the large area of sub-watersheds was characterized by low river frequency values, as in the Hasab sub-watershed (1 and 2). While the river frequency values increased in the small area of sub-watersheds, as in the Hasab sub-watershed (3 and 2). Also, adequate rainfall plays a significant role in increasing river frequency, which rises with the slope and prevalence of hard rocks in the basin.

Table 9: Stream frequency, drainage density, basin texture, and constant channel maintenance of the Hasab watershed and its sub-watersheds.

Watersheds	Stream frequency (km/km ²)	Drainage density (km/km ²)	Basin texture (Stream/km)	The constant of channel maintenance (km ² /km)
Hasab watershed	1.421	1.387	11.290	0.720
Hasab sub-watershed (1) (HSW1)	1.403	1.380	5.179	0.724
Hasab sub-watershed (2) (HSW2)	1.252	0.763	4.507	1.309
Hasab sub-watershed (3) (HSW3)	2.889	0.716	9.099	1.396
Hasab sub-watershed (4) (HSW4)	2.958	1.392	11.502	0.718
Average	2.126	1.063	7.571	1.036

Drainage density (D_d)

The results of this parameter reflect climatic conditions, especially rainfall and its quantity, geological characteristics, rock type, permeability, surface and slope, and vegetation density (Resmi, et al., 2019). The drainage density of the Hasab watershed was 1.387 km/km² (Table 9), indicating that every 1 square kilometer of the catchment area has 1.387 square kilometers of stream to drain water. The average drainage density of sub-watersheds was 1.063 km/km². The rest of the sub-watersheds varied from the above average, with the Hasab sub-watershed (4) (HSW4) having the highest value at 1.392 km/km². At the same time, it was 0.716 km/km² for the Hasab sub-watershed (3) (HSW3), which is the lowest value. The low drainage density results from the large basin areas and their location in regions severely affected by erosion and chemical weathering, where Quaternary sediments and dolomite rocks are exposed. In addition to the late erosion stage that the basin is experiencing, characterized by a low slope, the upper levels are dominant due to their relative length and small numbers.

The basins with high drainage density are mainly due to the hardness of their limestone rocks and high clay content, which reduces permeability and increases surface runoff volume at the expense of filtration rate. In addition to the increased slope in these areas, which affected the increase in the numbers of the first order, there was an increase in their lengths at the expense of the rest of the other orders. Partially, the second order also plays a role in this increase, as the abundance of faults contributed to this increase in their lengths at the expense of the other orders. The second-order valleys experience more vertical and retrograde erosion

than lateral erosion because the dry conditions do not allow for the rapid growth of these channels, which acquired most of their characteristics in the Pleistocene era.

Basin texture (T)

It is an indicator to measure the degree of basin discontinuity by river channels. This parameter is affected by several factors, such as climate, geological structure, natural vegetation, and the geomorphological stage through which the valley passes (Fenta et al., 2017). Strahler (1957) found the relationship between the Basin texture rate and the Drainage density. He concluded that basins composed of solid sandstone rocks are characterized by low drainage density values and basin texture rates, as the streams are spaced apart. The Basin texture rate for the Hasab watershed was 11.290 Stream/km (Table 9), an average value according to the scale developed by Morisawa in 1989 (Table 10). The sub-watershed remained static in its values, reaching 11.502 Stream/km for the Hasab sub-watershed (4) (HSW4), which is the highest value. At the same time, it reached 4.507 Stream/km for the Hasab sub-watershed (2) (HSW2), which is the lowest value.

Most of the basins in the study area fall within the medium texture level because the weak rock components, such as sandstone and dolomite, resist water erosion processes. In addition, some of these valleys are located in the advanced stage of the erosion cycle, characterized by flatness. By studying the relationship between basin texture and drainage density, it becomes clear that they are directly proportional, meaning the topographic texture rate increases as drainage density increases. The valleys are characterized by low texture rate and low drainage density values for most of the tributary valleys. The geomorphological stage factor played a significant role in determining the locations of the drainage basins. Low drainage density and low topographic texture rate values characterized small basins that have made little progress in the geomorphological stage. The large valleys that have made good progress in the geomorphological stage, such as the Hasab sub-watershed (4), were characterized by high drainage density values and high topographic texture rate.

Table 10: Classification of watersheds based on topographic texture patterns according to (Morisawa, 1989).

Category	Type	Rate (Stream/km)	Description
1	Coarse	Less than 8	High-permeability rocks with abundant vegetation.
2	medium	8 - 20	High-permeability rocks with abundant vegetation and rainfall.
3	fine	20 - 200	Low-permeability rocks with large amounts of rainfall and little vegetation.
4	very fine	More than 200	Low-permeability rocks with little vegetation and moderate amounts of rainfall.

The constant of channel maintenance (M_c)

This parameter was proposed by (Schumm, 1956) Moreover, indicates the area needed to supply the river network with water. Increasing the value of this parameter indicates that the basin area is larger at the expense of the length of its channels. The constant channel maintenance for the Hasab watershed was 0.720 km²/km (Table 9), which means that every kilometer of stream length is fed by an area estimated at 0.720 km². The values of this parameter varied in the sub-watersheds, where it was 1.396 km²/km for Hasab sub-watershed (3) (HSW3), which is the highest value, and 0.718 km²/km for Hasab sub-watershed (4) (HSW4), which is the lowest value. The above values indicate that the constant of channel maintenance values is close, which suggests the similarity of the climatic conditions that affected the formation of the river networks of the watersheds of the study area, together with the effect of the geological structure conditions that the area experienced. The decrease in the values of this parameter in some sub-watersheds is due to the increase in stream lengths at the expense of the basin area.

Conclusion

Stream order diversity varies across basins and is influenced by factors like basin area, rock formation hardness, structural features, rainfall intensity, slopes, basin shape, and

vegetation density. The length rates of the watercourse in the study area vary due to geological diversity, rock diversity, slope rates, and structural composition, with rugged rocks resisting processes and slopes increasing erosion. The bifurcation ratio of sub-watersheds reveals that first-order streams transition into second-order ones due to river captivity, indicating a need for increased water erosion proportion. The frequency of river values in the Hasab watershed varies based on local geological structure and topography. Large sub-watersheds have low frequencies, while small sub-watersheds experience increased frequencies due to rainfall and slope. The basins have low drainage density due to their large areas and surrounding settlements. This is further characterized by erosion and chemical weathering processes due to the hardness of limestone and the high clay content. Moreover, the high drainage density, reduced permeability, and increased surface runoff volume contribute to this. The first order has become longer, while the second has increased due to the abundance of faults. Second-order valleys experience more vertical and retrograde erosion than lateral erosion due to dry conditions. The basins of the study area are primarily intermediate, with some valleys in the advanced stages of erosion. Basin texture and drainage density are directly proportional, with geomorphological stages influencing basin locations. The constant channel maintenance values suggest similar climatic and geological conditions affecting river network formation in the study area. However, certain sub-watersheds experience decreased values due to increased stream lengths.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Babylon Center for Civilization and Historical Studies at the University of Babylon, the Department of Geography at the University of Misan, Iraq, and the Department of Civil Engineering and Built Environment at Liverpool John Moores University for their scientific support throughout the study.

Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript.

Credit authorship contribution statement

Bashar F. Maarooof: Project administration, Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Supervision, Validation, Visualization, Software, Writing – original draft. **Hashim H. Kareem:** Supervision, Visualization, Methodology, Resources, Validation, Writing – review and editing. **Jaffar H. Al-Zubaydi:** Supervise, data curation, formal analysis, methodology, software, writing – review and editing. **Rayan G. Thannoun:** Visualization, Data curation, Formal analysis, Methodology, Software, Writing – review and editing. **Manal Sh. Al-Kubaisi:** Formal analysis, Methodology, Validation. **Ban Al-Hasani:** Formal analysis, Methodology, Validation. **Mawada Abdellatif:** Formal analysis, Methodology, Validation. **Iacopo Carnacina:** Formal analysis, Methodology, Validation.

References

- Ahmad, S., Shazil, M.S., Hassan, A.F., and Afzal, B., 2024. Geo-spatial assessment of geomorphic characteristics of Swat Valley, Pakistan. *Results in Earth Sciences*, 2, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.rines.2024.100042>
- AL-Hasani, B., Abdellatif, M., Carnacina, I., Harris, C., Maarooof, B.F., and Zubaidi, S.L., 2025c. Rainwater Harvesting Site Assessment Using Geospatial Technologies in a Semi-Arid Region: Toward Water Sustainability. *Water*, 17(15), 2317. <https://doi.org/10.3390/w17152317>

- Al-Abadi, A.M., Pradhan, B. and Shahid, S., 2015. Prediction of groundwater flowing well zone at An-Najif Province, central Iraq using evidential belief functions model and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5564-0>
- Al-Hasani, B., Abdellatif, M., Carnacina, I., Harris, C., Al-Quraishi, A.M.F., and MaarooF, B. F., 2024b. Assessing Climate Change Impacts on Rainfall-Runoff in Northern Iraq: A Case Study of Kirkuk Governorate, a Semi-Arid Region. In *Handbook of Environmental Chemistry (Vol. 136, pp. 93–111)*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/698_2024_1154
- Al-Hasani, B., Abdellatif, M., Carnacina, I., Harris, C., Al-Quraishi, A., MaarooF, B.F., and Zubaidi, S.L., 2024a. Integrated geospatial approach for adaptive rainwater harvesting site selection under the impact of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38(3), 1009–1033. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02611-0>
- Al-Jibouri, B.S.M. and Gayara, A.D., 2015. PALEOCENE SEQUENCE DEVELOPMENT IN THE IRAQI WESTERN DESERT. In *Iraqi Bulletin of Geology and Mining (Vol. 11, Issue 3)*.
- Al-Jiburi, H.K. and Al-Basrawi, N.H., 2009. Hydrogeology of Iraqi Southern Desert. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 2, 77–91.
- Anya, B. and Bhuiyan, C., 2024. Hydro-morphometry of a trans-Himalayan River basin: Spatial variance, inference and significance. *Environmental Challenges*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100890>
- Arefin, R., Mohir, M.M.I., and Alam, J., 2020. Watershed prioritization for soil and water conservation aspect using GIS and remote sensing: PCA-based approach at northern elevated tract Bangladesh. *Applied Water Science*, 10(4). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1176-5>
- Arosio, R., Gafeira, J., De Clippele, L.H., Wheeler, A.J., Huvenne, V.A.I., Sacchetti, F., Conti, L.A., and Lim, A., 2024. CoMMA: A GIS geomorphometry toolbox to map and measure confined landforms. *Geomorphology*, 458. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109227>
- Fenta, A.A., Yasuda, H., Shimizu, K., Haregeweyn, N., and Woldearegay, K., 2017. Quantitative analysis and implications of drainage morphometry of the Agula watershed in the semi-arid northern Ethiopia. *Applied Water Science*, 7(7), 3825–3840. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0534-4>
- Garzon, L.F.L., Johnson, M.F., Mount, N., and Gomez, H., 2023. Exploring the effects of catchment morphometry on overland flow response to extreme rainfall using a 2D hydraulic-hydrological model (IBER). *Journal of Hydrology*, 627. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130405>
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56(3), 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Iacobucci, G., Delchiaro, M., Troiani, F. and Nadali, D., 2024. Land-surface quantitative analysis for mapping and deciphering the construction processes of piedmont alluvial fans in the Anti-Lebanon Mountains. *Geomorphology*, 453. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109148>

- Ilaibi, H. and Al-Sudani, Z., 2019. Estimation of Water Balance in Iraq using Meteorological Data. *International Journal of Recent Engineering Science (IJRES)*, 6(5), 8–13. www.ijresonline.com
- Jassim, R.Z. and Al-Jiburi, B.S., 2009. Stratigraphy of Iraqi Southern Desert. *Iraqi Bull. Geol. Min, Special Issue, 2009: Geology of Iraqi Southern Desert*, pp. 53-76.
- Lindsay, J.B., Creed, I.F., and Beall, F.D., 2004. Drainage basin morphometrics for depression landscapes. *Water Resources Research*, 40(9). <https://doi.org/10.1029/2004WR003322>
- Ma'ala, K.A., 2009. Geomorphology of Iraqi Southern Desert. *Iraqi Bull. Geol. Min, Special Issue, 2009: Geology of Iraqi Southern Desert*, p 77-91.
- MaarooF, B.F., 2022a. Geomorphological Assessment Using Geoinformatics Applications of the Sloping System of Al-Ashaali Drainage Basin at Iraqi Southern Desert. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 22(1), 38–54. <https://doi.org/10.33899/earth.2022.133146.1009>
- MaarooF, B.F., 2022b. Geomorphometric Assessment of The River Drainage Network at Al-Shakak Basin (Iraq). *Journal Of the Geographical Institute Jovan Cvijic Sasa*, 72(1), 1–13. <https://doi.org/10.2298/IJGI2201001M>
- MaarooF, B.F., 2024. Quantitative Analysis Using Geospatial Modeling of Al-Rahimawi Watershed's Shape Properties in The Iraqi Southern Desert. *Bulletin Of the Iraq Natural History Museum*, 18(2), 277–295. <https://doi.org/10.26842/binhm.7.2024.18.2.0277>
- MaarooF, B.F., 2025. Fluvial Landforms Classification Using Geospatial Modeling of Al-Jazeera Eastern Region at Misan Governorate, Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 25(2), 199–218. <https://doi.org/10.33899/earth.2024.146564.1228>
- MaarooF, B.F., Al-Abdan, R.H. and Kareem, H.H., 2021. Geographical Assessment of Natural Resources at Abu-Hadair Drainage Basin in Al-Salman Desert. In *Southern Iraq Indian Journal of Ecology* (Vol. 48, Issue 3).
- MaarooF, B.F. and Kareem, H.H., 2020. Water Erosion of the Slopes of Tayyar Drainage Basin in the Desert of Muthanna in Southern Iraq. In *Indian Journal of Ecology* (Vol. 47, Issue 3).
- MaarooF, B.F. and Kareem, H.H., 2023. Geomorphological Analysis of Chemical Weathering Features in Al-Band Hills Area, Eastern of Misan Governorate, Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 23(1), 67–84. <https://doi.org/10.33899/earth.2023.137382.1034>
- MaarooF, B.F., Omran, M.H., Al-Qaim, F.F., Salman, J.M., Hussain, B.N., Abdellatif, M., Carnacina, I., Al-Hasani, B., Jawad, M.R., and Hussein, W.A., 2023. ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF AL-HILLAH RIVER POLLUTION AT BABIL GOVERNORATE (IRAQ). *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA*, 73(1), 1–16. <https://doi.org/10.2298/IJGI2301001M>
- MaarooF, B., Kareem, H., Al-Zubaydi, J., Thannoun, R., Al-Kubaisi, M., Al-Hasani, B., Abdellatif, M., and Carnacina, I., 2025. Classifying Fluvial Landforms Using Geospatial Modeling in Al-Ashaali Watershed, Iraqi Southern Desert. *Bulletin Of the Iraq Natural History Museum*, 18(3), 739–763. <https://doi.org/10.26842/binhm.7.2025.18.3.0739>
- Mahala, A., 2020. The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. *Applied Water Science*, 10(1). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>
- Minár, J., Drăguț, L., Evans, I.S., Feciskanin, R., Gallay, M., Jenčo, M., and Popov, A., 2024. Physical geomorphometry for elementary land surface segmentation and digital

- geomorphological mapping. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 248). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104631>
- Morisawa, M., 1989. Rivers and valleys of Pennsylvania, revisited. *Geomorphology*, 2(1–3), 1–22. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(89\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0169-555X(89)90003-2)
- MR, R.C.B. and Achyuthan, H., 2019. Quantitative analysis of the drainage and morphometric characteristics of the Palar River basin, Southern Peninsular India; using bAd calculator (bearing azimuth and drainage) and GIS. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 3(4), 295–307. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1563750>
- Newman, D.R., Cockburn, J.M.H., Drăguț, L. and Lindsay, J.B., 2022. Evaluating Scaling Frameworks for Multiscale Geomorphometric Analysis. *Geomatics*, 2(1), 36–51. <https://doi.org/10.3390/geomatics2010003>
- Niculiță, M., 2020. Geomorphometric methods for burial mound recognition and extraction from high-resolution LiDAR DEMs. *Sensors* (Switzerland), 20(4). <https://doi.org/10.3390/s20041192>
- Pinto, F.M., Schuch, F.S., and Brentano, D.M., 2023. Extreme precipitation events and geomorphic adjustments in the riverscape: A case study in Southern Brazil. *Resources, Environment and Sustainability*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2023.100124>
- Prasannakumar, V., Shiny, R., Geetha, N., and Vijith, H., 2011. Applicability of SRTM data for landform characterisation and geomorphometry: A comparison with contour-derived parameters. *International Journal of Digital Earth*, 4(5), 387–401. <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.514010>
- Rai, P.K., Chandel, R.S., Mishra, V.N., and Singh, P., 2018. Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi River basin of India for water resource management based on remote sensing data. *Applied Water Science*, 8(1). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0660-7>
- Şarлак, N. and Mahmood Agha, O.M.A., 2018. Spatial and temporal variations of aridity indices in Iraq. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(1–2), 89–99. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2163-0>
- Sissakian, V.K. and Fouad, S.F.A., 2015. Geological Map of Iraq, Scale 1: 1000 000, 4 Th Edition, 2012. In *Iraqi Bulletin of Geology and Mining* (Vol. 11, Issue 1).
- Smith, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248(9), 655–668. <https://doi.org/10.2475/ajs.248.9.655>
- Stanley A.S., 1956. Evolution Of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Gsa Bulletin*, 67(5), pp. 597–646.
- Strahler, A.N., 1954. Statistical Analysis in Geomorphic Research. *The Journal Of Geology*, 62(1), 1–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1086/626131>
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913–920.
- Vörös, F., van Wyk de Vries, B., Guilbaud, M.N., Görüm, T., Karátson, D., and Székely, B., 2022. DTM-Based Comparative Geomorphometric Analysis of Four Scoria Cone Areas—Suggestions for Additional Approaches. *Remote Sensing*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/rs14236152>
- Zhou, A., Chen, Y., Wilson, J.P., Chen, G., Min, W., and Xu, R., 2023. A multi-terrain feature-based deep convolutional neural network for constructing super-resolution DEMs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103338>



Neural Network and Empirical Models of Mamuniyat Reservoir Permeability Prediction, Murzuq Basin-Libya

Bahia M. Ben Ghawar ^{1*} , Fathi M. Salloum ² , Mahmud A. Al Tarhouni ³ 

^{1,3} Geological Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Tripoli, Tripoli, Libya.

² Earth Sciences Department, Faculty of Science, University of Benghazi, Benghazi, Libya.

Article information

Received: 03- Jan -2025

Revised: 15- Mar -2025

Accepted: 16- May -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Permeability,
Petrophysics,
Murzuq basin,
Well logging,
Routine core analysis,

Correspondence:

Name: Bahia M. Ben Ghawa

Email:

gloriamuftah@yahoo.com

ABSTRACT

Permeability (K) is a dominant property of the production and development planning strategy of oil fields. Thus, deriving and/or defining a suitable reservoir permeability model provides time and cost consumption. Most reservoir characterization studies were associated with the estimation of permeability. In the present work, three approved empirical model cases were employed by Wyllie and Rose (1950), Timur (1968), and Sheffield (1956). These models' worth utilization to predict the permeability property of the Mamuniyat reservoir (Upper Ordovician) in Murzuq Basin, SW Libya. In addition, derivation of the permeability model of the studied reservoir is based on routine core analysis (CCA) data of two oil wells. Also, a neural network (NNW) is applied to assess the prediction permeability, dependent on measurements of well logging data. Whereas validation of the predicted permeability model is taken into consideration when adding two more oil wells, which are producing from the same reservoir. In general, the predicted permeability values of the clastic Mamuniyat reservoir are greater than 0.1 mD and do not exceed 200 mD, with a good effective porosity ($\phi_e \approx 13\%$). However, correlation between the predicted permeability results by the empirical and derive models are satisfactory, with a significant level (P) equal to 0.000. Furthermore, a statistical analysis emphasizes both the Derived and NNW models, which hold a regression coefficient (R^2) close to 1. Moreover, the grain size and irreducible water (S_{wi}) have an impact on the predicted permeability.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60857](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60857), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

نموذج الشبكة العصبية (NNW) والنماذج التجريبية لتقدير نفاذية صخر مكن

مومنيات، حوض مرزق - ليبيا

بهية بن غوار^{1*} ID، فتحي سلوم² ID، محمود الترهوني³ ID

¹ قسم الهندسة الجيولوجية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، ليبيا.

² قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة بنغازي، ليبيا.

المخلص	معلومات الارشفة
تعد النفاذية خاصية فيزيائية تلعب دور اساسي بالخطوة الاستراتيجية لتطوير إنتاجية الحقول النفطية. عليه، اشتقاق او تحديد النموذج الرياضي يوفر الوقت والجهد. اغلب الدراسات المتعلقة بخصائص الصخور الخزنة تتطلب تقدير للنفاذية. بذلك تشمل هذه الدراسة، تطبيق ثلاثة نماذج شائعة الاستخدام منها ويلي وروز (1950) وتايمر (1968) وشيلفد (1956) لتقدير النفاذية لمكن المومنيات النفطية (الاورديشن العلوي) المنتج بحوض مرزق، جنوب غرب ليبيا. بالإضافة الي ذلك اشتقاق نموذج يعتمد على قياسات النفاذية والمسامية من عينات لباب الصخري (CCA) لعدد بئرين. أيضا تطبيق المحاكاة بالشبكة العصبية (NNW) باستخدام بيانات مجسات الابار والقياسات اللبية لتقدير النفاذية. بالتالي تم استخدام بئرين من الابار المنتجة من نفس الخزان النفطي للتحقق من مصداقية النتائج وإمكانية تطبيق النماذج الرياضية المذكورة أعلاه. أظهرت النتائج لتقدير النفاذية لخزان المومنيات الفتاتي انها أكبر من 0.1 ملي دارسي ولم تتجاوز 200 ملي دارسي بمسامية فعالة (\emptyset_e) تقترب من 13%. في حين، بينت المضاهاة قبول نتائج النماذج المطبقة والمشتقة مستوي الموثوقية (P) مساوي 0.000. ايضا عززت المعالجة الإحصائية نتائج كل من النموذج المشتق والمستخرج من المحاكاة NNW بمعاملات الانحدار تقترب من 1. علاوة على ذلك، كشفت دراسة التوزيع الحبيبي لخزان المومنيات وقيم المياه الحبيسة (Swi) بتأثيرها على نتائج تقدير النفاذية.	<p>تاريخ الاستلام: 03-يناير-2025</p> <p>تاريخ المراجعة: 15-مارس-2025</p> <p>تاريخ القبول: 16-مايو-2025</p> <p>تاريخ النشر الإلكتروني: 01-ابريل-2026</p> <p>الكلمات المفتاحية: نفاذية، بتروفيزياء، حوض مرزق، سرود الابار، تحليل عينات لباب صخري،</p> <p>المراسلة: الاسم: بهية بن غوار Email: gloriamuftah@yahoo.com</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60857](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60857), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Permeability definition and validation are very important elements for the productivity of hydrocarbons from the subsurface formations for both conventional and unconventional reservoirs (Frantz et al. 2005). Also, the significant reservoir characterization and stimulation. were normally properties usually directly produced from laboratory measurement of core samples or estimated from wireline data, and in turn compared with the core measures results. The permeability of reservoir rocks is subjected to some depositional processes and diagenesis factors such as pore space characteristics, clay mineral type, and distribution within a rock matrix (Balan, 1995). Hence, measuring the core permeability is mainly limited to the reservoir rocks of the exploration wells, particularly at certain critical depths. Whereas, wireline logs normally continuously measure exploration or developed wells. Therefore, the permeability estimation by the wireline is characterized by saving time and the coring operation cost of laboratory measurements. Accordingly, many studies have been carried out as empirical models to estimate the permeability, as related to petrophysical properties: porosity (\emptyset) and water saturation (Sw). Although worldwide published empirical equations, permeability estimation may or may not fit the measured core values of the same lithology of a reservoir rock (Babadagli

and Al-Salmi 2004). Then, Kozeny (1927) presents the first correlation to predict the permeability, which depends on the Kozeny constant, porosity, and surface area, while Tixier (1949) has used resistivity gradients, which include water saturation and capillary pressure. Also, Tixier correlation has been subjected to modification in 1950 by Wyllie and Rose. In addition, Coates and Dumanoir (1973) had modified the Kozeny, Wyllie, and Rose model to satisfy the zero permeability conditions. Thus, Sheykhinasab et al. (2023) have applied some composite formulations to estimate the permeability of carbonate reservoirs using different techniques, which depend on the well logging data; interval time (ΔT), bulk density (ρ_b), Neutron porosity (ϕ_n), and resistivity.

Consequently, permeability, as an essential physical property of reservoir rock, could be estimated for enhanced oil recovery. However, the Ordovician sequence of the Marzuq basin includes the Mamuniyat reservoir (Upper Ordovician) rock within many oil fields. Thus, the prediction of the permeability property of this reservoir rock has been considered by many techniques. Recently, intelligent tools or machine learning techniques were utilized to estimate the rock permeability of the Hawaz Formation of the D oil field, Murzuq basin (Arwini 2024). Whereas, quality control by Global Hydraulic Element (GHE) of Ordovician Sandstone reservoir (Mamuniyat) of seven oil wells at the northwest Murzuq basin, Libya (Salaheddin, 2010). In addition, the solution seems to influence the horizontal and vertical permeability of the Mamuniyat reservoir (Shararah Oil field) (Mohammed et al. 2002).

Aim of the study

The main aim of this study is to define a suitable applicable model in order to estimate the permeability of uncored reservoir rocks of the Mamuniyat reservoir (Murzuq basin, Libya). Also, the derivation of the permeability model is based on the core data, as well as on available and continuous logs of the reservoir rocks, based on the wireline data of wells 1 and 2. Furthermore, the application of the neural network (NNW) technique to predict the permeability of the studied reservoir, based on the comparison with the above computed permeability. Whereas, the validation process and uncertainty of the permeability models by using test wells 3 and 4, which are producing from the Mamuniyat reservoir. It is sensible to enhance the productive property of reservoir rocks (permeability) with an easier and simpler technique.

Geological background

Murzuq Basin is an intracratonic basin located on the North African platform. It is separated from Al Kufra Basin by the Tibesti Uplift, and narrows towards the south to the Niger. Also, it is bounded from the North by the Grgaf Uplift, and to the west by the Tihemboka Arch (Fig. 1a). Caledonian (late Silurian-early Devonian), Hercynian (end Carboniferous-Permian), and Alpine (early Tertiary) are the main tectonic orogens, which controlled the structural and stratigraphy of the Murzuq basin. Whereas the Hercynian compressional movements show the present-day influences of regional lineaments (NW-SE) of the basin (Hallett and Clark-Lowes 2016). Hence, the Murzuq basin has a maximum thickness of about 400 meters, that comprised a predominantly marine Paleozoic sequence overlain by a continental Mesozoic sequence (Echikh and Sola 2000). Also, the Silurian age includes a principal source rock (Tanezzuft Formation), while the Ordovician age comprises Hawaz and Mamuniyat Formations that are principal reservoir rocks. Sedimentology of the Mamuniyat Formation has been studied in detail by many authors, such as (McDougall and Martin 2000; Shalbak 2015; Fello 2001; Fello and Turner 2004) (Fig. 2). Periglacial and postglacial fluvial and marine environments gave rise to heterogeneity in the Mamuniyat reservoir character. Then, the distribution and thickness of the Mamuniyat reservoir facies of the Murzuq basin are changing, where it may be subdivided into two upward-coarsening cycles based on outcrop studies (Shalbak 2015). The lower part of each cycle is represented by widespread, fine-grained (shaly) marine facies representing a transgressive phase (Aziz 2000). These coarsen upwards into progradational high stand deposits in which facies become increasingly isolated (channelized). However, four oil wells (1, 2, 3,

and 4) are used in this study that are producing from the Mamuniyat Formation with an average thickness of 129 feet. The studied wells are located between latitudes 26° and 27° North and longitudes 12° and 13° East (Fig. 1b).

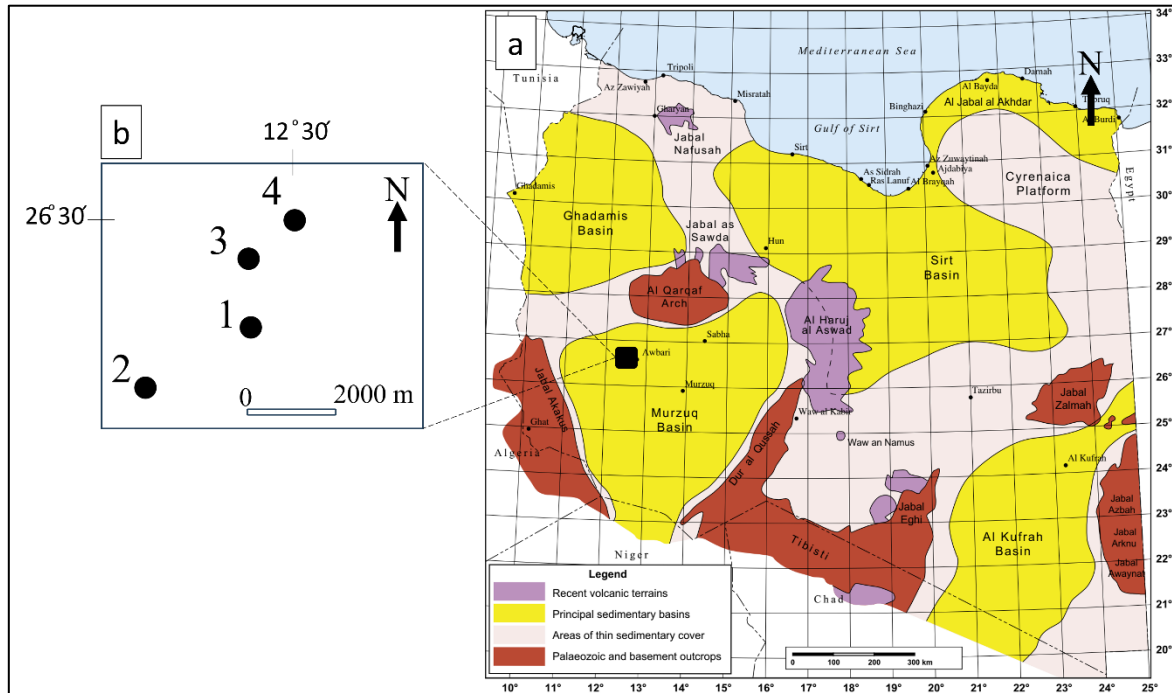


Fig. 1. a) Geology Map of Libya, shows the main sedimentary basins and studied area (after Hallett and Clark-Lowes 2016), and b) Location map of studied wells

Era	Period	Formation	Environment
Ordovician	Upper	Bir	Glacial/periglacial
		Mamuniyat	
	Middle	Melaz Shuqran	Glacio-marine
		Hawaz	Shallow marine
Lower	Ash Shabiyat	Shallow marine	

Fig. 2. General Ordovician Era sequence (after Hallett and Clark-Lowes 2016)

Materials and Methods

The Porosity and water saturation are two main key properties required for several known empirical equations, in order to evaluate the reservoir permeability using well logging data. Hence, neutron porosity (\varnothing_n) is a direct porosity log, while both bulk density (ρ_b) and interval travel time (ΔT) logs are indirect porosity assessments. Equation (1) is applied to compute density porosity (\varnothing_d), and equation (2) (Bateman 2012) for neutron-density porosity as a total porosity of the Mamuniyat reservoir. Whereas, shale content (V_{sh}) of rocks could be estimated by many logs, such as Spontaneous potential (SP), gamma ray (GR), and neutron - density porosity (\varnothing_{nd}) cross plot. Then, equations 3 and 4 (Bateman 2012) process the gamma ray log to compute the volume of shale (V_{sh}). In turn, V_{sh} is utilized to estimate effective porosity (equation 5) (Bateman 2012). Further, the water saturation could be calculated by several formulas, as functions of the resistivity, porosity, Archie parameters, tortuosity (a), cementation factor (m), and saturation exponent (n). These Archie parameters are measured by special core

analysis of reservoir rocks, while they could use general values if the core samples are unavailable. It is worth mentioning that irreducible water saturation (Swi) is the amount of water saturation associated with the hydrocarbon depth interval, and a considerable parameter of the empirical equations of permeability estimation. Then, the following formula (6) is used to calculate the Swi (Asquith and Gibson 1982) of the Mamuniyat reservoir.

$$\phi_d = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_{fl}} \quad \text{Equation (1)}$$

$$\phi_{nd} = \frac{\phi_n + \phi_d}{2} \quad \text{Equation (2)}$$

$$IGR = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad \text{Equation (3)}$$

$$Vsh = 0.33 \times [(2^{2 \times IGR}) - 1] \quad \text{Equation (4)}$$

$$\phi_e = \phi_{nd} - (1 - Vsh \times \phi_{ndsh}) \quad \text{Equation (5)}$$

$$Swirr = \sqrt{\frac{a/\phi^m}{2000}} \quad \text{Equation (6)}$$

Where: ϕ_d = density porosity (fraction), ϕ_{nd} = neutron-density porosity (fraction), ρ_{ma} = matrix density, g/cc (= 2.65 g/cc of Sandstone rock type), ρ_b = measured bulk density log value, g/cc, and ρ_{fl} = density of drilling fluid, g/cc (= 1 g/cc of fresh mud type), ϕ_e = effective porosity, fraction, and Sw = water saturation, fraction.

As mentioned above, the most published permeability models depend on the petrophysical properties (ϕ , Swi, and Vsh). These models were selected because it requires the most recorded oil or gas well logs input data. Hence, the following models 1, 2, and 3 (Equations 7, 8, and 9) Wyllie and Rose (1950), Timur (1968), and Sheffield (1956) (Balan et al. 1995; Hashan et al. 2022) respectively are applied to estimate the Mamuniyat reservoir permeability. Moreover, validation of the suitability of these permeability models is done by measuring core permeability (K Core) of the studied wells, as well as the validation of the computed porosity with the measured core porosity (ϕ_{core}).

$$\text{Model 1, } k^{1/2} = \frac{250 \phi^3}{Swi} \quad \text{Equation (7)}$$

$$\text{Model 2, } K^{1/2} = \frac{100 \cdot \phi^{2.25}}{Swi} \quad \text{Equation (8)}$$

$$\text{Model 3, } K = \frac{1}{2F} \left(\frac{\phi}{1-\phi} \right)^2 \frac{1}{Swi^2} \quad \text{Equation (9)}$$

Where: F = formation factor, a = tortuosity, and m = cementation factor.

The Neural Network (NNW) technique provides a valuable contribution to the oil industry that helps to build reservoir characteristic models (Alkinani et al. 2019). Thus, the NNW technique is utilized to predict the Mamuniyat reservoir permeability by Interactive Petrophysics software (IP), which is based on the well logs data (GR, ϕ_e , PEF, and Kcore).

Consequently, validation of the predicted permeability models requires comparison with the measured permeability (Kcore). Thus, the SPSS program is utilized to determine a significant level (P) and regression coefficient (R^2), while equation (10) is used to calculate the Root Mean Squared Error (RMSE) (Hodson 2022).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Kcore_i - Kpredicted_i)^2} \quad \text{Equation (10)}$$

Results and Discussion

The Assessment of the petrophysical characteristics of the Mamuniyat reservoir rocks demonstrates a decent reservoir quality, whereas the average effective porosity is about 13 %, 13 % of the Vsh, and 13 % of the Swi. Accordingly, the calculated effective porosity (ϕ_e) and irreducible water saturation (Swi) are required for the permeability models (Wyllie and Rose, Timur, and Sheffield). Whereas the routine core analysis (CCA) data of the studied reservoir, wells 1 and 2, were used to derive an empirical equation of the Mamuniyat reservoir permeability. Therefore, Figure (3) displays a cross plot between core permeability (Kcore) and porosity (ϕ_{core}), where equation (11) is a derived model. In addition, well logs (GR, ϕ_e , pb, PEF, and Kcore) are training zones (Neural Training) input data to run the NNW model by the IP software, which also utilizes the same wells 1 and 2. The training passes of the Neural training are 3, the Epochs per Pass are 100, and Cross-validation is 5%. Thus, application of different models (Wyllie and Rose, Timur, Sheffield, derived, and NNW) results have been compared with the measured core permeability (Kcore) as shown in Figures 4 and 5 of wells 1 and 2.

In addition, the GR log and both the calculated effective (ϕ_e) and core (ϕ_{core}) porosities correlation are also displayed within Figures 4 and 5. The figures present a high agreement between the ϕ_{core} and calculated ϕ_e of the clean Mamuniyat reservoir depths with a less than 50 API of the GR. Also, Abukliesh et al. (2024) has determined similar results among the core and calculated porosity. Moreover, the reservoir has permeability values ranging from 0.01 mD to 1000 mD, whereas the porosity does not exceed 18 %.

$$K = 4 \times 10^7 \times \phi^{7.2044}$$

Equation (11)

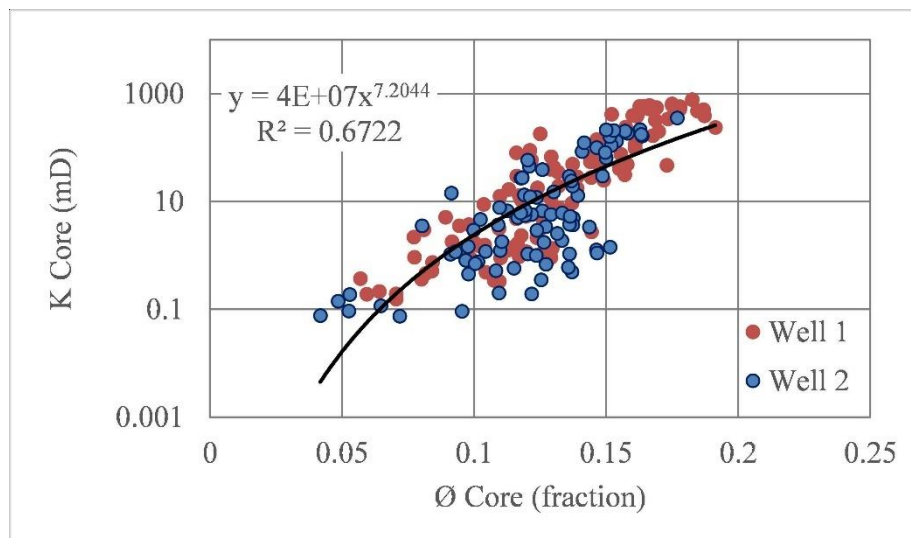


Fig. 3. Core permeability and core porosity cross plot of the studied wells

Generally, the permeability correlation in both Figures 4 and 5 reveals an alteration between approving and conflicting with the measured core permeability (Kcore) and the results of the models. Hence, the Timur, Sheffield, Derived, and NNW models illustrate evidently a greater conformity with the Kcore values than the Wyllie and Rose model. Also, the Derived model is closer to the measured core permeability and Neural Network models than others, with an exception below the depth 4870 feet interval of well 2 (Fig. 5). Moreover, the core and models result values of the permeability illustrate a response to the gamma ray fluctuation as well as the porosity. Then, reducing of the permeability values is followed by a decrease in the porosity and increasing of the GR. Accordingly, the predicted permeability results from the different applied models are acceptable.

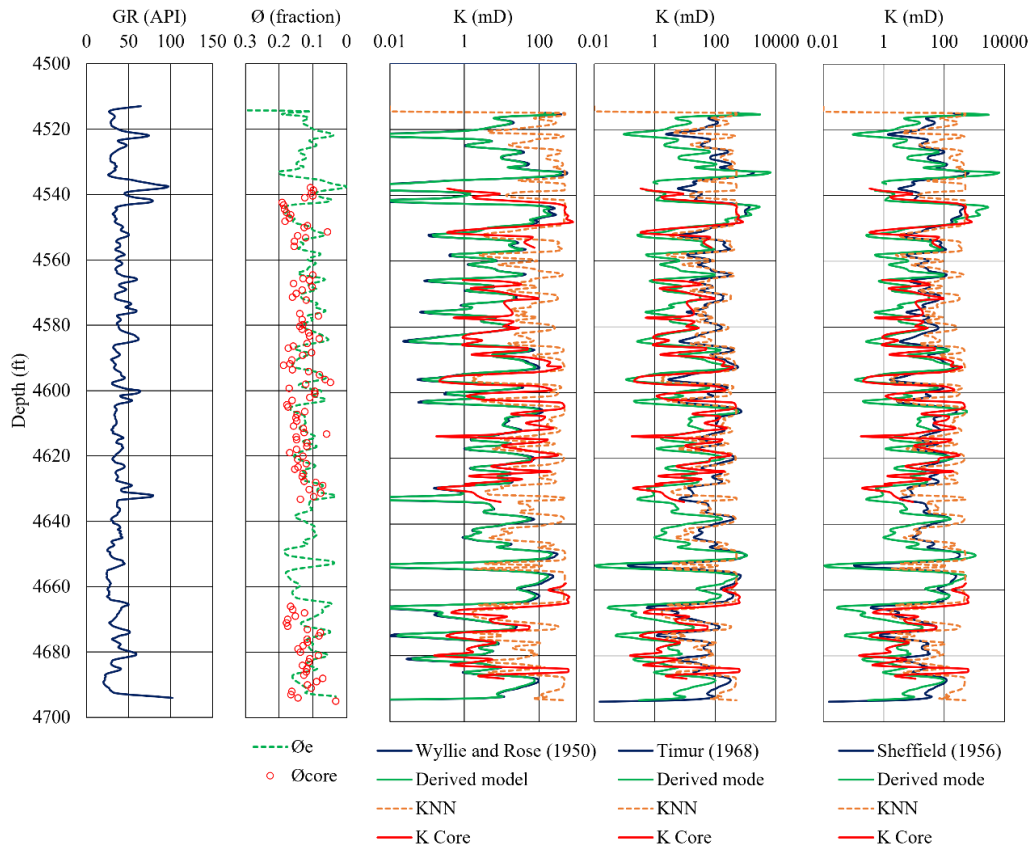


Fig. 4. Correlation of the core and predicted permeabilities by models of the Mamuniyat reservoir, well 1

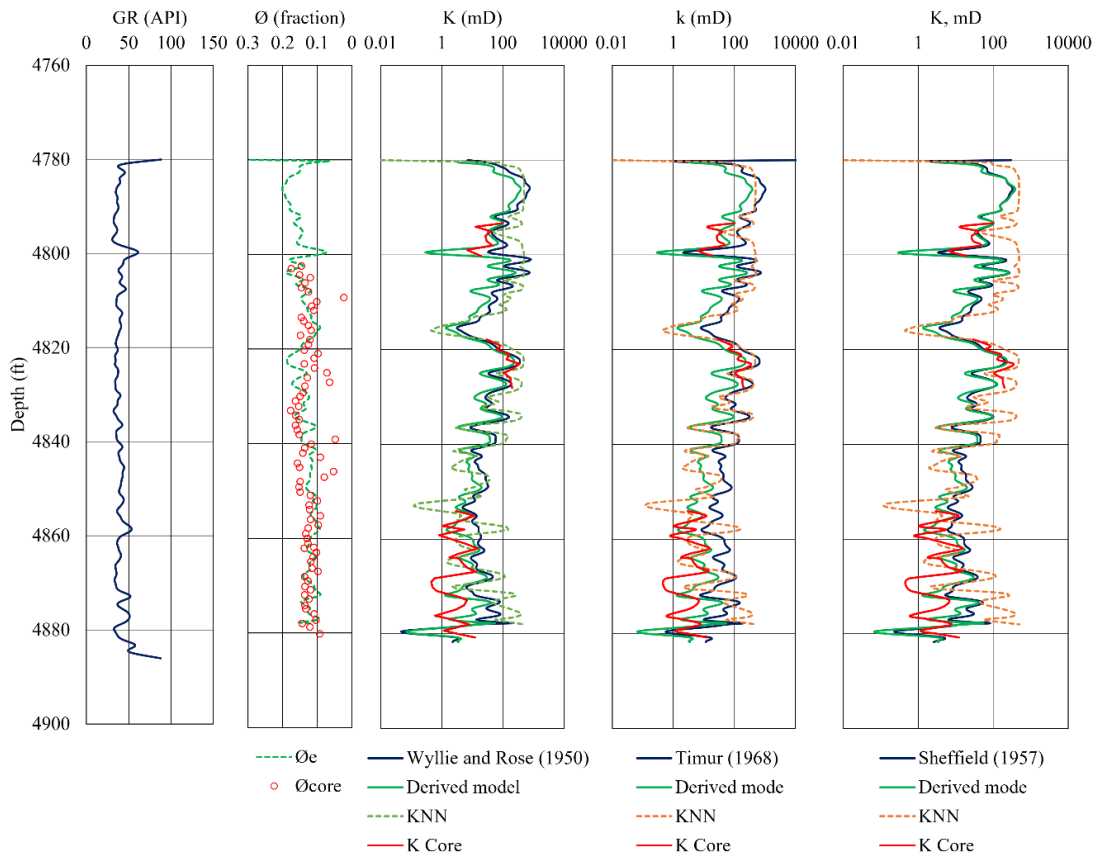


Fig. 5. Correlation of the core and predicted permeabilities by models of the Mamuniyat reservoir, well 2

Validation of models

The permeability estimation is one of the reservoir characterizations, and the suitability of any derived or published empirical models requires a validation process that gives confident application in the location area. Wells 3 and 4 are producing from the Mamuniyat reservoir, and have measured core permeability and porosity. These wells were used as test wells for the Derived, NNW, Wyllie, Rose, Timur, and Sheffield permeability models. Moreover, there are various factors affecting the permeability estimation. Thus, grain size is one of the main dominant factors on pore size, which in turn has an impact on the rock permeability (Pryor 1973). Also, Chilingar (1964) The chart illustrates the different grain size distributions affecting the permeability and porosity relationship. Accordingly, the grain size distribution of wells 3 and 4 is verified to have a similar grain size distribution to both wells 1 and 2, which are used for the Derived and NNW building Models. This process is as important as the permeability assessment validation. Therefore, the core permeability and porosity cross plot of wells 1, 2, 3, and 4 is superimposed with a standard permeability – porosity clastic rock of the Chilingar (1964) chart. Hence, Figure 6 displays plotting and demonstrates the Mamuniyat reservoir that has the same grain size range (coarse to clayey size). Furthermore, Figures 7 and 8 manifest a correlation of the permeability estimation results of the test wells (3 and 4). Well 4 illustrates better agreements between predicted permeability results by models than Well 3. In general, increasing of the gamma ray causes decreasing of the porosity and permeability. The Mamuniyat reservoir has a variety of grain sizes that in turn influence the porosity by increasing or decreasing the permeability. Then, increasing of core permeability (K_{core}) and the NNW estimation below 4785 feet depth interval of well 3 (Fig. 7) is attributed to increasing of porosity, due to fine grain size as illustrates on the Figure 6. On the other hand, decreasing of the K_{core} and NNW results less than the other models of well 4 (Fig. 8), is responding to fine and clayey grain size changing. This noticeable decrease in the permeability also could be referred to increasing of the irreducible water (S_{wi}) of more than 20 % below 4785 feet. Accordingly, increasing of the S_{wi} is related to the grain size, that silty and clayey size associated with the high-water percentage. Therefore, the Mamuniyat reservoir has two coarsening upward cycles.

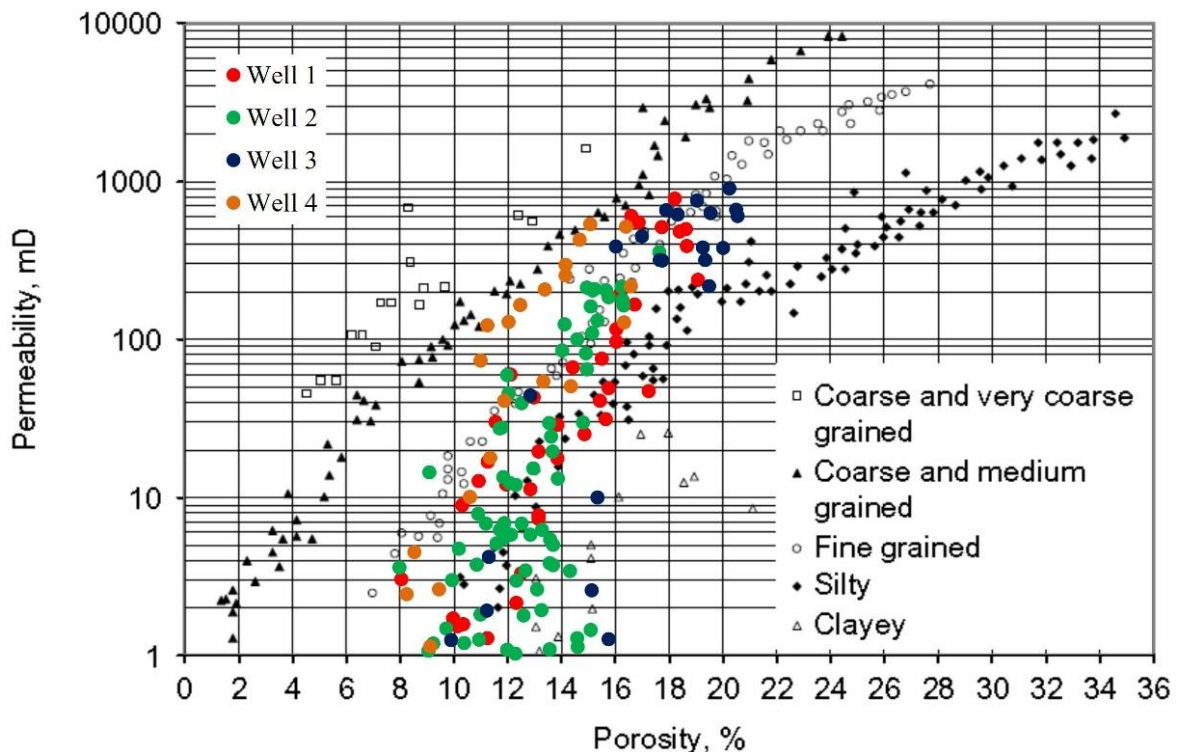


Fig. 6. Core permeability and porosity cross plot of the wells 1, 2, 3, and 4 (after Chilingar 1964)

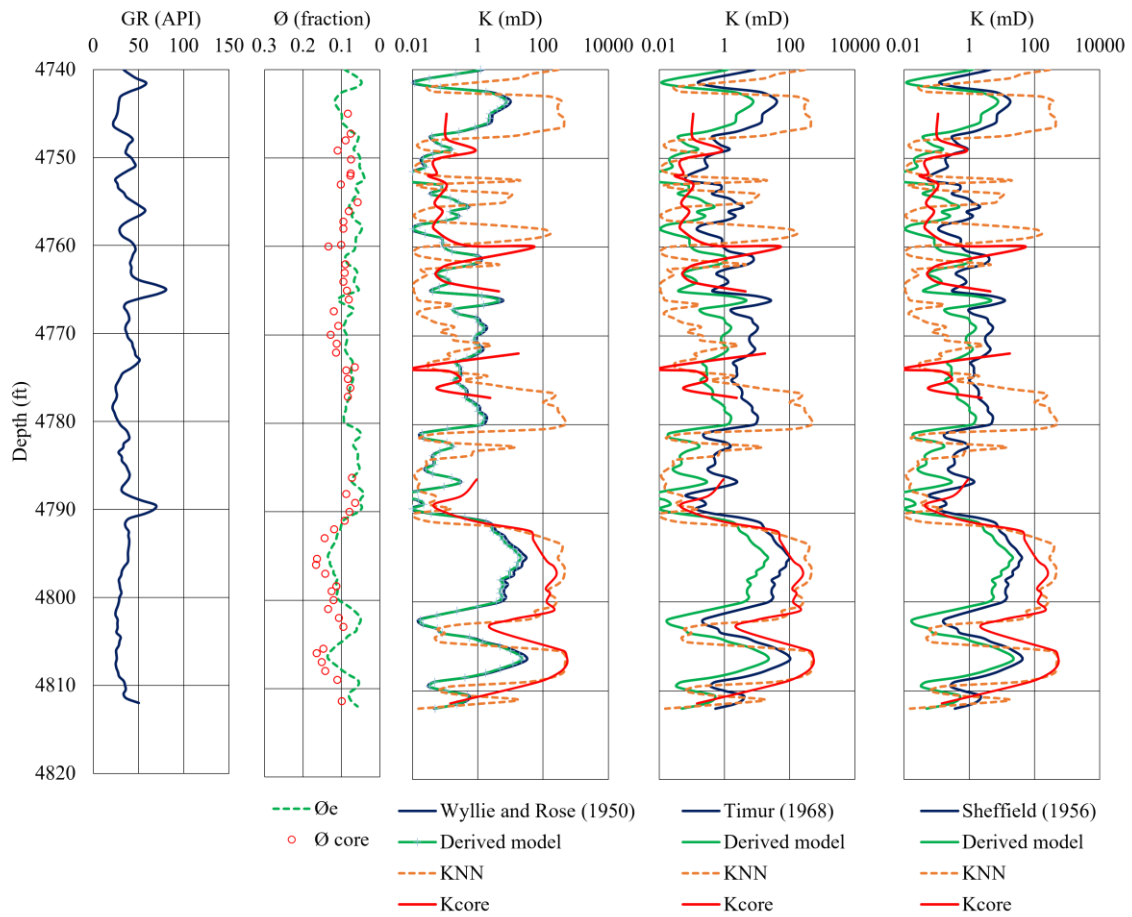


Fig. 7. Correlation between core measured and predicted permeability by the models of well 3

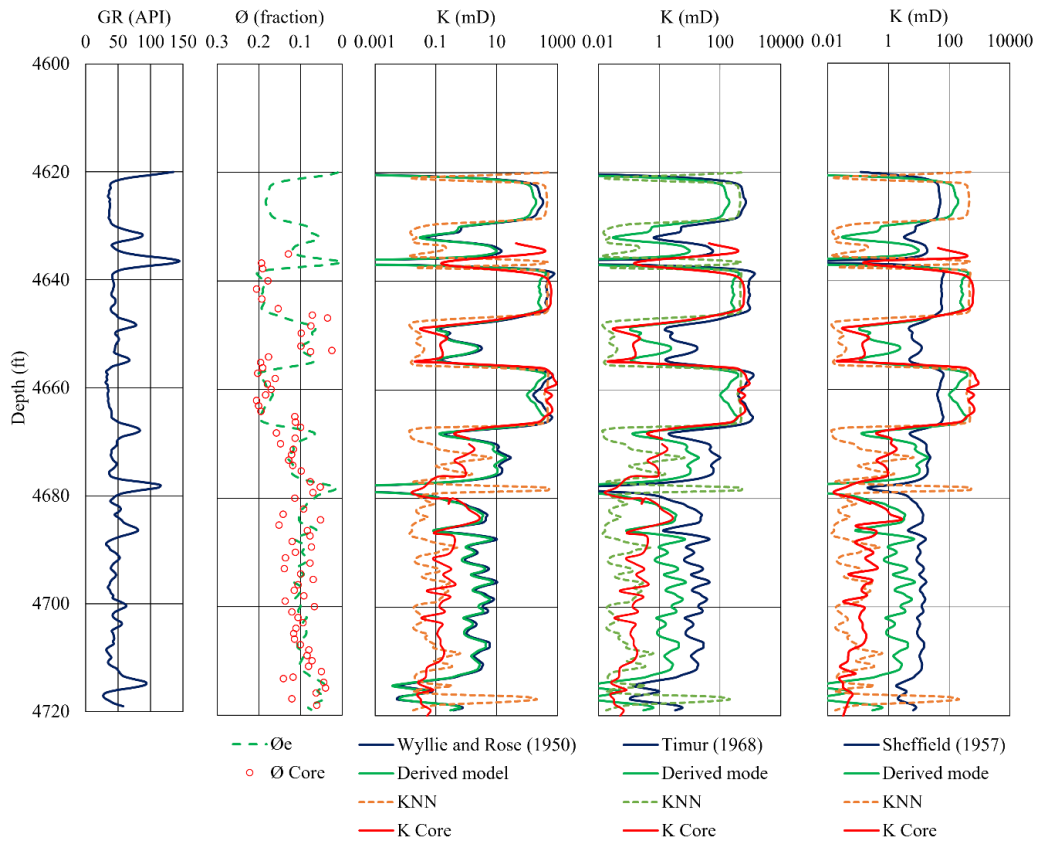


Fig. 8. Comparison of predicted permeability by models with the core permeability of the Mamuniyat reservoir, well 4

The average statistical parameters results of P and RMSE are summarized in Table 1. The significance level (P=0.00) is less than 0.005, which indicates the validity of the predicted permeability. Whereas the RMSE results detect that well 4 has a lower RMSE average result than well 1. Also, the NNW model presents lower values of the RMSE. Moreover, Figure 9 illustrates cross plots between the measured core and predicted permeability of two wells, 1 and 4. These cross plots give the regression coefficient (R^2) higher than 75% of the most models, and it reaches up to 90% of both the Derived and NNW models.

Table 1. Statistical analysis results of the predicted permeability models

Well	Model	MSRE	P
1	Wyllie and Rose (1950)	196.35	.000
	Timur (1968)	155.5	.000
	(Sheffield 1956)	179.01	.000
	Derived	171.5	.000
	Neural Network	103.26	.000
4	Wyllie and Rose (1950)	136.24	.000
	Timur (1968)	215.43	.000
	(Sheffield 1956)	238.81	.000
	Derived	140.72	.000
	Neural Network	42.06	.000

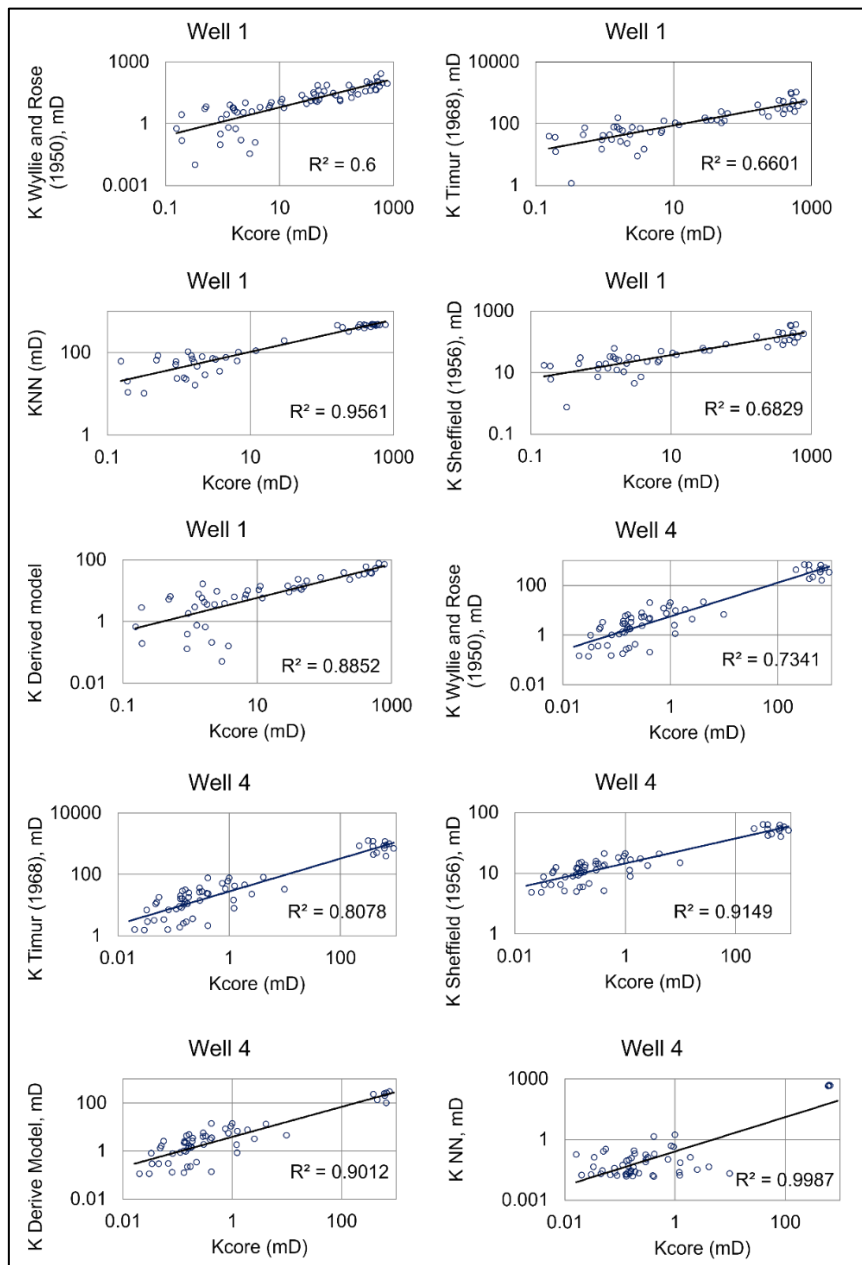


Fig. 9. Core permeability (Kcore) versus predicted permeability by models of wells 1 and 4

Conclusion

The Permeability is considered a principal physical property of reservoir rocks, which has a major contribution to oil field productivity. Hence, the routine core analysis (CCA) provides a good source of both measured permeability and porosity properties at the concerned depths of reservoir rocks, and as a tool to describe the grain size of these rocks as well. Also, measuring the wireline is a suitable tool to evaluate the permeability of the reservoir rocks. The wireline data is a more reliable tool than the core results, as it has a continuous measured depth interval. Hence, measured well logs of the clastic Mamuniyat reservoir are used to predict permeability by approved empirical models: Wyllie and Rose (1950), Timur (1968), and Sheffield (1956). While the routine core analysis (CCA) data is utilized to construct the Derived model, which has a regression coefficient equal to 67%. Also, both the well logs and CCA are processed by the Interactive Petrophysics software (IP) to generate the neural network (NNW) permeability model of the Mamuniyat reservoir. These different models provide acceptable predicted permeability results in four wells (1, 2, 3, and 4). The Wyllie and Rose, Timur, Sheffield, Derived and NNW models illustrate an alteration between approving and conflicting measured core permeability (Kcore). Both Derived and NNW models evidently show a greater conformity with the Kcore values than others, based on the regression coefficient (R^2), equal or close to 90%. In addition, the significance level ($P=0.00$) is less than 0.005, which allows the ability of utilization of these models for this reservoir. It is worth mentioning that these empirical models depend on the effective porosity (ϕ_e) and irreducible water saturation (S_{wi}), which in turn are influenced by the gamma ray (GR) log reading. Thus, all wells demonstrate high agreement between the core porosity and ϕ_e . Generally, petrophysical evaluation of the 129 feet average thickness of the Mamuniyat reservoir demonstrates an average effective porosity (ϕ_e) of about 13 %, 13 % of the Vsh, and 13 % of the S_{wi} . Moreover, based on the Chilingar (1964) chart, the clastic Mamuniyat reservoir among the four oil wells has a grain size distribution ranging from fine to clayey. Also, the increasing of the S_{wi} is related to the silty and clayey grain size of the lower deep intervals of the Mamuniyat reservoir, which emphasizes the reservoir coarsening upward-cycles.

Acknowledgements

The authors express their thanks to the administration of Akakus Oil Operations company for providing the data. Without which, this paper could not have been prepared or published.

Conflict of Interest

All authors certify that they have no affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial or non-financial interest in the subject matter or materials discussed in this manuscript.

References

- Abukliesh, M., Mostafa, T., El Din, Z., and Abdelhafeez, T.H., 2024. Integrating Well Logs and Core Data for Better Reservoir Characterization of Mamuniyat Formation, Murzuq Basin, Libya. *The Iraqi Geological Journal*, Vol. 57, No. 1A, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.46717/igj.57.1A.1ms-2024-1-12>.
- Alkinani, H.H., Al-Hameedi, A.T., Dunn-Norman, S., Flori, R.E., Alsaba, M.T., and Amer, A.S., 2019. Applications of Artificial Neural Networks in the Petroleum Industry: A Review. P. D032S063R002 in SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference. SPE. doi.org/10.2118/195072-MS
- Arwini, S., 2024. Permeability Prediction from Well Log Data Using Artificial Neural Networks: A Case Study of the Hawaz Formation in D-Field, Libya. *The International Journal of Engineering & Information Technology (IJEIT)* 11(2): pp. 72–81. doi: [10.36602/ijeit.v11i2.465](https://doi.org/10.36602/ijeit.v11i2.465).

- Asquith, G.B. and Gibson, C.R., 1982. Basic Relationships of Well Log Interpretation: Chapter I.
- Aziz, A., 2000. Stratigraphy and Hydrocarbon Potential of the Lower Palaeozoic Succession of License NC-115, Murzuq Basin, SW Libya. pp. 349–68 in Geological Exploration in Murzuq Basin, edited by M. A. Sola and D. B. T.-G. E. in M. B. Worsley. Amsterdam: Elsevier. doi.org/10.1016/B978-044450611-5/50018-0
- Babadagli, T. and Al-Salmi, S., 2004. A Review of Permeability-Prediction Methods for Carbonate Reservoirs Using Well-Log Data. SPE Reservoir Evaluation & Engineering 7(02):75–88. doi:[10.2118/87824-PA](https://doi.org/10.2118/87824-PA).
- Balan, B.S. Mohaghegh and Ameri, S., 1995. State-Of-The-Art in Permeability Determination From Well Log Data: Part 1- A Comparative Study, Model Development. P. SPE-30978-MS in SPE Eastern Regional Meeting. SPE. doi.org/10.2118/30978-MS
- Bateman, R.M., 2012. Open hole Log Analysis and Formation Evaluation. 2nd ed. Society of Petroleum Engineers.
- Chilingar, G.V., 1964. Relationship Between Porosity, Permeability, and Grain-Size Distribution of Sands and Sandstones. Pp. 71–75 in Deltaic and Shallow Marine Deposits. Vol. 1, edited by L. M. J. U. B. T.-D. in S. van Straaten. Elsevier. [doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70469-2](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70469-2)
- Coates, G.R. and Dumanoir, J.L., 1973. A New Approach To Improved Log-Derived Permeability. SPWLA 14th Annual Logging Symposium SPWLA-1973-R.
- Echikh, K. and Sola, M.A., 2000. Geology and Hydrocarbon Occurrences in the Murzuq Basin, SW Libya. pp. 175–222 in Geological Exploration in Murzuq Basin. Elsevier.
- Fello, N.M. and Turner, B.R., 2004. Depositional Environments of the Upper Ordovician Mamuniyat Formation, NW Murzuq Basin, Libya. Pp. 166–82 in Proceedings of the 3rd International Symposium on Geophysics, Tanta.
- Fello, N.M., 2001. Depositional Environments, Diagenesis and Reservoir Modelling of Concession NC115, Murzuq Basin, SW Libya. Durham University.
- Frantz, J.H., Williamson, J.R., Sawyer, W.K., Johnston, D., Waters, G., Moore, L.P., MacDonald, R.J., Percy, M., Ganpule, S.V., and March, K.S., 2005. Evaluating Barnett Shale Production Performance Using an Integrated Approach. P. SPE-96917 in the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE. doi.org/10.2118/96917-MS
- Hallett, D. and Daniel C.L., 2016. Petroleum Geology of Libya: Second Edition. SECOND EDI. Amsterdam: Elsevier.
- Hashan, M., Munshi, T.A., Zaman, A., and Jahan, L.N., 2022. Empirical, Statistical, and Connectionist Methods Coupled with Log Variables Ranking for the Prediction of Pore Network Permeability in a Heterogeneous Oil Reservoir. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources 8(4):117. doi: [10.1007/s40948-022-00415-0](https://doi.org/10.1007/s40948-022-00415-0).
- Hodson, T.O., 2022. Root-Mean-Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE): When to Use Them or Not. Geoscientific Model Development 15(14):5481–87. doi: [10.5194/gmd-15-5481-2022](https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022).
- Kozeny, J., 1927. Via the capillary action of water in the soil. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien 136:271.
- McDougall, N. and Martin, M., 2000. Chapter 10 - Facies Models and Sequence Stratigraphy of Upper Ordovician Outcrops in the Murzuq Basin, SW Libya. pp. 223–36 in, edited by M. A. Sola and D. B. T.-G. E. in M. B. Worsley. Amsterdam: Elsevier Science B.V. doi.org/10.1016/B978-044450611-5/50012-X

- Mohammed, K., Corbett, P.W.M., Bowen, D., Gardiner, A.R., and Buckman, J., 2002. Solution Seams in the Mamuniyat Formation, El-Sharara-A Field, SW Libya: Impact on Reservoir Performance. *Journal of Petroleum Geology* 25(3):281–96. doi:[10.1111/j.1747-5457.2002.tb00010.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2002.tb00010.x).
- Pryor, W.A., 1973. Permeability-Porosity Patterns and Variations in Some Holocene Sand Bodies1. *AAPG Bulletin* 57(1):162–189. doi: [10.1306/819A4252-16C5-11D7-8645000102C1865D](https://doi.org/10.1306/819A4252-16C5-11D7-8645000102C1865D).
- Salaheddin, K., Laksana, S., and Schöbel, M., 2010. Rock Typing Approach for Reservoir Characterization of Ordovician Sandstones, Fields Case Study, Concessions NC115/NC186, Murzuq Basin, Libya. North Africa Technical Conference and Exhibition SPE-128825-MS. doi.org/10.2118/128825-MS
- Shalbak, F.A.K., 2015. Palaeozoic Petroleum Systems of the Murzuq Basin, Libya. Universitat de Barcelona.
- Sheffield, M., 1956. Theoretical Study of Factors Affecting Relative Permeability. University of Texas at Austin.
- Sheykhinasab, A., Mohseni, A.A., Bahari, A.B., Naruei, E., Davoodi, S., Aghaz, A., and Mehrad, M., 2023. Prediction of Permeability of Highly Heterogeneous Hydrocarbon Reservoir from Conventional Petrophysical Logs Using Optimized Data-Driven Algorithms. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* 13(2):661–89. doi: [10.1007/s13202-022-01593-z](https://doi.org/10.1007/s13202-022-01593-z).
- Timur, A., 1968. An Investigation of Permeability and Porosity, and Residual Water Saturation Relationship for Sandstone Reservoirs. *The Log Analyst* 9(4):8.
- Tixier, M.P., 1949. Evaluation of Permeability from Electric-Log Resistivity Gradients. *The Oil and Gas Journal* 16:113–33.
- Wyllie, M.R.J. and Rose, W.D., 1950. Some Theoretical Considerations Related to the Quantitative Evaluation of the Physical Characteristics of Reservoir Rock from Electrical Log Data. *Journal of Petroleum Technology* 2(04):105–18.



Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Estimate the Groundwater Quality Index in Telkaif, Iraq

Alaa Jassim Mohammed Al-Taie¹ , Raghed Yousif Ghazal² , Mohammed Hazim Sabry Al-Mashhadany^{3*} 

¹Department of Environmental Sciences, College of Environmental Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq.

^{2,3}Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 25- Nov -2024

Revised: 26- Dec -2024

Accepted: 23- Jan -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Groundwater,
CCME,
ANFIS,
Drinking,
Water quality index,

Correspondence:

Name: Mohammed Hazim
Sabry Al-Mashhadany

[Email](mailto:mohammedhazemm@uomosul.edu.iq)

mohammedhazemm@uomosul.edu.iq

ABSTRACT

In this study, an innovative application of the ANFIS artificial neural network is presented to predict the water quality index based on physicochemical parameters for groundwater in the Telkaif District, Iraq. Samples of water were collected from 16 wells located in the Telkaif district for nine months, from January to September 2024. Measured parameters include total dissolved solids (TDS), magnesium, calcium, sodium, sulfate, and dissolved oxygen. The spatial distribution pattern of all measured parameters is prepared, indicating that most of the parameters are high in the central region of the study area. The groundwater quality index is estimated using ANFIS, and the results show that one well is excellent, 3 wells are good, one is marginal, 2 are moderate, and 9 are poor. The validity of the ANFIS model is confirmed using the Canadian model, which shows (very good R and R²) values, while the RMSE value is (good) (0.97, 0.93, and 8%), respectively. The ANFIS model can be relied upon to assess the quality of drinking water due to its time-saving, ease of application, and accuracy of results.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60814](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60814), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تطبيق نظام الاستدلال العصبي الضبابي التكيفي (ANFIS) لتقدير مؤشر جودة المياه الجوفية في تليف، العراق

الاء جاسم محمد¹، رعيد يوسف غزال²، محمد حازم صبري المشهداني³

¹قسم علوم البيئة، كلية علوم البيئة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

^{2,3}قسم علوم الكيمياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
في هذه الدراسة تم تقديم تطبيق مبتكر لشبكة ANFIS العصبية الاصطناعية للتعقب بمؤشر جودة المياه بناءً على المعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في قضاء تليف، العراق. تم جمع عينات المياه من 16 بئراً تقع في قضاء تليف لمدة تسعة أشهر، من يناير إلى سبتمبر 2024. تضمنت المعايير المقاسة المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) والمغنيسيوم والكالسيوم والصوديوم والكبريتات والأكسجين المذاب (DO). تم إعداد نمط التوزيع المكاني لجميع المعايير المقاسة وأشار إلى أن معظم المعايير كانت مرتفعة في المنطقة الوسطى من منطقة الدراسة. تم تقدير مؤشر جودة المياه الجوفية باستخدام ANFIS، وأظهرت النتائج أن بئراً واحداً كان ممتازاً و 3 آبار كانت جيدة وواحداً كان هامشياً و 2 كانا متوسطين و 9 كانوا سيئين. تم التأكد من صحة نموذج ANFIS باستخدام النموذج الكندي، والذي أظهر قيم R و R ² (جيدة جداً)، بينما كانت قيمة RMSE (جيدة) (0.79 و 0.93 و 8%) على التوالي. يمكن الاعتماد على نموذج ANFIS لتقييم جودة مياه الشرب بسبب توفيره للوقت وسهولة تطبيقه ودقة النتائج.	تاريخ الاستلام: 25- نوفمبر - 2024 تاريخ المراجعة: 26- ديسمبر - 2024 تاريخ القبول: 23- يناير - 2025 تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026
	الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، CCME، ANFIS، الشرب، مؤشر جودة المياه، المراسلة: الاسم: محمد حازم صبري المشهداني
	Email mohammedhazemm@uomosul.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60814](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60814), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Among all natural systems, water resources have been the most exploited since humans first inhabited the earth. Intensive agricultural practices, urbanization, industrialization, and other developmental activities result in the pollution of Earth's natural water systems. Several physicochemical parameters normally describe the quality of groundwater. The variations of these parameters are normally high as a result of differences in pollution nature, seasonal variations, and the extraction of groundwater (Al-Mashhadany, 2021; Jalal et al., 2024). Therefore, it is necessary to monitor the water quality levels for the assessment of pollution levels and associated risks to the environment. The Groundwater Quality Index is an indispensable parameter in assessing and managing groundwater. It is one of the most essential tools in communicating information on water quality to interested citizens and decision-makers (Al-Mashhadany, 2022, Al-hamdany et al., 2024).

Modelling groundwater water quality often includes physicochemical water quality variables. Both physical and chemical variables synergistically impact water quality in interaction with other environmental variables that may produce unpredictable results in relation to the water quality. There are mostly just a few water quality variables that have conventionally been used to assess groundwater health, including dissolved oxygen, total dissolved solids, calcium, magnesium, sodium, and sulfate. Another widely used index is the

water quality index obtained by complicated numerical formulae (Nikoo et al., 2011; Muslim et al., 2024). It involves the application of various water quality variables in computation and their comparison with a standard value for better understanding by nonscientific people, such as policymakers. The water quality index can be assigned classes like good, bad, and worst depending on the levels set by the monitoring bodies of the study region; the values obtained numerically are usually still reduced. This accordingly stipulates why water quality research is significant in the determination, monitoring, and maintenance of the quality of groundwater. Consequently, the number of scientific methodologies aimed at accessing, managing, and understanding water quality data has significantly increased (Oğuz and Ertuğrul, 2023; Saleh et al., 2024).

The Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) is a neuro-fuzzy system that works on a feedforward network to identify fuzzy decision rules with effectiveness in a particular task. Using a set of input/output, the ANFIS constructs a fuzzy inference system, whose membership function parameters are adjusted by the back-propagation algorithm alone or by a hybrid learning method combining the back-propagation algorithm with LMS (Sharifi, et al. 2021). Makes it possible for fuzzy systems to learn from the data they are intended to model. ANFIS also provides a means for the fuzzy modelling process to learn. Knowledge is derived from the dataset, which in turn drives the generation of membership function parameters that optimize performance for the task at hand. The ANFIS is capable of simulating and analyzing the mapping relationship between the input and output data by using a hybrid learning algorithm, which is intended for optimizing the parameters of a specified FIS(Tiwari et al., 2018; Singh et al., 2021).

The use of the ANFIS index to assess groundwater quality for drinking aims to leverage the capabilities of artificial intelligence to analyze complex and overlapping parameters that affect water quality. ANFIS combines the features of neural networks and fuzzy systems, making it a powerful tool for predicting water quality based on various input data. By providing a clear and accurate assessment of water quality, ANFIS helps water resource management agencies make informed decisions about groundwater use(Yaseen et al. 2018, Aghel et al., 2019).

Materials and Methods

Description of the study area

The Telkaif District lies in the North East of Iraq. It belongs to the Nineveh Governorate, occupying an area of 1244 km², located between 36.41175 - 36.71381 E and 36.41175 - 36.71381 N. Telkaif District is surrounded by Dohuk to the north, Erbil to the east, and Mosul to the south. The maximum temperature in Telkaif District during the hottest summer day is about 51 °C, while the minimum on the coldest winter night reaches -3 °C. Average annual precipitation is about 150 mm. Table 1 shows the coordinates of the well sites, and Figure 1 shows the location of the study area within the Telkaif district (Al-Mashhadany, 2021).

Table 1: Coordinates and depth of the studied wells.

Well	E	N	Depth (m)
1	43.20761	36.44563	14.0
2	42.98004	36.42293	17.0
3	43.10933	36.48304	33.0
4	43.02707	36.54123	20.0
5	43.02985	36.41175	50.0
6	43.23772	36.67006	180.0
7	42.93063	36.57815	80.0
8	43.06895	36.65043	130.0
9	43.10982	36.63141	250.0
10	43.10807	36.60583	120.0
11	43.11276	36.71381	160.0
12	43.17267	36.62857	200.0

13	42.76948	36.54257	46.0
14	43.15685	36.43200	22.0
15	42.82117	36.51273	47.0
16	43.00633	36.53132	150.0

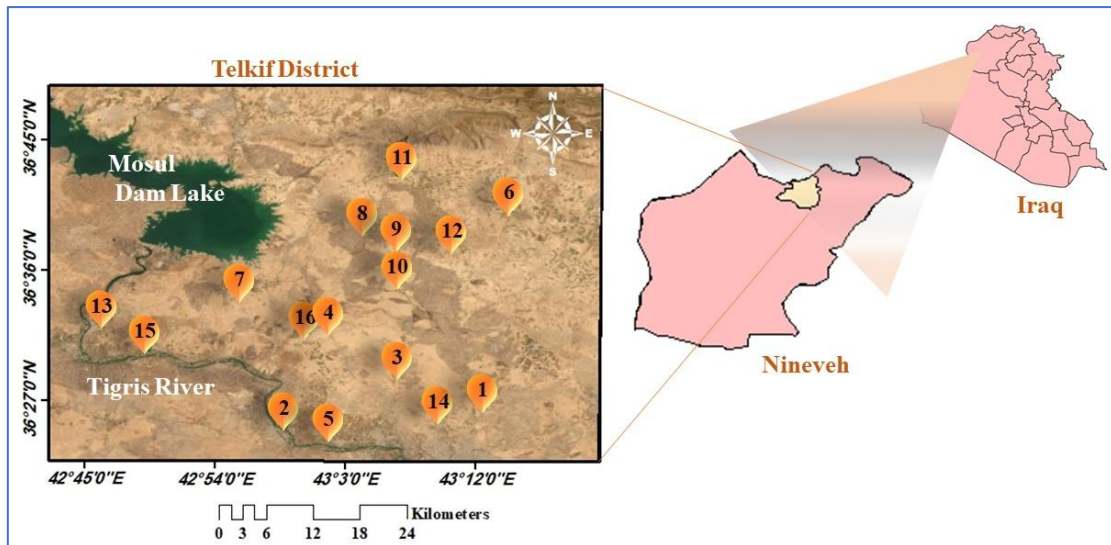


Fig.1. Study area.

Collection and analysis of samples

A total of 144 water samples from well water resources were collected from 16 villages in Telkaif District for the period from January to September 2024. All the villages are coded (1–16). All the samples were collected into polyethylene bottles and then moved at a temperature below 4 °C to water and wastewater laboratories. The parameters are considered as (total dissolved solids, magnesium, calcium, sodium, sulfate ions, and dissolved oxygen (DO)). All the water samples were analyzed using standard methods for the analysis of groundwater (Rice et al. 2017).

CCME (Canadian Council of Ministers of Environment)

This analysis is based on the Canadian water quality. The first extended Quality Index, designed by the Canadian Council of Ministers of Environment, had three criteria defined as failed parameters: failed tests and failed amounts that did not meet the set standard limit, which were expressed as scope, frequency and amplitude, abbreviated as E_1 , E_2 , and E_3 respectively; hence this index categorized the values from the equations below into values between (0 – 100) as follows:

$$\text{Scope} = E_1 = \frac{\text{Number of failed variables}}{\text{Total variables}} \times 100$$

$$\text{Frequency} = E_2 = \frac{\text{Number of failed tests}}{\text{Total tests}} \times 100$$

$$\text{Amplitude} = E_3 = \frac{NSE}{0.01 NSE + 0.01}$$

Where: E_1 is the frequency of standard violations, E_2 is the non-conforming times, and E_3 is the intensity of a standard violation.

This parameter is calculated through excursion analysis. Excursion can be described as a number that designates how often a specific parameter has crossed its standard limit. It is the sum of excursions divided by the total number of tests done.

$$\text{The test amount shall not exceed the guideline} = \text{excursion} = \left(\frac{\text{amount of failed test}}{\text{guideline}} \right) - 1$$

The test amount shall not be less than the guide excursion.

$$\left(\frac{\textit{guidline}}{\textit{amount of faield test}}\right)^{-1}$$

$$NSE = \frac{\sum \textit{excursion}}{\textit{total tests}}$$

Finally, the index is obtained from the Scope, Frequency, Amplitude and NSE. The scaling factor of (1.732) has been incorporated to define the index in terms of a range between (0 and 100). Table 2 shows how the CCME water quality index scale is classified.

$$CCME = 100 - \frac{\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2}}{1.732}$$

Table 2: Water quality index scale classification based on the CCME quantity.

Rating	CCME Values
Poor	0-44
Marginal	45-59
Fair	60-79
Good	80-94
Excellent	95-100

Adaptive Neuro-Fuzzy Logic

The ANFIS is a neuro-fuzzy system that provides neural learning using fuzzy-typed numbers generated from a set of input and output data. The embedded adaptation function in ANFIS renders the neuro-fuzzy capability in this machine learning system. Additionally, the structure of the neuro-fuzzy system resembles that of a multi-layer neural network. Generally, a neuro-fuzzy system has an input and an output layer, in addition to three hidden layers dedicated to the membership function representation, fuzzy rules, normalized rule strengths, and defuzzification. This study is an attempt to develop an ANFIS with the aim of classifying groundwater quality for drinking purposes. The proposed ANFIS model consists of six inputs and one output. A normal ANFIS model consists of five layers, with all the layers having some predefined functions, which preprocess the input through fuzzy logic rules and neural network adaptation (Azad et al. 2018; Al-Sulttani et al., 2021).

Layer 1: Fuzzification Layer

Each node in this layer calculates membership grades for each input with respect to a membership function (MF) like Gaussian or bell-shaped functions.

The membership degree is the degree of membership in fuzzy sets, e.g., Poor and Good.

Layer 2: Rule Layer

Each node represents a fuzzy rule and operates in order to combine membership values. This layer computes the firing strength of each rule, essentially how strongly each rule is activated.

Layer 3: Normalization Layer

The strength of each rule is normalized for each node by dividing every strength by the sum of all the strengths.

The normalized values are used as weights to scale the influence of each rule.

Layer 4 Resulting Layer (Defuzzification)

In Sugeno-type ANFIS, the consequent part is a linear function of the inputs.

Each node computes its output as the product of its normalized firing strength with a linear combination of the inputs.

Output Layer Layer 5

This node puts together the outputs of Layer 4 to produce the final output.

ANFIS uses weighted averaging, summing all rule outputs to obtain a crisp result. The training process is iterative, adjusting membership function parameters to minimize the error between predicted and target outputs.

In general, ANFIS combines the strengths of both neural networks—learning and adaptability—and fuzzy systems—handling uncertainty and interpretability—so the technique could find its place as a rather versatile and powerful one within soft computing, as presented in Figure 2 (Al-Adhaileh *et al.*, 2021; Barzegar *et al.*, 2023).

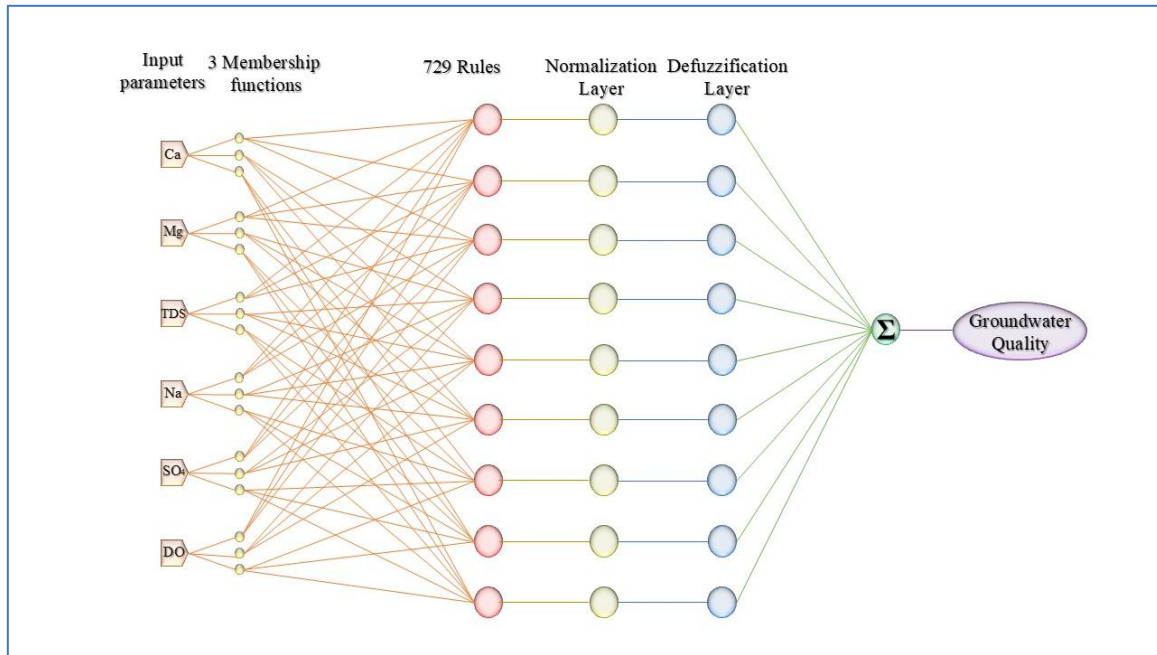


Fig. 2. ANFIS model structure.

It is worth mentioning that for the construction of fuzzy numbers, we tried four types of membership functions: bell-shaped, Gaussian, trapezoidal, and triangular. Consequently, after many trials, the trapezoidal-shaped distributed membership function had the lowest relative error compared with the others. The ANFIS module is trained after a predefined number of training epochs or until a predefined number of minimal errors is reached. Due to time constraints, fewer iterations are used in this investigation than in Figure 3 (Khan and Chai, 2017).

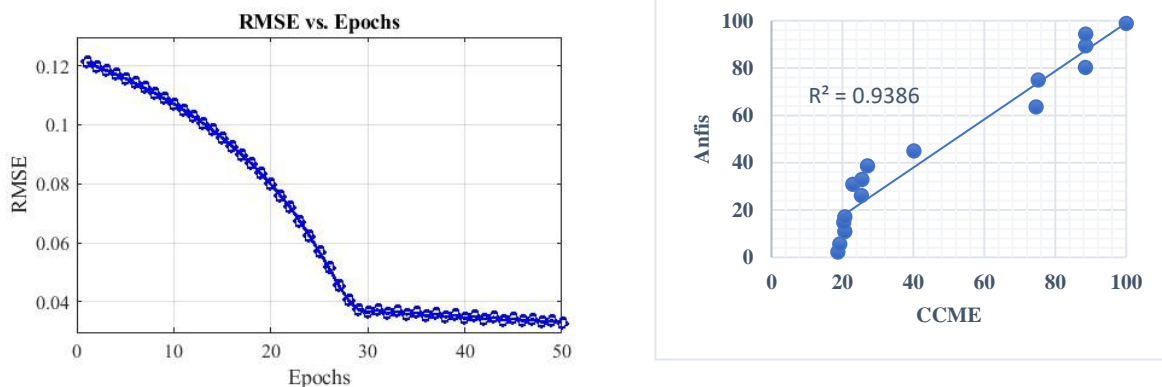


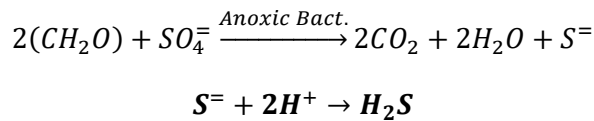
Fig. 3. Variation of RMSE for ANFIS module during training and cross-validation.

Results and Discussion

The TDS results show that the average value ranges between 148 and 3725 mg/l. This difference is due to the nature of the geological units through which the water flows.

Groundwater moving through evaporation-rich layers has a very high percentage of dissolved solids. The figure (6) shows the spatial distribution with 49% of the area of the Telkaif district within the standard specifications for drinking (Cotruvo, 2017).

The subject of dissolved oxygen concentration in aquatic systems is one of the important criteria for determining the quality of water, the degree of its pollution, and its role in mitigating the development of detrimental substances and adverse odors. The results of this study and the data given in Table 3 show that the concentration of dissolved oxygen is between (0.80-8.0) ppm, and 85% of the measured water samples exceeded the permissible limits for drinking. The reason for this decline is the lack of friction with the atmospheric air and also, the comparative increase in the temperature of the water within the wells will lead to an increase in the activity of microorganisms and so decrease the amount of dissolved oxygen in the water, which will establish anaerobic environments, altering the pathways of reactions, and form disagreeable odors and products harmful to the aquatic ecosystem as shown in the following equations (Al-Mashhadany, 2021):



High levels of sulfate (more than 400 ppm) would tend to produce harmful effects on consumers, such as a purgative effect, irritation of the gastrointestinal tract, and a human body catharsis system with excess magnesium ions in the groundwater. 57% of the total samples are above the WHO threshold. At the same time, the spatial distribution shows that 42% of the area of the Telkaif district is over the standard drinking limits (Cotruvo, 2017).

High levels of sodium in drinking water can have negative health effects, especially if they exceed acceptable levels, such as high blood pressure, kidney problems, and fluid retention. It is demonstrated that the sodium content (32%) of the samples collected in the study area is within acceptable parameter levels according to WHO norms. The cause of the comparably high sodium concentrations originates from the dissolution process and weathering of rocks containing sodium salts as water goes through them. The spatial distribution shows that 56% of the area of the Telkaif district is outside the standard drinking limits (Koufman and Johnston, 2012).

The calcium concentration in the study area ranges from 24 to 720 mg/l, and the calcium concentration in 29 groundwater samples is within the standard limits for drinking; on the other hand, the calcium concentration in 115 groundwater samples is above the permissible limit (Table 3). The high calcium concentration is a result of the interaction between rocks and water in limestone terrain. The magnesium concentration in the study area is found to vary between 24 mg/l and 429 mg/l in the study area; altogether, 37 samples have a value higher than 75 mg/l, which is within the acceptable limit according to WHO. This is due to the high concentrations of magnesium in the groundwater and dolomite rocks. The spatial distribution of calcium and magnesium shows that 8% and 7.6% of the area in the Telkaif district are within the standard specifications for drinking respectively (Chycki et al., 2018, Verma et al., 2020).

Table 3: Chemical measurement values of groundwater in the Telkaif district.

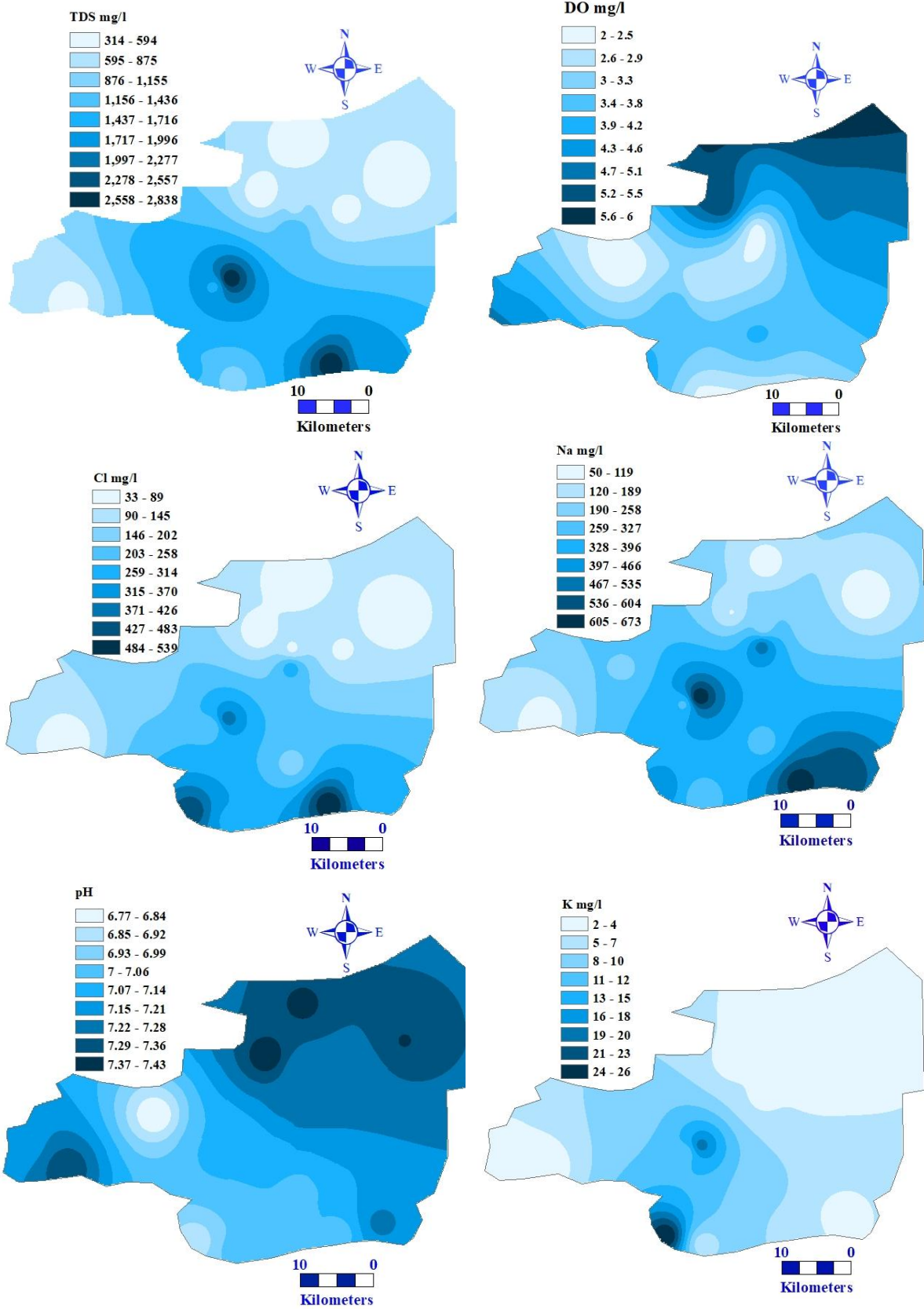
Well		DO	TDS	Ca	Mg	Na	SO ₄
1	min	1.6	1233	80	215	480	574
	max	4.8	2580	240	390	910	1128
	mean	3.3	1771	149	293	643	896
	SD	1.1	448	44	65	154	201
2	min	1.6	1221	112	127	310	263
	max	5.6	1894	344	332	930	926
	mean	3.7	1459	216	221	439	521
	SD	1.7	214	74	61	194	194
3	min	1.2	1335	480	107	160	995
	max	5.6	1814	720	264	560	4869
	mean	3.9	1629	609	169	314	1671

	SD	1.5	168	79	52	133	1224
	min	1.3	2504	280	215	600	1009
	max	4.0	3020	640	429	760	2992
4	mean	2.7	2840	524	357	672	1864
	SD	0.9	184	124	66	64	674
	min	1.2	880	144	68	220	364
	max	4.8	1115	272	181	360	481
5	mean	2.5	1032	210	127	280	421
	SD	1.3	96	44	42	46	46
	min	2.0	308	40	39	20	14
	max	5.6	356	80	78	130	52
6	mean	4.7	326	64	65	52	30
	SD	1.1	17	14	16	42	15
	min	1.2	1320	400	39	210	775
	max	3.2	1690	720	185	370	5187
7	mean	2.0	1561	630	108	260	1759
	SD	0.7	117	109	45	57	1316
	min	2.0	148	24	39	60	11
	max	8.0	350	80	107	210	79
8	mean	5.2	313	48	67	131	34
	SD	2.7	62	21	24	51	21
	min	0.8	705	64	29	150	204
	max	6.4	935	208	205	340	870
9	mean	2.4	818	126	132	228	489
	SD	1.7	89	48	65	56	178
	min	1.6	1245	80	39	430	300
	max	4.0	1590	192	244	640	1195
10	mean	2.3	1385	142	165	519	690
	SD	0.7	93	37	61	69	232
	min	1.6	275	24	49	30	2
	max	7.6	368	80	98	170	16
11	mean	4.6	315	49	75	97	11
	SD	1.7	37	21	18	50	5
	min	1.6	351	40	44	110	9
	max	5.6	714	192	127	530	29
12	mean	4.3	472	71	79	198	16
	SD	1.2	128	48	25	130	8
	min	2.4	554	72	49	170	172
	max	5.1	753	192	117	200	366
13	mean	4.3	666	161	86	187	285
	SD	1.0	70	39	22	9	64
	min	0.8	1734	240	166	590	1098
	max	5.6	3725	512	429	820	5265
14	mean	2.9	2770	397	347	659	2085
	SD	1.6	557	85	81	71	1268
	min	1.6	415	96	24	40	137
	max	5.6	446	160	73	160	323
15	mean	4.2	431	139	50	64	229
	SD	1.4	11	27	18	37	56
	min	1.4	1079	368	102	240	1014
	max	5.6	1832	704	268	680	3610
16	mean	3.5	1652	558	181	358	1682
	SD	1.7	229	132	54	131	769
Standard		5	1000	75	75	200	400

The Pearson correlation coefficient is used to determine the relationship between the parameters given in Table 3. The obtained results are listed in Table 4, which exhibits a positive correlation between TDS and Ca, Mg, Na, and SO₄, while DO is inversely correlated with TDS, Na, SO₄, Mg, and Ca. This is due to the effect of surface tension, as the ions resulting from the dissolution of salts reduce the areas in which oxygen can dissolve. The relationship between the ANFIS model and DO is positive and inversely correlated with TDS and the rest of the ions.

Table 4: Pearson correlation matrix of parameters.

	INFIS	Ca	Mg	TDS	Na	SO ₄	DO
INFIS	1						
Ca	-0.676	1					
Mg	-0.718	0.431	1				
TDS	-0.834	0.659	0.822	1			
Na	-0.770	0.380	0.840	0.857	1		
SO ₄	-0.643	0.691	0.512	0.709	0.502	1	
DO	0.485	-0.223	-0.186	-0.339	-0.289	-0.187	1



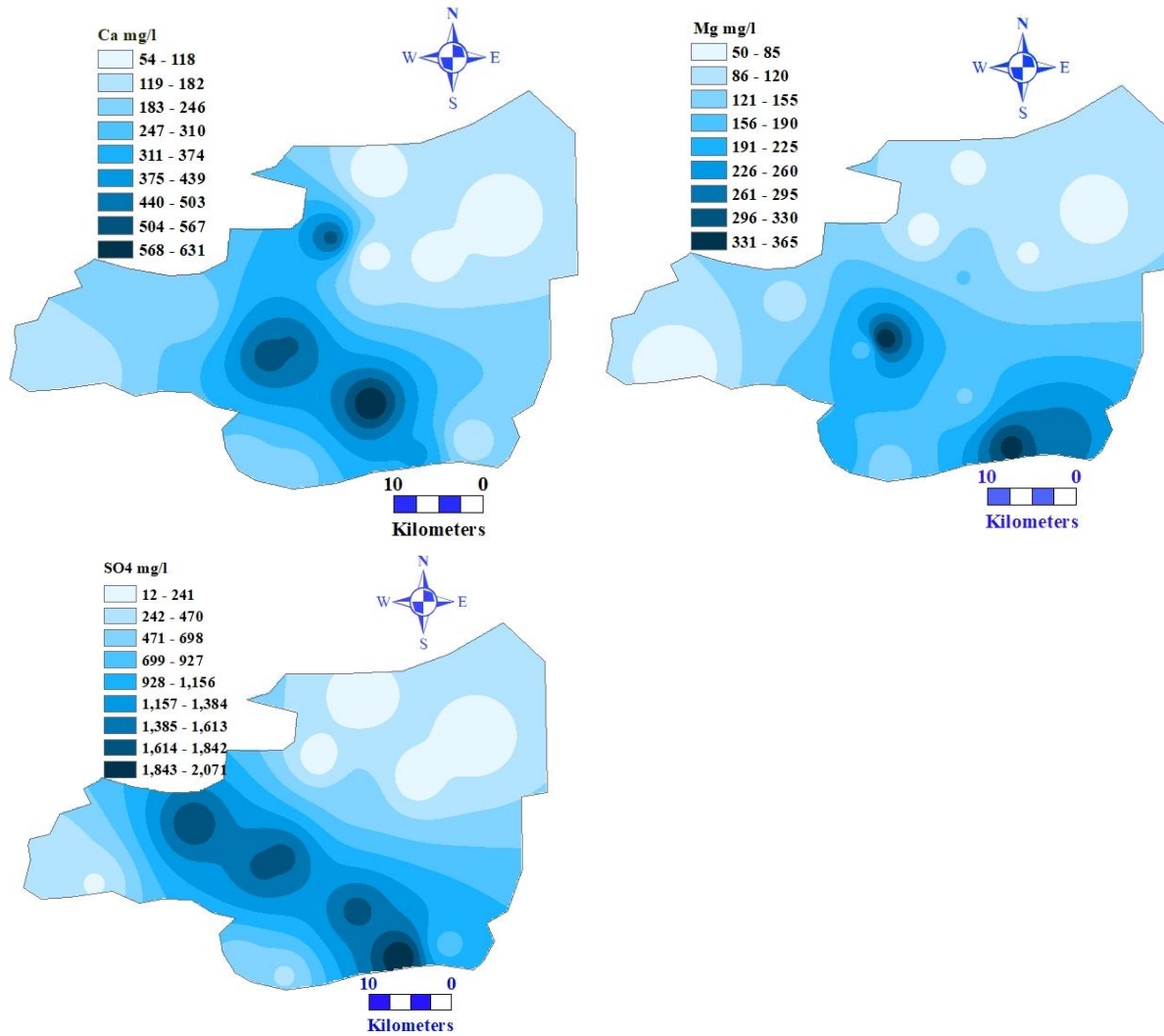


Fig. 4. Spatial distribution of measured values in the study area.

The ANFIS model values range between poor and excellent, and wells No. (1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, and 16) are due to most of the criteria being higher than the standard limits allowed for drinking, while wells No. 6, 8, 11, and 12 are between excellent and good (Table 5 and Figure 4) because most of the parameters are within the standard limits for drinking. Figure (6) shows the spatial distribution of Makhmur district using the ANFIS model that the best place for drinking water quality is in the northern areas of the district, and their percentage is 8% of the district's area.

To verify the validity of the ANFIS model, it is compared with the CCME model. R and R² are shown to be 0.97 and 0.93, respectively, which are very good values, while the RMSE value is 8%, which is good due to the variation in the well value in the study area.

Table 5: ANFIS and CCME values for the study area wells.

Well	ANFIS	Water quality	CCME	Water quality
1	30.9	Poor	23	Poor
2	32.9	Poor	26	Poor
3	10.9	Poor	21	Poor
4	2.21	Poor	19	Poor
5	38.6	Poor	27	Poor
6	89.4	Good	89	Good
7	14.7	Poor	20	Poor
8	98.9	Excellent	100	Excellent
9	44.9	Marginal	40	Poor
10	26.1	Poor	25	Poor
11	94.3	Good	89	Good
12	80.3	Good	89	Good
13	63.6	Fair	75	Fair

14	5.6	Poor	19	Poor
15	75	Fair	75	Fair
16	17.1	Poor	21	Poor

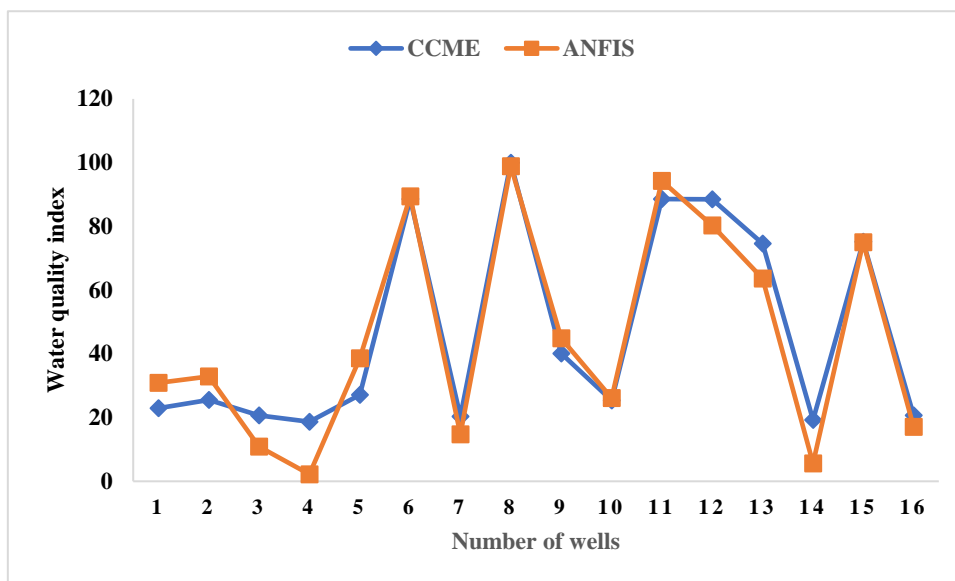


Fig.5. Comparison of measured and predicted WQI by ANFIS.

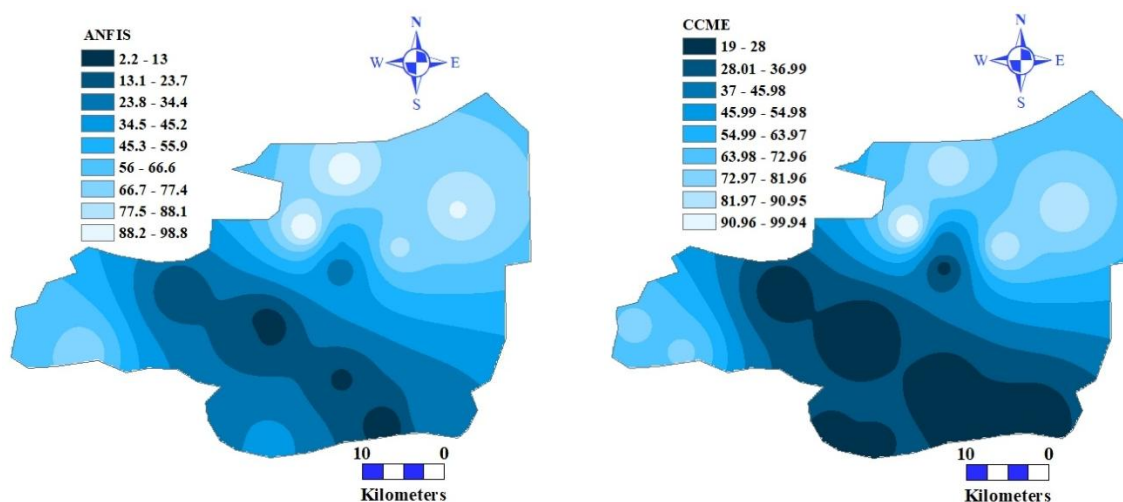


Fig.6. Spatial distribution for CCME and ANFIS values in the study area

Conclusions

The study results indicate that the percentages of calcium, magnesium, TDS, sodium, sulfate, and DO concentrations have increased, respectively, to 80%, 74%, 54%, 59%, 57% and 85% of the total well water samples above the permissible drinking limits. The results of the ANFIS model for classifying drinking water quality show that: 9 wells are poor, 2 are fair, one is marginal, 3 are good, and one is excellent. The spatial distribution of the ANFIS shows that the best possibilities for drinking well water are in the northern part of the study area. The ANFIS model is verified using the Canadian model for the same values of well water, and the values of R and R² are very good, while the RMSE values are good. The ANFIS model can be a good alternative to traditional models for evaluating drinking water quality from wells, as it reduces time, cost, effort, and sometimes computational errors.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to the Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, for its unlimited support of this research.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the publication of this manuscript.

References

- Al-hamdany, A.H., Al-Tawash, B.S., and Ali, H.A., 2024. Evaluation of Groundwater Using the Water Quality Index (WQI) In Hawija Area, Kirkuk, Northern Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science* 24(1), 156-180. <http://10.33899/earth.2023.141207.1097>.
- Aghel, B., Rezaei, A., and Mohadesi, M., 2019. Modeling and prediction of water quality parameters using a hybrid particle swarm optimization–neural fuzzy approach. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16(8): 4823-4832 DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1896-3>.
- Al-Mashhadany, M., 2021. Application of the CCME water quality index to evaluate the groundwater quality of Shouira village for drinking and domestic purposes in Nineveh governorate, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 722. 012029. IOP Publishing. doi 10(17551315): 722 DOI: <http://doi:10.1088/1755-1315/722/1/012029>.
- Al-Mashhadany, M.H.S., 2021. Assessment the suitable of the groundwater for civil uses in Kakhirta Village, Al-Ayadiyah Subdistrict, Iraq. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing DOI: <http://doi:10.1088/1742-6596/1879/2/022060>.
- Al-Mashhadany, M.H.S., 2021. Evaluation of the wells water quality for irrigation in Ein Al-Husaan village, Talafar district, Iraq, *Materials Today: Proceedings* 42: 2756-2761 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.717>.
- Al-Mashhadany, M.H.S., 2022. Valuation of groundwater contaminated with nitrates and human health risks (HHR) between villages of Sinjar and Tal Afar districts, Iraq. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry* 23(2): 277-287 DOI: <http://doi.org/10.21743/pjaec/2022.12.10>.
- Al-Sulttani, A.O., Al-Mukhtar, M., Roomi, A.B., Farooque, A.A., Khedher, K.M., and Yaseen, Z.M., 2021. Proposition of new ensemble data-intelligence models for surface water quality prediction, *IEEE Access* 9: 108527-108541 DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100490>.
- Azad, A., Karami, H., Farzin, S., Saeedian, A., Kashi, H., and Sayyahi, F., 2018. Prediction of water quality parameters using ANFIS optimized by intelligence algorithms (case study: Gorganrood River). *KSCE Journal of Civil Engineering* 22: 2206-2213 DOI: <http://DOI10.1007/s12205-017-1703-6>
- Barzegar, Y., Gorelova, I., Bellini, F., and D'ascenzo, F., 2023. Drinking water quality assessment using a fuzzy inference system method: a case study of Rome (Italy). *International journal of environmental research and public health* 20(15): 6522 DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20156522>.
- Chycki, J., Kurylas, A., Maszczyk, A., Golas, A., and Zajac, A., 2018. Alkaline water improves exercise-induced metabolic acidosis and enhances anaerobic exercise performance in combat sport athletes. *PloS one* 13(11): e0205708 DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205708>.
- Cotruvo, J.A., 2017. 2017 WHO guidelines for drinking water quality: first addendum to the 4th Edition. *Journal-American Water Works Association* 109(7): pp. 44-51.
- Al-Adhaileh M.H. and Waselallah A.F., 2021. Modelling and prediction of water quality by using artificial intelligence. *Sustainability* 13(8): 4259 DOI: <https://doi.org/10.3390/su13084259>.

- Jalal, H., Dara, R., Jirjees, S., Saber, B., and Ismael, P., 2024. Hydrochemical Assessment and Groundwater Quality of Eastern and Western Catchments of Erbil City, Northern Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science* 24(2): 154.150-176.150 DOI: <https://doi.org/10.33899/earth.2023.142687.1132>.
- Khan, Y. and Chai, S., 2017. Ensemble of ANN and ANFIS for water quality prediction and analysis-a data driven approach. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)* 9(2-9): 117-122 DOI, <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/2685>.
- Koufman, J.A. and Johnston, N., 2012. Potential benefits of pH 8.8 alkaline drinking water as an adjunct in the treatment of reflux disease. *Annals of Otolaryngology and Rhinology and Laryngology* 121(7): 431-434 DOI: <https://doi.org/10.1177/000348941212100702>.
- Muslim, R., Al-Owaidi, M., Taha, T., and Kadhim, A., 2024. Temporal Geochemical Changes and Evaluation the Suitability of Groundwater in Badra District in Eastern of Wasit Governorate, Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science* 24(1): 244.240-258.240 DOI: <https://doi.org/10.33899/earth.2023.141771.1110>.
- Nikoo, M.R., Kerachian, R., Malakpour-Estalaki, S., Bashi-Azghadi, S.N., and Azimi-Ghadikolaee, M.M., 2011. A probabilistic water quality index for river water quality assessment: a case study. *Environmental monitoring and assessment* 181: 465-478 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1842-4>.
- Oğuz, A. and Ertuğrul, Ö.F., 2023. A survey on applications of machine learning algorithms in water quality assessment and water supply and management. *Water Supply* 23(2): 895-922 DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2023.033>.
- Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., and Clesceri, L.S., 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater.
- Saleh, H.A., Al-Manmi, D.A., and Sanikhani, H.A., 2024. Hydrogeochemical Evaluation of Groundwater In Sulaymaniyah-Sharazoor Basin, Kurdistan, NE Iraq .*Iraqi National Journal of Earth Science (INJES)* 24(1): 216-243 DOI: <https://doi.org/10.33899/earth.2023.141301.1102>.
- Sharifi, H., Roozbahani, A., and Hashemy Shahdany, S.M., 2021. Evaluating the performance of agricultural water distribution systems using FIS, ANN, and ANFIS intelligent models. *Water Resources Management* 35: 1797-1816 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02810-w>.
- Singh, B., Sihag, P., Singh, V.P., Sepahvand, A., and Singh, K., 2021. Soft computing technique-based prediction of water quality index. *Water Supply* 21(8): 4015-4029 DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.157>.
- Tiwari, S., Babbar, R., and Kaur, G., 2018. Performance evaluation of two ANFIS models for predicting water quality index of river Satluj (India). *Adv Civil Eng* 2018: 1–10.
- Verma, A., Yadav, B.K., and Singh, N., 2020. Hydrochemical monitoring of groundwater quality for drinking and irrigation use in Rapti Basin. *SN Applied Sciences* 2(3): 460 DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2267-5>.
- Yaseen, Z.M., Ramal, M.M., Diop, L., Jaafar, O., Demir, V., and Kisi, O., 2018. Hybrid adaptive neuro-fuzzy models for water quality index estimation. *Water Resources Management* 32: 2227-2245 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1915-7>.



Slope Stability Analysis with Rainfall and Earthquake Effects on Limestone Formations: A Case Study in Gorontalo Outer Ring Road Section, Indonesia

M. N Baruadi¹ , Hendra Pachri^{2*} , Ilham Alimuddin³ 

^{1,2,3} Geological Engineering Department, Hasanuddin University, Gowa, Indonesia.

Article information

Received: 22- Dec-2024

Revised: 01- Feb -2025

Accepted: 17- Mar-2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Slope Stability,

Rainfall,

Earthquake,

Gorontalo.

Correspondence:

Name: Hendra Pachri

Email:

hendrapachri@unhas.ac.id

ABSTRACT

The Gorontalo Outer Ring Road in Indonesia, a national route connecting three regions, is vital for enhancing economic development in the area. However, landslide problems are a significant concern in the Gorontalo region, threatening road safety and infrastructure stability. Landslide mitigation starts with slope stability analysis to provide recommendations for improving slope conditions and preventing landslides. This study aims to assess the Factor of Safety (FoS) values under the combined influence of rainfall and earthquakes at the study location. The methodology employed involves slope stability analysis that incorporates the effects of rainfall and earthquake-induced loads (Kh). Three conditions are analyzed: a condition without rainfall and earthquakes, a condition with rainfall effects, and a condition with earthquake coefficients. Slope stability analysis is carried out using Seep/W and Slope/W from Geostudio 2021 software. The results indicate that under normal conditions (without rainfall and earthquakes), the FoS value is 1.150, while under the influence of rainfall, the FoS value decreases to 0.818, and under the influence of earthquake coefficient, the FoS value becomes 0.746, indicating a significant risk of slope failure. These findings highlight that landslides in the study area are mainly triggered by the effects of rainfall and seismic activity, which significantly weaken the slope stability. On the other hand, the potential for landslides is considerably lower under dry conditions without seismic disturbances. The study underscores the importance of considering both rainfall and earthquake factors in landslide risk assessment and management.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56093](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56093), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تحليل استقرار المنحدر مع تأثير هطول الأمطار والزلازل على تكوينات الحجر الجيري: دراسة حالة في مقطع الطريق الدائري الخارجي في جورونتالو، اندونيسيا

م. ن. بارودي¹ ، هندرا باتشري^{2*} ، إلهام عليمدين³ ،
^{1,2,3} قسم الهندسة الجيولوجية، جامعة حسن الدين، غوا، إندونيسيا.

معلومات الارشفة	الملخص
تاريخ الاستلام: 22-ديسمبر-2024	<p>يعد طريق جورونتالو الدائري الخارجي في اندونيسيا، وهو طريق وطني يربط بين ثلاث مناطق، طريقاً حيوياً لتعزيز التنمية الاقتصادية في المنطقة. ومع ذلك، تشكل مشاكل الانهيارات الأرضية مصدر قلق كبير في منطقة جورونتالو، مما يهدد سلامة الطرق واستقرار البنية التحتية. يبدأ التخفيف من الانهيارات الأرضية بتحليل استقرار المنحدر لتقديم توصيات لتحسين ظروف المنحدر ومنع الانهيارات الأرضية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم قيم عامل الأمان (FoS) تحت التأثير المشترك لهطول الأمطار والزلازل في موقع الدراسة. تتضمن المنهجية المستخدمة تحليل استقرار المنحدر الذي يتضمن تأثيرات هطول الأمطار والأحمال الناجمة عن الزلازل (Kh). تم تحليل ثلاث حالات: حالة بدون هطول الأمطار والزلازل، حالة مع تأثيرات هطول الأمطار، وحالة مع تأثير معاملات الزلازل. تم إجراء تحليل استقرار المنحدر باستخدام Seep/W و Slope/W من برنامج Geostudio 2021. تشير النتائج إلى أنه في ظل الظروف العادية بدون هطول الأمطار والزلازل، تكون قيمة FoS 1.150، بينما انخفضت قيمة FoS إلى 0.818 تحت تأثير هطول الأمطار، وأصبحت 0.746 تحت تأثير معامل الزلازل، مما يشير إلى خطر كبير لانهيار المنحدر. وتسلط هذه النتائج الضوء على أن الانهيارات الأرضية في منطقة الدراسة ناجمة في المقام الأول عن التأثيرات المشتركة لهطول الأمطار والنشاط الزلزالي، مما يضعف بشكل كبير استقرار المنحدر. من ناحية أخرى، فإن احتمالية حدوث الانهيارات الأرضية أقل بكثير في ظل الظروف الجافة دون اضطرابات زلزالية. وتؤكد الدراسة على أهمية مراعاة كل من عوامل هطول الأمطار والزلازل في تقييم مخاطر الانهيارات الأرضية وإدارتها.</p>
تاريخ المراجعة: 01-فبراير-2025	
تاريخ القبول: 17-مارس-2025	
تاريخ النشر الإلكتروني: 01-أبريل-2026	
الكلمات المفتاحية: استقرار المنحدرات، الأمطار، الزلازل، غورونتالو،	
المراسلة: الاسم: هندرا باتشري Email: hendrapachri@unhas.ac.id	

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56093](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56093). ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Gorontalo Outer Ring Road (GORR) is a national road that connects three regions (Gorontalo Regency, Bone Bolango Regency, and Gorontalo City). The purpose of this infrastructure is to improve the economy of the three regions and connect the airport area with the port area. In addition, it reduces traffic in Limboto City and Gorontalo City. This development is considered important and has an impact on the programs of the Gorontalo Provincial Government. The location of the GORR road construction is in Gorontalo Regency, which has a length of about 15.9 km. The topographical conditions of Gorontalo Province make it a challenge in road construction, especially for slope excavation, as geologically the Gorontalo region was originally an active ancient volcanic caldera. The cessation of volcanic activity was caused by the formation of the Gorontalo faults (Pholbud et al., 2012). The formation of these faults has an impact on rock resistance and forms a steep topographic appearance that is prone to landslides.

Many studies on landslides have been conducted in Gorontalo Province. Research on the type and distribution of landslides in the Alo Watershed used field observations and geophysical methods (Lihawa et al., 2015). Bone Bolango Regency is one of the areas where landslides often occur, since the slopes in the area have a high degree of weathering and steep slopes exceeding 40° (Al-Jawadi, 2021). The reconstruction of landslide events and mechanisms at one point of the GORR segment has been carried out by Usman et al. (2018), which helps researchers to determine or identify slopes that have the potential for landslides along this road segment.

In this research, slope stability analysis is conducted at several slope locations on the GORR in the form of the influence of high rainfall and seismic data. Slopes that have the potential for landslides are analyzed for slope stability to obtain the safety factor of the slope. This analysis uses Geostudio Seep/W and Slope/W packages to determine the stability of the slope at the research location.

The research location is along the Gorontalo Outer Ring Road (GORR) planning section of Gorontalo Regency, Gorontalo Province. Gorontalo Regency is geographically bordered by North Gorontalo Regency (north), Boalemo Regency (west), Tomini Bay (south), and Gorontalo City (east). The GORR road section is part of the national road planning project of the Gorontalo National Road Implementation Center. Administratively, the research location is in two sub-districts, namely the Tibawa sub-district and the West Limboto sub-district. The location can be reached by motorized vehicle within about 45 minutes from Gorontalo City.

Based on the geology of the research site, there are three formations, namely the Bilungala Volcano Formation, Clastic Limestone Formation, and Lake Deposits. The Bilungala Volcanic Rocks, dated from the Middle Miocene to Early Late Miocene, consist of volcanic breccia, tuff, and lava. These formations, estimated to be from the Late Pliocene to Pleistocene (Trail et al., 1974, in Bachri and Ratman, 1993), comprise calcarenite, calcirudite, and coral limestone. Additionally, the Pleistocene to Holocene deposits consist of claystone, sandstone, and gravel (Bachri and Ratman, 1993). The research area is within the Clastic Limestone Formation, which is composed of calcarenite, calcirudite, and coral limestone. Calcarenite and calcirudite are white, compact, and contain fossils of algae and mollusks. Coral limestone is white and solid.

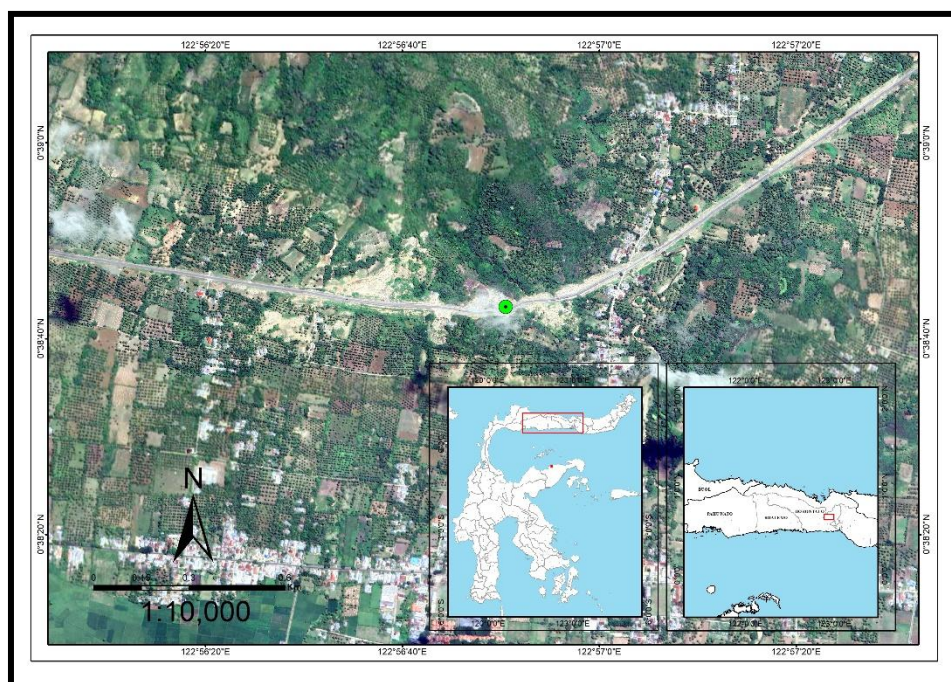


Fig. 1. Study area.

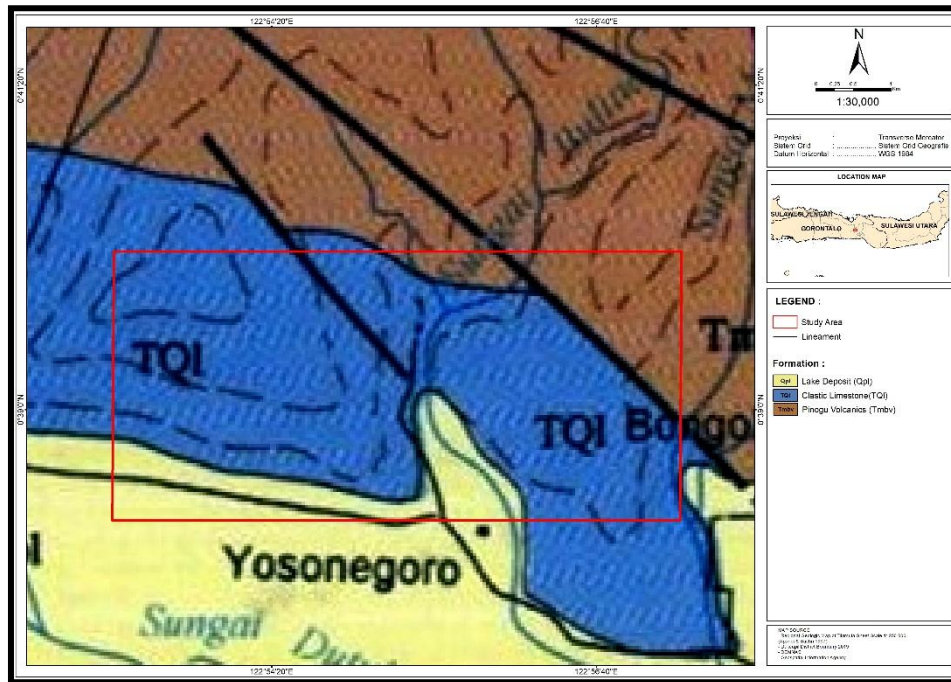


Fig. 2. Geological map of the study area



Fig. 3. Slope condition experiencing landslide in 2019 (A), Slope condition in 2024 (B).

Materials And Methods

The slope stability analysis in this study involves simulations under three conditions: slope stability analysis without the influence of rain and earthquakes, slope stability analysis under the influence of rain, and slope stability analysis under the influence of the seismic load coefficient.

Rainfall Modeling

Rainfall modeling using SEEP/W software is implemented to determine the infiltration conditions at the beginning of the rainfall and the development of infiltration over time. From the modeling, it can be explained how the infiltration process helps in landslide occurrence, how the saturation process takes place starting at the foot of the slope, then heading towards the head of the slope, and how the development is because of low, medium, and high rainfall conditions.

Rain analysis in this study is in the form of rain variations that will design rainfall modeling, where in the rain analysis, the groundwater level data are required to get the condition of the slope during rainfall. In this analysis, the groundwater level at the study site has a height of 2 m, taken from the Sulawesi II River Basin data that occurred in July 2024. To determine

the average rainfall intensity that occurs in the study area, rain measurements are taken from the Limboto Raya Isimu watershed rain measurement station.

Seismic load coefficient

The determination of the earthquake load coefficient in this study is obtained either by using the pseudo-static method or by calculating using the earthquake load value. The calculation of the earthquake load coefficient value is carried out in this study on the earthquake acceleration map within 10 years, based on the 2017 Indonesian earthquake map (PusGen, 2017) (Fig. 4).

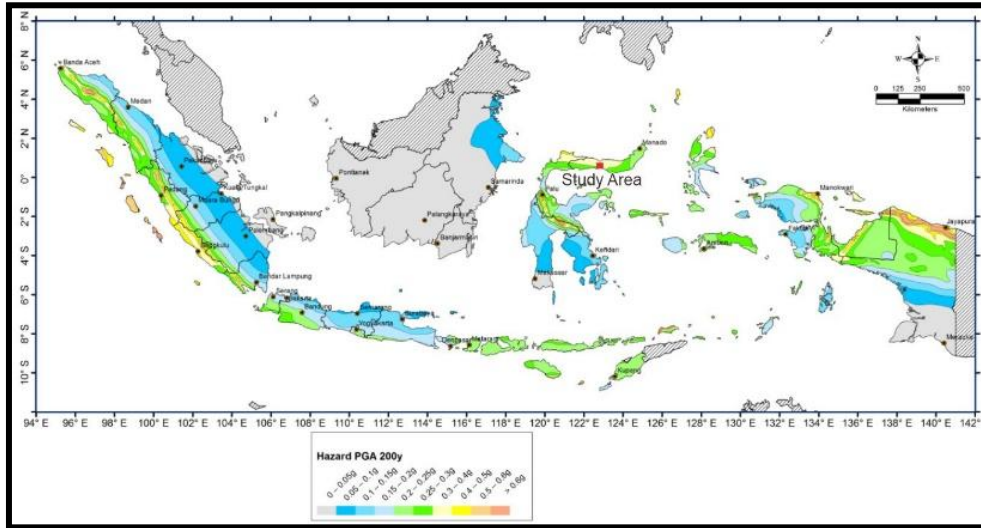


Fig. 4. Indonesia earthquake acceleration map in 2017 (PusGen, 2017).

Table 1: Site classification based on the correlation of field and laboratory soil investigations (Ministry of PUPR, 2015).

Site Class	V_s ($\frac{m}{Second}$)	N _{SPT}	S _u
SA (Hard Rock)	> 1500	N/A	N/A
SB (Rock)	750 to 1500	N/A	N/A
SC (hard, highly compacted soil and soft rock)	350 to 750	>50	≥100
SD (medium soil)	175 to 350	15 to 50	50 to 100
SE (soft soil)	<175	<15	<50

Or, any soil profile containing more than 3 meters of soil with the following characteristics:

1. Plasticity Index (PI) < 20
2. Water content (w) ≥ 40%
3. Undrained shear strength (Su) < 25 kPa

Any soil layer profile that has one or more of the following characteristics:

- Prone to failure or collapse due to seismic loads, such as easily liquefiable soils, highly sensitive clays, or weakly cemented soils.
- Highly organic clay and/or peat (thickness H > 3 m).
- Very high plasticity clay (thickness H > 7.5 m with Plasticity Index (PI) > 75).
- Soft to medium-stiff clay layer with a thickness of H > 35 m and undrained shear strength (Su) < 25 kPa.

SF (specialized soils, which require specific geotechnical investigations and specific response analysis)

Table 2: Amplification factor for PGA (FPGA).

Site classification (according to Table 1)	SPGA				
	PGA ≤ 0.1	PGA = 0.2	PGA = 0.3	PGA = 0.4	PGA ≥ 0.5
Hard Rock (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Rock	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Very Compact Soils and Soft Rocks	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Medium Soil	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Soft Soil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Special Soil	SS	SS	SS	SS	SS

Description: SPGA = The PGA value at the bedrock (SB), referring to the 2010 Indonesia Earthquake Map; SS = A location requiring geotechnical investigation and site-specific response analysis.

The peak acceleration at the ground surface can be obtained using the following equation:

$$PGAM = FPGA \times SPGA \quad (1)$$

Where: *PGAM* = Peak ground acceleration at the surface based on site classification; *FPGA* = Amplification factor for PGA; *SPGA* = PGA value at the bedrock (SB).

The data from the 10-year earthquake acceleration map based on the 2017 earthquake map allows for the calculation of the Peak Ground Acceleration (PGA) used in this study, which is a PGA of 0.3g (PusGen, 2017). The PGA is calculated concerning the specific site and considering amplification factors, including soil classification and site coefficient Factor Peak Ground Acceleration (FPGA). Soil classification is determined based on the average value of N-SPT with calculation procedures according to Indonesian Standards (SNI 8560: 2017). Based on the obtained data from the PUPR office, the soil classification in the study area is a medium soil site class (SD) with an average N-SPT of 36.32. The soil classification is then used to determine the site coefficient (FPGA), and then processed to obtain the earthquake load coefficient (*Kh*) used in the study. The earthquake coefficient (*Kh*) is expressed as:

$$Kh = \frac{PGAM}{g} \quad (2)$$

Where: *PGAM* or Modified peak ground acceleration = adjusted peak ground acceleration considering the influence of site classification, expressed in gal (cm/s²); *Kh* = Seismic load coefficient representing the horizontal seismic load as a fraction of gravitational acceleration; *g* = gravitational acceleration constant equals to 980 cm/s² (PUPR, 2004).

GeoStudio Seep/W and Slope/W

Geostudio Office is a software package for geotechnical and geo-environmental modeling, integrating SLOPE/W, SEEP/W allowing data transfer between modules (Pradana, 2012 in Siregar, 2019). This feature offers flexibility for both academics and professionals to solve various geotechnical and geo-environmental issues, such as landslides, dam construction, and mining. SLOPE/W is specifically designed to calculate the Factor of Safety (FoS) for soil and rock slopes, utilizing limit equilibrium methods (LEM) with different slip surface conditions, pore water pressures, soil properties, and loading conditions (Hidayah et al., 2012 in Siregar, 2019). Geostudio SLOPE/W 2018 has been widely applied in slope stability analysis, particularly using Slope/W and Seep/W. Essential soil parameters for input include cohesion, unit weight, and shear strength angle. The calculation process in GEOSLOPE/W follows the limit equilibrium method (LEM) by dividing the soil mass into slices, evaluating shear strength against driving forces.

Slope Stability Modelling

The limit equilibrium method (LEM) is used in slope stability modeling to determine the factor of safety (FoS) in landslide-prone areas (Geo-Slope International Ltd, 2021). One of the methods in LEM is the wedge method, which is applied to inhomogeneous soils and seepage flow in soils with irregular characteristics. FoS is defined as the ratio of the resisting moment to the collapse-causing moment. A simplified Bishop's method is used to calculate the forces around the soil wedge plane, resulting in getting FoS values close to field conditions (Liong and Herman, 2012).

FoS values can also be approximated through moment and force balance-based models (Geo-Slope International Ltd, 2002). The calculation of FoS is done through slope stability modeling using the GeoStudio-Slope/W program, which allows modeling of slope stability in different soil types, complex stratigraphy, landslide surface planes, and pore water pressure conditions (Geoslope Office, 2021). The slope geometry is based on a 2D soil model for slope stability analysis. In this analysis, Bishop's method is simplified by adding necessary parameters as shown in the following equation.

$$FoS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' b_i + (w_n a - ub) \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha + \sum_{n=1}^{n=p} KhW} \quad (3)$$

Where: FoS = the factor of safety; W_n = the n -th sectional weight (kN); c' = the effective soil cohesion (kN/m³); ϕ = the internal friction angle ($^\circ$); u = the pore water pressure; Kh = the seismic coefficient.

The results of this analysis are the distribution of potential sliding plane surfaces and the distribution of slope Factor of Safety (FoS) values for the study area in a 2D model. The analysis specifically focuses on rainfall and earthquake conditions.

The slope stability analysis carried out in this simulation is based on the state of safety factor (FoS) value analysis. This simulation illustrates the shape of the slope that has a slope height of 60 m and a slope of 56 $^\circ$. The slope length is 73 m (Fig. 5).

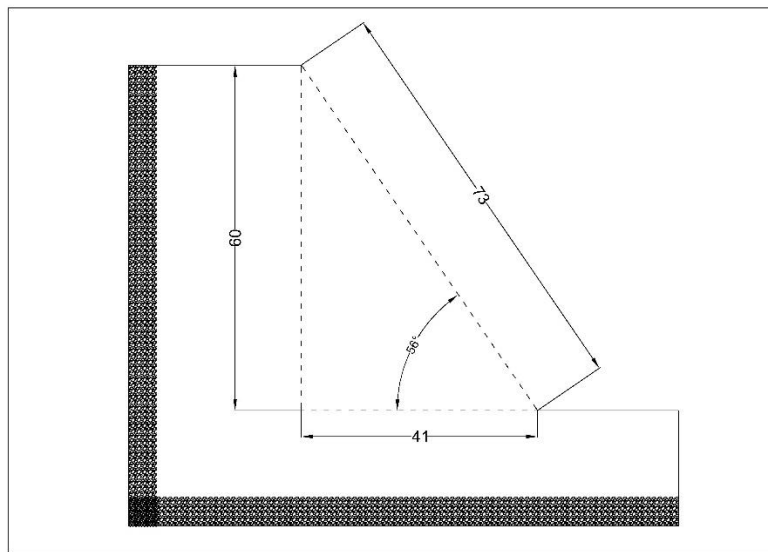


Fig. 5. Slope geometry in the study area.

Results

Mechanical soil properties

The soil parameters used in the analysis include specific unit weight (γ), cohesion (c), inner friction angle (u), soil permeability (k), and moisture content (%) obtained through soil sampling at the research site and further processed using soil mechanics testing at the civil laboratory of Hasanuddin University.

The slope stability analysis in this study is conducted using modeling with the assistance of Geostudio 2021 software. To determine and calculate the Factor of Safety (FoS) of the slope, this study applied the Limit Equilibrium Method (LEM) based on the Morgenstern and Price method (1965). The slope stability modeling in this research includes three scenarios: conditions without the influence of rainfall and earthquakes, conditions with the influence of rainfall, and conditions with the influence of earthquakes, utilizing the Geostudio modules Seep/W and Slope/W. Mechanical soil parameters are incorporated into the analysis.

For the slope stability analysis under the influence of rainfall, the Seep/W program is used to perform transient analysis and determine the groundwater table (GWT). Subsequently, the results were input into Slope/W to calculate the Factor of Safety. This analysis is carried out from conditions without rainfall to conditions after rainfall.

For the slope stability analysis under the influence of earthquakes, Slope/W is used directly to calculate the FoS. By the seismic load analysis, the earthquake load coefficient is

utilized, which had been calculated beforehand. The modeling provides a comprehensive assessment of slope stability under varying conditions of rainfall and seismic activity.

Table 3: Recapitulation of mechanical soil parameters for slope stability modelling.

Material	Soil Mechanic Parameter				
	γ_{sat}	c'	Φ	Water Content	Permeability (k)
	(Kn/m ³)	KPa	°	%	(cm/sec)
Soil	27	15	32	0,45	6.13E-06

Geological Survey

The slope is located at coordinates 0°38'43.22" N and 122°56'50.51" E. Based on field observations, the site has a slope inclination of 56° and a height of 30 m. This location is part of the clastic limestone unit, with lithology consisting of calcirudite and calcilutite layers.

Fresh calcirudite limestone appears gray. It is characterized by medium sand-sized grains (1/2 – 1 mm), sub-angular grain shape, well-sorted texture, open packing, and good porosity. These properties make calcirudite relatively more stable due to better cohesion and its ability to allow water drainage, thereby reducing pore pressure accumulation that can lead to slope instability.

Meanwhile, weathered calcilutite appears yellowish-brown and is composed of very fine-grained clay-sized particles ranging from 1/256 to 1/6 mm. The rock texture has well-sorted grains, closed packing having poor porosity and permeability. As a result, calcilutite tends to retain water, increasing pore pressure within the rock mass and potentially reducing the shear strength of the slope. Additionally, weathering further weakens its load-bearing capacity and increases the risk of slope instability, particularly during heavy rainfall or seismic activity.

Overall, slope stability is highly influenced by the characteristics of the underlying rock. The calcilutite layer, which is more susceptible to weathering and water accumulation, can form a weak zone that raises the risk of landslides, whereas the more stable calcirudite layer can help support the slope mass. However, under steep slope conditions and external factors such as heavy rainfall and earthquakes, the potential for instability remains a critical concern.

Slope Stability Analysis (Without the Effects of Rain and Earthquake)

The slope stability analysis in this simulation is conducted under conditions without external disturbances such as rainfall or seismic activity. The analysis focuses on determining the Factor of Safety (FoS) to represent the stability of the slope in its natural state. This simulation provides an understanding of the baseline stability conditions in the study area, offering insights into the potential slope behavior under undisturbed circumstances.

The results of the slope stability analysis reveal that, under conditions without rainfall or seismic influences, the FoS across the study area is distributed with a value of 1.150. This value indicates a relatively stable slope condition under normal circumstances (Fig. 6), serving as a reference point for further analysis involving external factors such as rainfall and earthquakes.

Slope Stability Analysis (With Rainfall Effects)

The slope stability analysis conducted in this simulation is based on the assessment of the Factor of Safety (FoS) under the influence of rainfall. In this analysis, rainfall data are incorporated to simulate the impact of precipitation on slope stability in the study area. The simulation represents the stability conditions of the slope by evaluating the Factor of Safety values at the study location.

The results of the slope stability analysis under rainfall conditions indicate that the distribution of the Factor of Safety (FoS) in the study area is 0.818 (Fig. 7).

Slope Stability Analysis (With Earthquake Effects)

The slope stability analysis in this simulation is conducted based on the Factor of Safety (FoS) assessment under the influence of the seismic coefficient. In this analysis, earthquake data are incorporated to simulate their impact on slope stability in the study area. This simulation represents the slope stability conditions by evaluating the Factor of Safety values at the study location.

The results of the slope stability analysis under the influence of the seismic coefficient indicate that the distribution of the Factor of Safety (FoS) in the study area is 0.746 (Fig. 8).

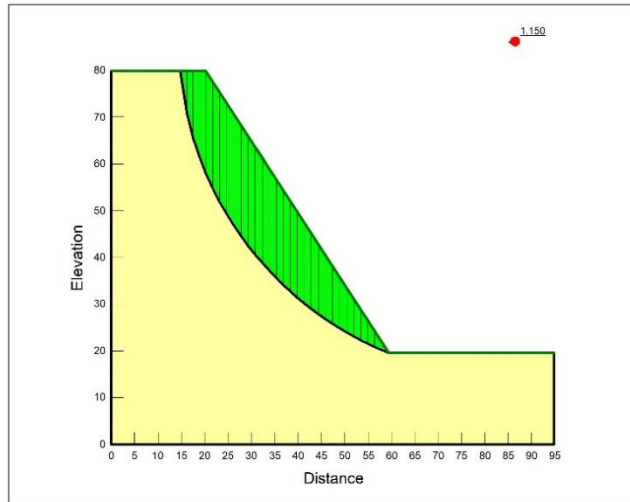


Fig. 6. Slope profile geometry illustration using GeoStudio-Slope/W software (without rainfall and earthquake effects).

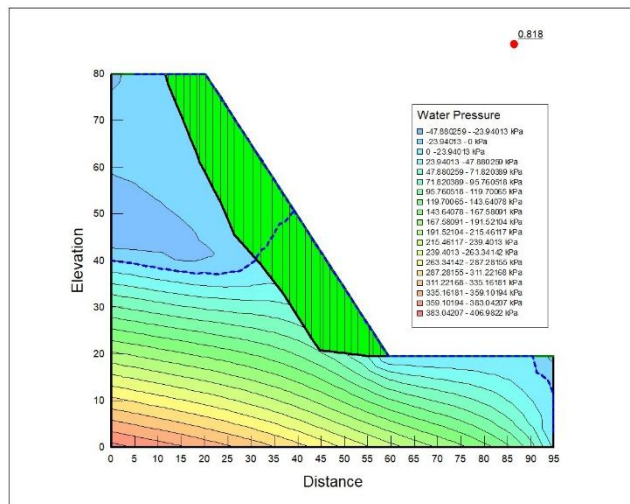


Fig. 7. Slope profile geometry illustration using GeoStudio-Slope/W software (rainfall effects).

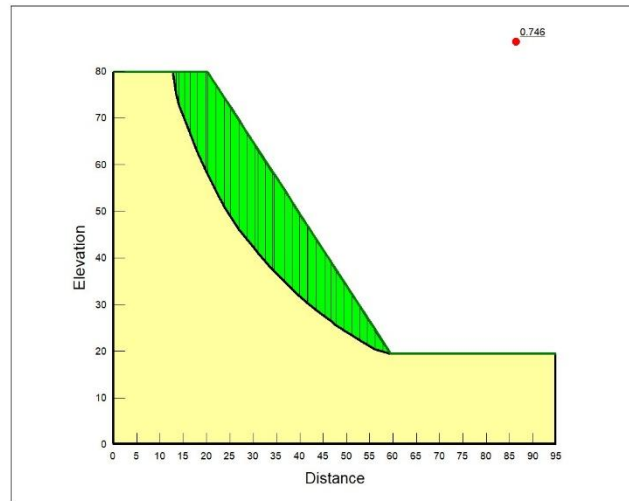


Fig. 8. Slope profile geometry illustration using GeoStudio-Slope/W software (earthquake effects).

Discussion

The study area is characterized by geological features, where most slopes consist of clastic limestone with alternating layers of calcirudite and calcilutite. According to Grabau's (1904) classification, calcirudite is composed of gravel-sized grains, while calcilutite consists of very fine grains resembling clay. The fine-grained nature of calcilutite has a significant impact on slope stability as it creates weak zones within the rock mass, which can act as initial failure points.

Under normal conditions without external disturbances such as heavy rainfall or seismic activity, slope stability analysis indicates that the Factor of Safety (FoS) remains within safe limits, as defined by the National Standardization Agency of Indonesia (SNI 8560:2017). This suggests that the slopes are generally stable and show no significant potential for landslides.

However, this situation changes drastically when heavy rainfall or earthquakes occur. The analysis reveals a significant decrease in the FoS values, with many slopes showing FoS values < 1 . Such conditions indicate severe slope instability. The reduction in stability is primarily caused by an increase in shear stress within the slope material that exceeds its shear strength. For instance, heavy rainfall infiltrates the slope material, increasing pore water pressure and reducing the soil's effective stress. Similarly, seismic activity generates dynamic forces that exacerbate slope instability by disrupting the balance of forces acting on the slope.

The combined effects of these factors, such as the infiltration of rainwater increasing pore water pressure and seismic vibrations adding driving forces, result in a loss of equilibrium between resisting and driving forces. This ultimately triggers slope failures or landslides. The situation is further exacerbated for slopes composed of calcilutite, as this material contains inherent weak zones that are more susceptible to deformation and displacement. Additionally, groundwater flow and seismic vibrations intensify the impact on the slip surface, further increasing the risk of slope instability (Al-Jawadi, 2024).

From these findings, it can be concluded that heavy rainfall and seismic activity are the primary triggers for landslides in the study area. The vulnerability of calcilutite to failure highlights the need for special attention in areas dominated by this rock type. Therefore, implementing appropriate mitigation measures is crucial to reducing the risk of landslides, especially under extreme environmental conditions.

Conclusion

The findings of this study indicate that the potential for landslides in the study area is strongly influenced by the type of rock present on the slopes, particularly clastic limestone comprising calcirudite and calcilutite. Calcilutite, with its clay-sized grains, contains weakness zones that significantly affect slope stability. Slope stability analysis under normal conditions, without the influence of rainfall or earthquakes, shows that the Factor of Safety (FoS) values generally meet the stability standards set by SNI 8560:2017, indicating stable slopes. However, under the influence of rainfall and seismic activity, the analysis reveals FoS values < 1 , signifying increased soil shear stress exceeding its shear strength, leading to slope instability. These findings confirm that rainfall and earthquakes are the primary triggers of landslides in the study area, with calcilutite exacerbating the potential for failure. Therefore, landslide risk management in this region must account for these factors, with particular attention to the geological characteristics and weather conditions affecting slope stability.

Acknowledgements

Extended thanks are provided to the Master of Geological Engineering Study Program at Hasanuddin University for supporting this research.

References

- Al-Jawadi, A.S., 2021. Theoretical Models of Slope Stability Analysis in the Maqlub Mountain Rock Cut Routes, North Iraq, *The Iraqi Geological Journal*, 54 (1A), pp. 55-68, DOI: <https://10.46717/igj.54.1A.6Ms-2021-01-27>.
- Al-Jawadi, A.S., 2024. Predicting Slip Surfaces for Slope Stability Assessment Along Highway 80 in Mosul, Northern Iraq, *Geotechnical and Geological Engineering*, 42:2997–3008, 42:2997–3008, <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02713-0>.
- Bachri, S. and Ratman, N., 1993. Geological Map of the Tilamuta Sheet, Sulawesi, Scale 1:250,000. Geological Research and Development Center.
- Bishop, A.W., 1955. The Use of Slip Circles in Stability Analysis of Slopes. *Geotechnique Journal*, 5(1).
- Geo-Slope International Ltd., 2002. SLOPE/W for Slope Stability Analysis. Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5.
- Geo-Slope International Ltd., 2021. Stability Modeling with Geostudio. Calgary, Alberta, Canada T2P 2Y5.
- Grabau, A.W., 1904. The classification of limestones and their geological significance. *Geological Society of America Bulletin*, 15(1), pp. 1-40.
- Lihawa, F., Patuti, I.M., and Nurfaika, N., 2015. Sebaran Aspek Keruangan Tipe Longsoran Di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo (Spread of Spatial Aspect of Landslide Types at Alo Watershed in Gorontalo Province). *Journal of People and Environment*, 21(3), pp. 277-285, <https://doi.org/10.22146/jml.18554>.
- Liong, G.T. and Herman, D.J.G., 2012. Analysis of Slope Stability: Limit Equilibrium vs Finite Element Method. PIT HATHI XVI, Jakarta.
- PUPR, 2004. Stability Analysis of Embankment Dams under Earthquake Load, Ministry of Public Works and Housing, Jakarta.
- PUPR, 2015. Determination of Design Response Spectrum on Ground Surface for Bridges. Ministry of Public Works and Housing, Jakarta.
- PUPR, 2019. Final Report on Technical Planning/DED for Scattered Landslides in Gorontalo Province. Ministry of Public Works and Housing, Directorate General of Highways, National Road Implementation Office, Gorontalo.

- Morgenstern, N.R. and Price, V.E., 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 15(1), pp. 79-93. <https://doi.org/10.1680/geot.1965.15.1.79>
- SNI: 8560, 2017. Geotechnical Design Requirements, National Standardization Agency of Indonesia, Jakarta.
- Pholbud, P., Hall, R., Advokaat, E., Burgess, P., and Alfend R., 2012. A New Interpretation of Gorontalo Bay, Sulawesi. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, <https://doi.org/10.29118/ipa.0.12.g.029>
- PusGen, 2017. Indonesian Earthquake Source and Hazard Map 2017, Pusat Studi Gempa Nasional (PusGen), Ministry of Public Works and Housing, Jakarta.
- Siregar, C.A., 2019. Simulation Analysis of the Influence of Groundwater Level on Slope Stability Using Geostudio Slope/W 2012 Program. In *Proceedings of SoBAT (Seminar on Social Politics, Business, Accounting, and Engineering)*, Universitas Sangga Buana YPKP, Vol. 1, No. 1, pp. 185-190. LPPM Universitas Sangga Buana YPKP.
- Trail, D.S., John, T.V., and Bird, M.C., 1974. The general geological survey of block II, Sulawesi Utara.
- Usman, F.C.A., Manyoe, I.N., Duwingik, R.F., and Kasim, D.N.P., 2018. Landslide Type Reconstruction in the Gorontalo Outer Ring Road Area (Gorr) Using Stereographic Analysis. *Journal Geomine*, 6(1). <https://doi.org/10.33536/jg.v6i1.184>



Integrating Remote Sensing Techniques and Geographic Information Systems to Assess the Environmental Impacts of Urban Sprawl on Agricultural Lands: A Case Study from Suq Al-Shuyoukh City, South of Iraq

Hamid D. Hani^{1*} 

¹ Department of Applied geology, College of Science, University of Thi-Qar, Thi-Qar, Iraq.

Article information

Received: 22- Oct -2024

Revised: 15- Jan -2025

Accepted: 07- Apr -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

Geomorphological Units,
Encroachment,
Man Made,
Supervised Classification,
Desertification.

Correspondence:

Name: Hamid D. Hani

Email:

hamid.alhmedawy@sci.utq.edu.iq

Abstract


The current study aims to determine the size, type, direction and causes of urban encroachment on agricultural lands as well as its environmental impact. The remote sensing and geographic information systems techniques are integrated to determine the extent of horizontal urban growth in Suq Al-Shuyoukh City for two periods (3/2003 and 4/2020). The normalized difference vegetation index (NDVI), accumulated normalized difference index (NDBI), and normalized difference water index (NDWI) are used. A supervised classification technique using ArcGIS software is used to map the different land use land cover (LULC) classes. The LULC map indicates a significant increase in urban (+10%) areas and arid lands (+6%), and a significant decrease in agricultural land (-17%). The city underwent major urban expansion towards the north and northeast. The chaotic urban sprawl in the study area can be classified as irregular urban sprawl. The population increase (+2.31%) has a role in urban expansion. The environmental impacts are rising temperatures, desertification, and an increased frequency of dust storms.

Keywords: Geomorphological Units, Encroachment, Man-Made, Supervised Classification, Desertification.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60343](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60343), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تكامل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتقييم الآثار البيئية للزحف العمراني على الأراضي الزراعية: دراسة حالة من مدينة سوق الشيوخ، جنوبي العراق

حامد هاني *1 

^{1,2} قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة ذي قار، ذي قار، العراق.

معلومات الارشفة	الخلاصة
تاريخ الاستلام: 22- اكتوبر - 2024	تسعى الدراسة الحالية إلى تحديد حجم ونوع واتجاه وأسباب زحف المناطق الحضرية على الأراضي الزراعية، بالإضافة إلى تأثيره البيئي. تم دمج تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد مدى النمو العمراني الأفقي في مدينة سوق الشيوخ لفترتين (2003/3 و 2020/4). تم استخدام مؤشر الفرق الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الفرق الطبيعي المتراكم (NDBI) ومؤشر الفرق المائي الطبيعي (NDWI). تم استخدام تقنية التصنيف الخاضع للإشراف باستخدام برنامج ArcGIS لرسم خريطة الفئات المختلفة لغطاء واستخدامات الأرض (LULC). تشير خريطة LULC إلى زيادة كبيرة في المناطق الحضرية (+10%) والأراضي القاحلة (+6%)، وانخفاض كبير في الأراضي الزراعية (-17%). شهدت المدينة توسعاً حضرياً كبيراً باتجاه الشمال والشمال الشرقي. يمكن تصنيف الزحف العمراني في منطقة الدراسة على أنه زحف عمراني غير منتظم. للزيادة السكانية (+2.31%) دور في التوسع العمراني. تمثلت الآثار البيئية بارتفاع درجات الحرارة والتصحر وزيادة وتيرة العواصف الترابية.
تاريخ المراجعة: 15- يناير - 2025	
تاريخ القبول: 07- ابريل - 2025	
تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026	
الكلمات المفتاحية: الوحدات الجيومورفولوجية، الزحف، صنع الإنسان، التصنيف الموجه، التصحر، المراسلة: الاسم: حامد هاني	
Email: hamid.alhmedawy@sci.utq.edu.iq	

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60343](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60343), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Urban encroachment on agricultural land is a global problem that particularly affects developing countries. This imbalance has serious environmental consequences, especially in areas with an arid or semi-arid climate such as southern Iraq. Sprawl of Man-Made Geomorphological Unit-Urban (MMGUU) is defined as the city center and its areas expanded at the expense of the surrounding agricultural areas, while Man-Made Geomorphological Unit-Agriculture (MMGUA) means a specific area of land covered with soil of sufficient thickness for living organisms in it. It is a closed ecosystem in which all interactions between different elements are intertwined. In this system, energy and matter are transferred from one element to another. It is used for agricultural crop production and livestock breeding. It aims to produce food for humans (Al-Tafili and Al-Jassani, 2021). Studying human-caused environmental problems has become the focus of researchers' efforts nowadays. Environmental impact assessment is an important component of development and planning. The problem of encroachment of MMGUU on MMGUA is an issue that all countries of the world suffer from. It is one of the main causes of desertification (Hasan et al., 2021). The phenomenon of desertification threatens about 110 countries in the world. The world loses about 24 billion tons of topsoil annually. About 70% of the agricultural land area in arid and semi-arid regions is affected by varying degrees of desertification (Ankush, 2019). The

MMGUA surrounding cities decreased day after day as a result of the expansion of the MMGUA above them. The continuation of this encroachment in the cities of Iraq and the absence of effective policies to control urban growth make Suq Al-Shuyukh City (one of the most eye-catching Iraqi cities) an example. The city is located in an area that literally inherited the land of Sumer. This city was built on one of the ancient Sumerian hills. It is still developing and expanding until it has become a large city. It consists of a palm forest, several swamps, water bodies, and urban areas, in addition to barren lands. In this city, the percentage of MMGUA decreased, and the palm forests and areas designated for growing vegetables, green fodder, and the like were affected. As a result of this rapid urban growth, the city's area expanded in the past two decades after the change of the political regime in 2003. The horizontal growth pattern in this city was responsible for the subtraction of part of its productive lands and neighboring lands. Desert grasslands, and this had environmental repercussions. Urban sprawl threatens agriculture in this city, which was considered as one of the richest areas in agricultural production as an important food basket, not only for the residents of the city or regions of Iraq, but even for some countries of the world, especially in terms of dates and other palm tree products. The aforementioned progress has spread on a large scale, and this can be clearly seen in the Al-Aqiqah area, in addition to most of the city's villages. Studying this problem from its various aspects is a vital and necessary matter that must be taken into consideration and transformed into strategic action while developing a well-thought-out and clear plan that prevents cutting off large areas of MMGUA. It must be exploited to achieve promising agricultural development and stop encroachment. Conservation Areas MMGUA are consistent with prevailing trends in supporting the natural environment and the Sustainable Development Goals (Shareef et al., 2020). Many studies have addressed the issue of urban sprawl, including Rahman et al. (2023) study about the effects of urbanization on agricultural land and thermal environment in Larkana, Pakistan. The results of the study showed that the built-up area increased from 12.31 to 43.83 km², while the area of barren lands in the study area decreased from 56.51 km² to 11.62 km². The area of agricultural land reached 66.66 km² in 1990, then expanded to 101.38 km², and then decreased to 79.49 km² in 2020. The results also revealed that most of the urban expansion in the last decade (2010-2020) occurred on agricultural land. The urban thermal environment also showed a gradual increase in the surface temperature, as recorded by the LST results. Through the use of LST, it was concluded that the highest limit in 1990 was 33.4 degrees Celsius, rising in 2020 to 36.1 degrees Celsius. On the other hand, in 2020, the minimum was 25.1 degrees Celsius and rose to 26.6 degrees Celsius. This study produced useful results for decision makers in order to develop better plans and means for managing urban expansion on arable land.

(Al-Wahaibi and Al-Zamil, 2021) discussed the impact of urban sprawl on agricultural lands, a case study of the factory area in Riyadh. The research found that urban encroachment on arable land affected natural spaces and contributed to the decline of vegetation cover. The researchers proposed drawing up a comprehensive land management strategy to serve the principle of integration between agricultural lands and urban areas and to achieve optimal exploitation of natural resources.

(Al-Shahwan, 2023) In her research entitled "The Impact of Urban Sprawl on Agricultural Lands in Jordan", she highlighted the lost areas of agricultural land, the reasons that led to this, and then the environmental dimensions that resulted from that. The most important finding of the study is the presence of urban encroachment on agricultural lands. Many factors contributed to this, the most important of which were rapid population growth, lack of planning, and the move away from agriculture.

(Abdel Lala, 2018) showed in research entitled "urban encroachment on agricultural lands in the city of Kafr al-Dawwar using geographic information systems and remote sensing" that there was a significant increase in the area of the urban block. At the expense of

agricultural land and the conversion of agricultural land plots, there is a discrepancy in the average per capita share of the urban area for the Kafr al-Dawwar areas.

Abed, and Sabtu (2024) in research entitled “Urban context analysis according to the concept of Spencer's biological theory using GIS: Balad City case study”, declared that the study concluded that changing urban laws, increasing population growth, non-compliance with basic plans and turning a blind eye to encroachment on agricultural lands play a role in increasing the extent of urban expansion, encroachment on agricultural lands and their desertification. The research recommended taking appropriate methods to stop this problem and solve it through correct urban planning.

It is clear from the above that previous studies shed light on the problem of urban expansion on agricultural lands locally, regionally, and globally. It is worth noting that this problem has not been previously studied in the city of Souq Al-Shuyoukh.

From this standpoint, the importance of this study lies in shedding light on the encroachment of urban geomorphological units and their effects on agricultural geomorphological units during the study period and the subsequent environmental deterioration.

This study attempts to answer the following questions: Was the city of Suq Al-Shuyukh subjected to a major urban expansion in the period from 2003 to 2020 AD? What are the urban expansion trends in this city? What is the type of urban expansion? What are the reasons behind urban expansion? Is there any significant effect on the environment?

Study area

Suq Al-Shuyukh City is the oldest city in Thi Qar Governorate. It occupies the right bank of the Euphrates River. It is located at the western end of Al- Hamar marsh and its wetlands. It is surrounded by desert to the west, and water and greenery to the east and south, with swamps and eroded palm forests. The city of Suq Al-Shuyukh is located about 35 km southeast of Nasiriya City (the Governorate center). It has the following coordinates: latitude $30^{\circ}53'57.87''$ north and longitude $46^{\circ}27'42.22''$ east (Fig. 1). Its area, with its five districts, is 1,374 km² (Kramers, 1997). Its height above sea level is about five meters (5 m). It has a desert climate.

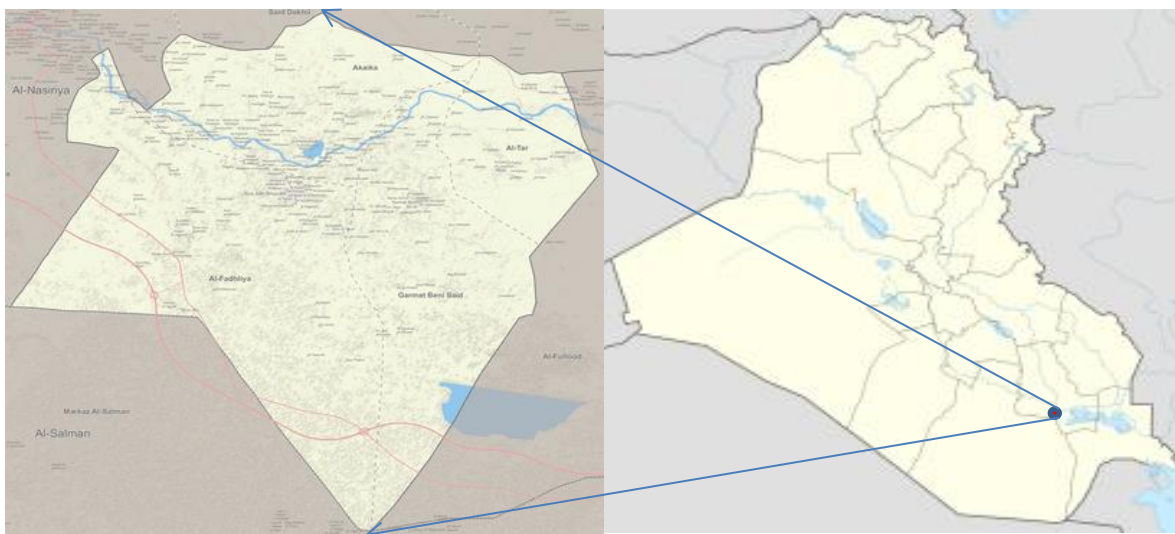


Fig. 1. Location map of the study area.

It is characterized by low rainfall and high temperatures in summer, reaching 50 degrees Celsius, while the weather in winter is warm (Al-Umar et al., 2019). The study area is located in the big Mesopotamian Plain, which is characterized by holes of different sizes, riverbank incision deposits, marsh deposits resulting from laminar flow of water (both active and dry), and estuarine swamp deposits. The sediments of the Mesopotamian Plain consist mainly of silt and clay. Some ground depressions are spreading locally. Some organic soil may be present with silt and clay. In the swampy area, the sediments are heavily contaminated with organic matter. The age of all these deposits is Holocene (Aqrawi, 1997) (Fig. 2).



Fig. 2. Brief land cover/land use map of the study area.

Materials and Methods

The methodology of this study is shown in (Fig. 3). This study relied on Landsat 7 and 8 satellite images from 2003 and 2020 (Fig. 4) obtained from the US Geological Survey (USGS) website (Table 1). Both of these images cover the study area (Suq Al-Shuyukh City). These dates are the closest data available for the same period designated for research. The year of 2003 represents the state of the region when political change occurred in the country, as political and security chaos and violations of land law occurred. The 2020 image is the most recent clear image available of the region without clouds. The study area was cropped from the two satellite images.

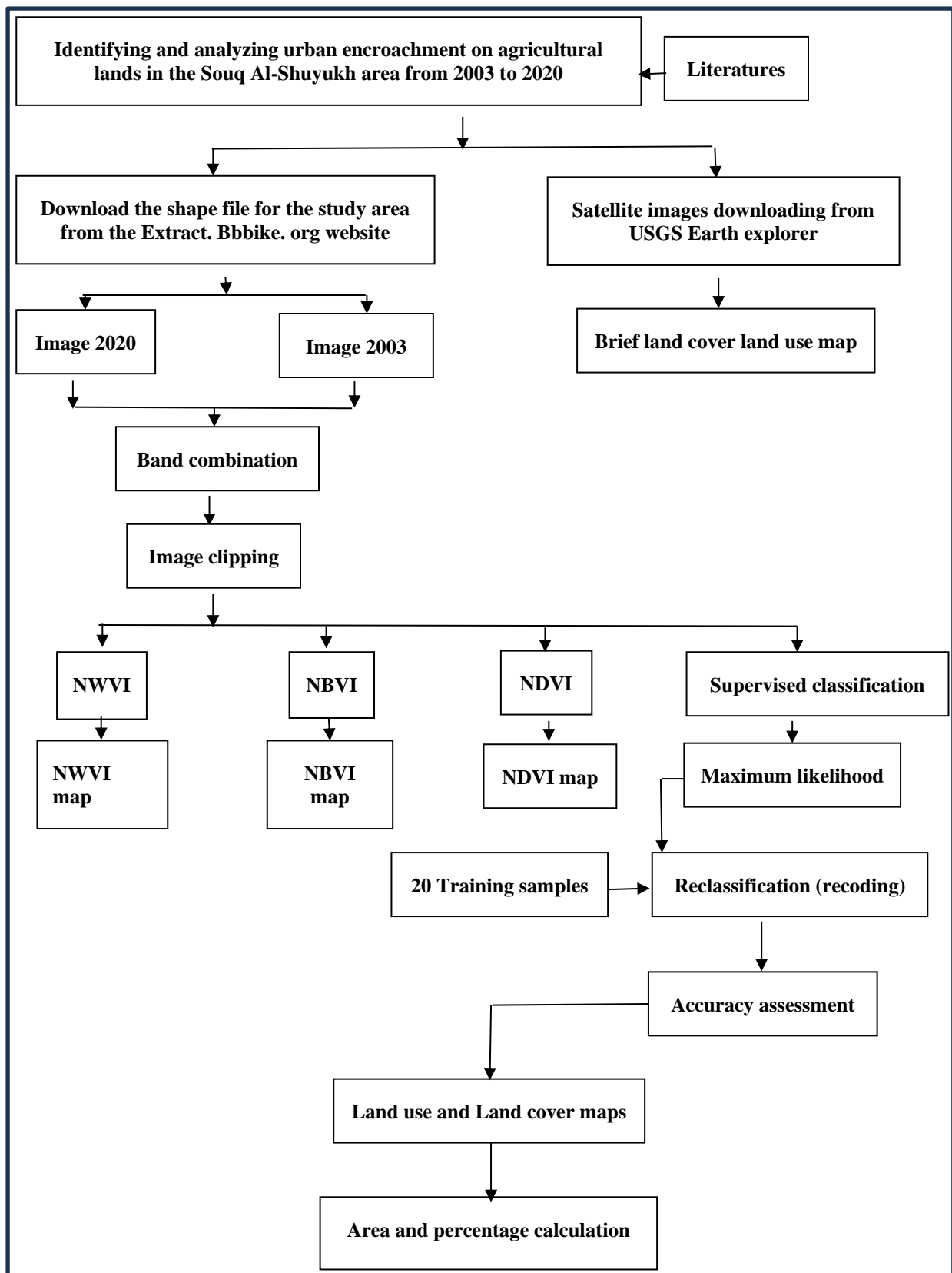


Fig. 3. Methodological flow chart.

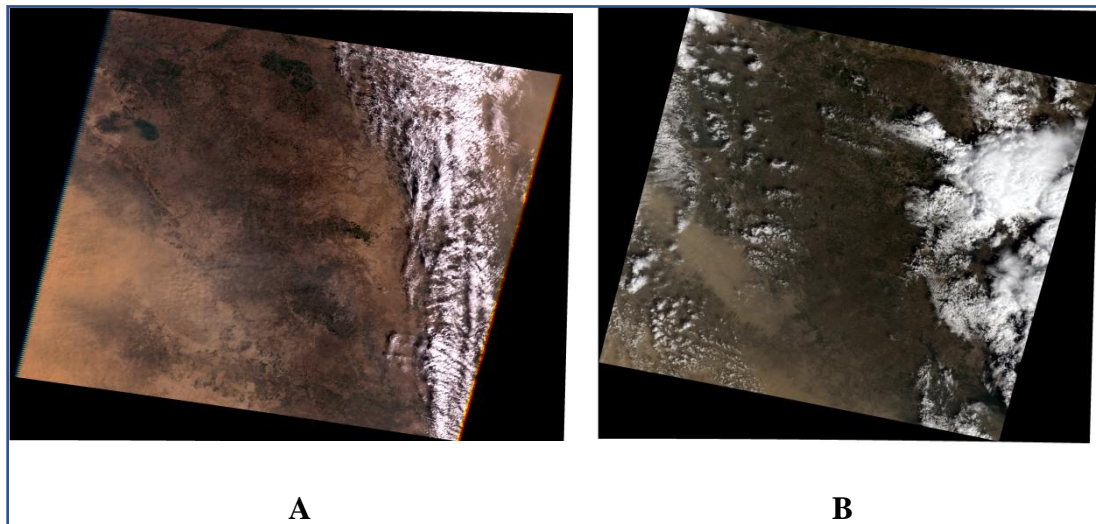


Fig. 4. (A) MTL 3/2003 Path167 Row 38, (B). MTL 4/2020 Path167 Row 38.

Table 1: Details of the Landsat 7 and 8 satellite images used in this study.

Year	Satellite sensor	Spatial resolution	Acquisition date	Path	Row
2003	Landsat ETM+ 7	30 m × 30 m	26/3/2003	167	38
2020	Landsat OLI 8	30 m × 30 m	1/4/2020	167	38

The software used in this study is Erdas 14 and Arc Map 10.8.1. These visual elements have been addressed and improved.

The 1,4,7 band mix was adopted for the Landsat 7 satellite image, and the 5,2,7 band mix was adopted for the Landsat 8 satellite image (Fig. 5).

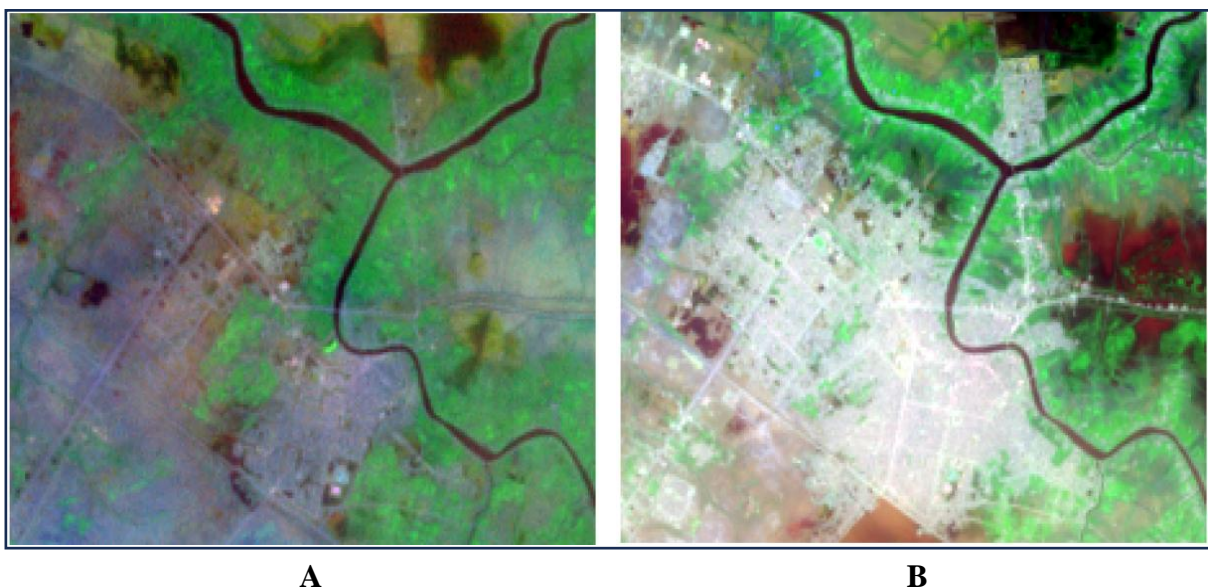


Fig. 5. (A) 1, 4, and 7 band combination date 3/2003, (B) 5, 2, and 7 band combination date 4/2020 showing study area.

A supervised classification technique is conducted for both images. The maximum likelihood classification option is used. Spectral reflectivity values (spectral signature) were determined for each of the classes present on the satellite image. Sample sites representative of known classes of land cover are used as training areas. It was chosen randomly in the form of approximately twenty polygons. The training areas for each class were combined to achieve the highest classification accuracy.

The training areas represent a numerical classification guide describing the spectral characteristics of each class studied. Digital processing is conducted to calculate the spectral reflectivity values for each class to classify them and determine their classes (Fig. 6). These results of the supervised classification technique for both images and for the two years in question are listed in Table 2. It includes the areas and percentages of the four classes of land cover and land use of the study area and the changes that occurred over time. (Fig. 7) summarizes the comparison between areas and percentages of LCLU classes for both satellite images obtained in 2003 and those obtained in 2020.

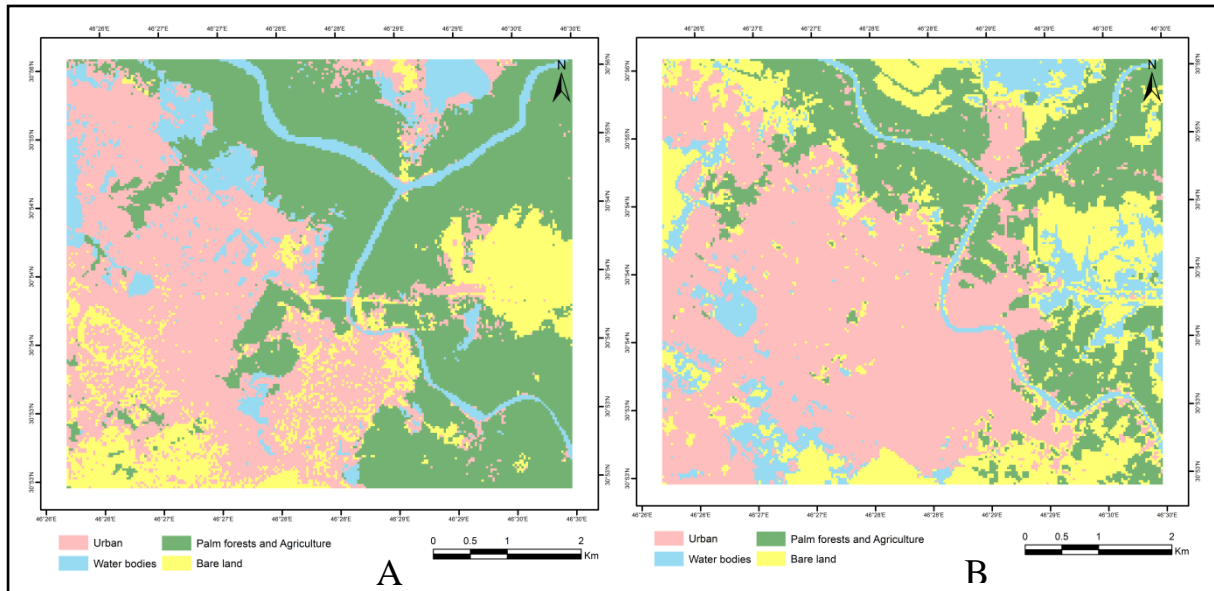






Fig. 6. (A) Supervised classification map 3/2003, (B) Supervised classification map 4/2020.

Table 2: Comparison of areas and percentages of land cover land use classes for the years 2003 and 2020.

Class name	Class color	Landsat ETM+ 7 2003		Landsat OLI 8 2020		Area (km ²) (2020- 2003)	PRS (2020-2003)
		Area (km ²)	PRS %	Area (km ²)	PRS %		
Water bodies		4.0248	10	4.455	11	0.4302	1
Urban		13.4577	34	17.4213	44	3.9636	10
Palm forests and Agriculture		16.4592	42	9.7605	25	-6.6987	-17
Bare land		5.6619	14	7.9668	20	2.3049	6

For the purpose of showing the percentages represented by land cover land use classes for the study area, Microsoft Excel is used for drawing (Fig. 7).

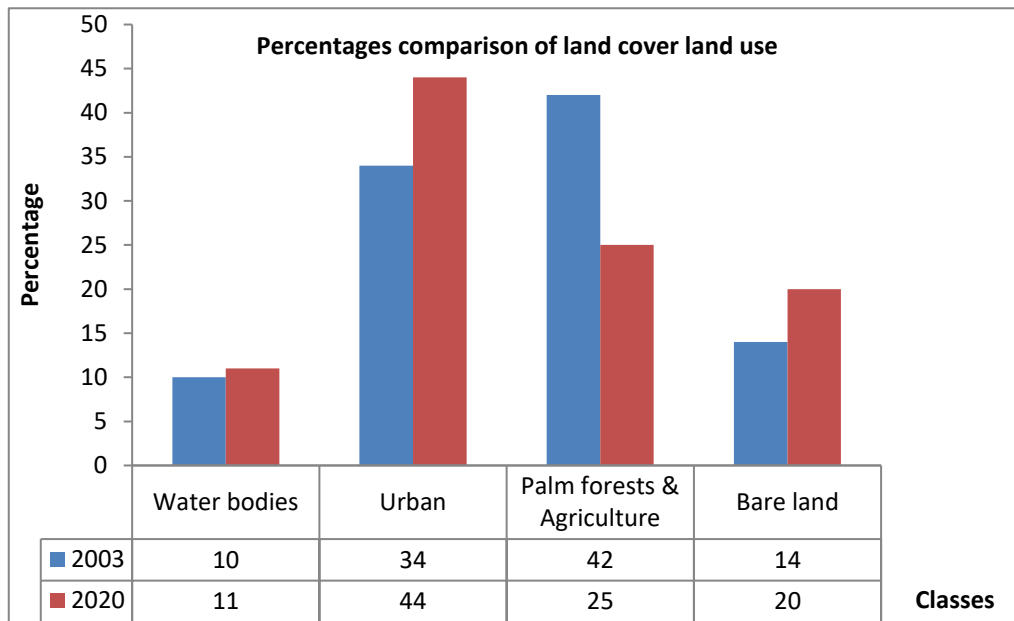


Fig. 7 Percentages comparison of land cover land use classes for the years 2003 and 2020.

Accuracy assessment

The supervised classification results are validated using 10 randomly selected points per class. Overall Accuracy and the Kappa coefficient are used. The validation dataset points are used to compare the original land-use class with the classified image. The classified image value assigned to each point is extracted using ArcGIS, and then Google Earth images are used as reference data in addition to visiting the study area in the field. An error matrix table is created to determine and improve the overall accuracy of the classified images. The overall accuracy in 2003 was 88.461%, and 87.5% in 2020. As for the Kappa coefficient, its value in 2003 was 85.086 and 84% in 2020. The accuracy of the resulting images is acceptable for the study. Shallow water and land cultivated with vegetables show the same spectral reflectivity. This problem is solved using a reclassification (recoding) step.

Indexes used

Many Indexes related to the subject of the study are used, such as: 1-Normalized Difference Built-up Index (NDBI) calculated for both images; 2-NDBI using the NIR and SWIR bands to confirm manmade built-up areas, depending on the ratio to mitigate the effects of terrain lighting differences, in addition to atmospheric effects (Xi et al., 2019) using the following equation:

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

For Landsat 7, the formula is:

$$NDBI = (Band 5 - Band 4) / (Band 5 + Band 4)$$

As for Landsat 8, the formula will be:

$$NDBI = (Band 6 - Band 5) / (Band 6 + Band 5) \text{ (Zha et al., 2003).}$$

The NDBI maps of 2003 and 2020 in the study site are depicted in Fig. 8. 3-The vegetation index (NDVI) is also used usually for various purposes related to vegetation cover. It is used in this study to isolate vegetation cover of various types from the rest of the land cover classes. NDVI is calculated by the following equation:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Where: R represents the infrared value, and NIR represents the near infrared value.

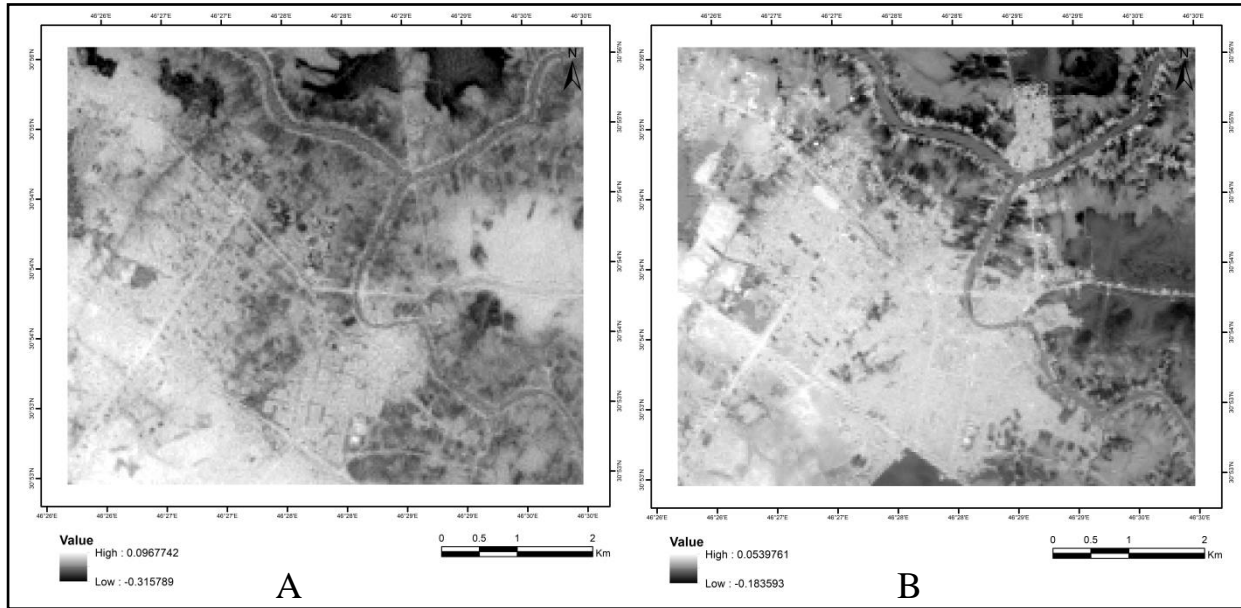


Fig. 8. Spectral indices result used in the study (A) NDBI date 2003, (B) NDBI date 2020.

The equation needed to calculate the NDVI value for Landsat 7 images is:

$$NDVI = (Band\ 4 - Band\ 3) / (Band\ 4 + Band\ 3).$$

As for Landsat 8 images, the equation is as follows:

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4).$$

This method is useful to focus on evaluating vegetation and removing other land cover features in the study area, which helps increase the accuracy of vegetation data (Al-Mutairi and Warner, 2010). The NDVI maps of 2003 and 2020 in the study area are depicted in Fig. 9.

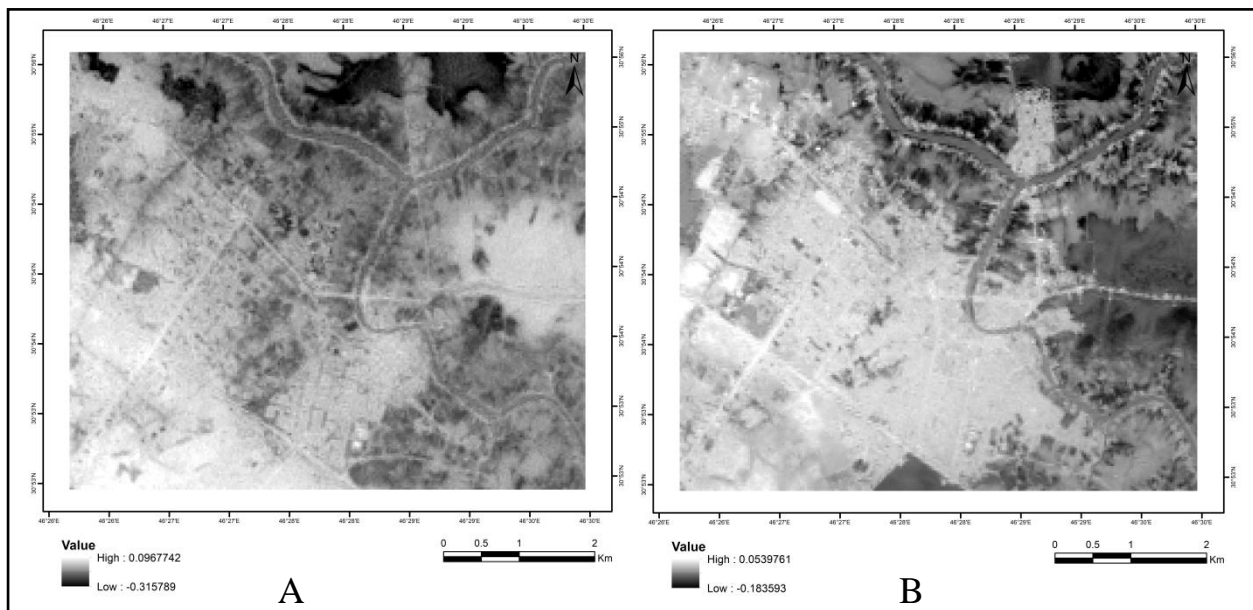


Fig. 9. Spectral indices results used in the study (A) NDVI date 2003, (B) NDVI date 2020.

(Gao, 1996) developed SWIR for the purpose of separating water bodies from the rest of the land cover types. This indicator is based on the NIR band and SWIR band of Landsat 7 and Landsat 8.

NDWI values can indicate the amount of water in water bodies (Mondejar and Tongco, 2019):

$$NDWI = (Red - NIR) / (Red + NIR)$$

In Landsat 7:

$$NDWI = (Band 4 - Band 5) / (Band 4 + Band 5)$$

While for Landsat 8, the formula is:

$$NDWI = (Band 5 - Band 6) / (Band 5 + Band 6).$$

The NDWI maps of 2003 and 2020 in the study site are depicted in Fig. 10.

The study area is divided into four main land use and land cover classes: Water bodies, Urban, Palm forests, Agriculture, and Bare land.

Urban areas include building areas such as residential areas, commercial areas, and roads, while Palm forests and agricultural land include natural vegetation, croplands, and orchards.

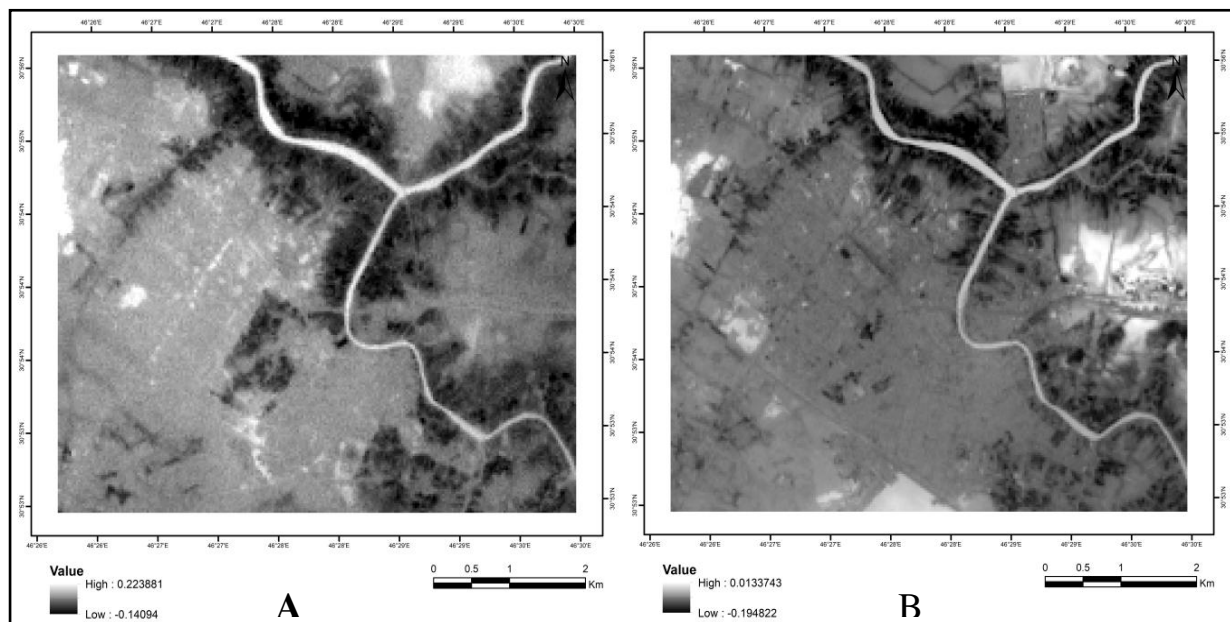


Fig. 10. Spectral indices result used in the study (A) NDWI date 2003, (B) NDWI date 2020.

Detecting the change depends on several methods. It is used to identify the differences between images taken for the same area on different dates. Many tools may be used individually or in combination, including image difference, image division, and change detection in classified images. The last method is adopted in this study because the results obtained from the other methods are not satisfactory, as they are not consistent with reality. This is believed to be due to the small size of the study area and the low spatial resolution of the images used. For the purpose of assessing change in LCLU, the results of directed classification are used to monitor the trend of land use change and are analyzed by applying the ArcGIS 10.8.1 software. Digital maps of the region are also prepared using the same program.

Urban expansion trends

The city was subjected to a noticeable urban expansion (MMGUU) in the period between 2003 and 2020 AD, as its percentage of the total LCLU was 34% and became 44%, meaning there is an increase of 10%.

The LCLU map of the study area shows that urban expansion was towards the north and northeast, where fertile agricultural lands and water bodies are located.

Urban sprawl is classified into two main types:

First: **Regular urban sprawl**, which in turn is divided into:

A- Right-angle plan (chess plan)

B- Radial plan

C- Linear plan

Second: **irregular urban sprawl**: it is represented by the construction and establishment of illegal and chaotic neighborhoods, and this negative phenomenon is experienced by most developing countries (Abidin et al., 2019).

The chaotic urban sprawl in Suq Al-Shuyukh City can be classified as irregular urban sprawl.

The population increase has a role in urban expansion, as the city's population jumped from 450 thousand people in 2003 to about 865.8 thousand people in 2020, considering the population growth rate of 2.31% (Matta et al., 2022).

Other reasons for this encroachment are the low prices of agricultural land, non-compliance with the city's basic plans, lack of environmental awareness of the value of agricultural land, and the desire of city residents to move and live outside the city to avoid crowding and pollution.

The environment has been severely damaged as a result of the noticeable decline in the area of vegetation cover and water bodies, which has contributed to an increase in the rate of air pollution, a rise in temperatures, an absence of control over air movement, a decrease in humidity, and the prevention of biodiversity, which is responsible for the disappearance of many species, including migratory birds (Madallah, and Tarawneh, 2014).

The expansion of the MMGUU also removed shallow water bodies, causing the degradation of aquatic resources such as fish and birds. The receding waters of Lake Al-Hammar led to the disappearance of rice farms that were produced from the lands north and west of the lake, which increased.

Results and discussion

By applying the NDVI, NDBI and NDWI technology to the two satellite images for the period from 2003 to 2020, it is found that there is an encroachment of MMGUU on other geomorphological units by about 28%, a deterioration in MMGUA by about 1%, and a decline in the area of water bodies by about 31%, and since these results are not convincing because they are not consistent with reality, they are therefore neglected and other methods are resorted to such as the supervised classification technique to reveal the difference between the increase and decrease in the four classes of LCLU: Water bodies, Urban, Palm forests and Agriculture, and Bare land (Fig. 6), where it appears that the area had undergone many changes presented in Table (2) and (Fig. 7).

We note that there is an increase in the percentage of water bodies estimated at about 1%. This result is not expected due to the state of drought and desertification that the region has witnessed recently. The reason for this increase is unusually heavy rains in the winter of the last three years, 1918, 1919, and 2020.

An increase in urban areas is detected by about 10% of the study area, and this is a large percentage for the 17 years included in the study, especially since it was towards agricultural lands. Most of this increase consists of low-cost homes and slums that lack the minimum components of urban planning and basic services, which have made most of them incubators for social diseases and constitute a large and clear burden on the environment. This urban sprawl is chaotic and irregular.

A high value of deterioration in vegetation cover reaches 17% of the total fertile land. 10% of it is due to urban sprawl, and 7% is due to neglect and abandonment of agricultural activity, in addition to desertification due to climate change and high temperatures. This deterioration is concentrated around the villages and on both sides of the Euphrates River. These areas occupy the northern and eastern parts of the study area. The loss of agricultural land occurred not only due to urban sprawl, but also due to the increase in the establishment of illegal warehouses for construction materials and goods.

It is found that there is an expansion of the bare land estimated at 6%, contributed by erosion processes as a result of the worsening problem of desertification, high temperatures, and the increase in the frequency of dust storms, in addition to abandoning the practice of agricultural activity. This is a dangerous indicator for the growing phenomenon of desertification over time, which calls for taking serious and practical measures to reduce it. As for water bodies, there is no clear difference between the two mentioned years that calls for concern.

The current study agrees with the literature review in principle and in general doubt that there is an encroachment of MMGUU towards MMGUA in developing countries, especially in the last ten years, and this contributes to rising temperatures, desertification, and an increase in the frequency of dust storms. The Iraqi Ministry of Environment announced that during the past two decades, days affected by dust and sandstorms have increased from 243 to 272 days per year (Attiya and Jones, 2020) with serious environmental repercussions. But it differs in terms of the percentages of increase and decrease in the different LCLU areas.

Since vegetation cover has, in general, a fundamental role in stabilizing the soil, lowering temperatures, withdrawing carbon dioxide from the atmosphere, and improving the natural landscape, its decline contributes to increasing the greenhouse gases that cause climate change, allowing the winds to scatter the soil, increasing the frequency of dust storms, and so on. It has serious consequences for public health and visibility on main roads, and contributes to car accidents. The dust also suffocates remaining plants and makes the environment repulsive to many living organisms.

Based on the findings of this study, the following points should be taken into consideration:

1) The Directorate of Urban Planning on agricultural lands should defend against further urban sprawl by restricting and avoiding expansion of the urban area to protect the agricultural sector.

2) The Directorate of Urban Planning should be concerned with developing rural areas and preserving the agricultural character. This will support the agricultural area because it will increase the profit of farmers' agricultural production, which will make farmers more interested in protecting their cultivated land.

3) GIS and remote sensing have proven to be effective tools for assessing urban encroachment and also for studying land cover and use changes over a wide area.

4) The same method can be used to monitor the change in LULC for other regions in Iraq, especially in the alluvial plain area close to water sources and suitable for agriculture.

5) Refrain from illegal construction violations of buildings and warehouses that lead to urban sprawl by strengthening law enforcement in rural areas and activating strict regulations to preserve them.

Conclusion

The problem of urban encroachment on agricultural lands is suffered by all countries of the world, including Iraq, and is one of the main causes of desertification, so it deserves

research and study. Studying this problem from its various aspects is vital, and must be taken into account and transformed into a strategic action that sets a well-thought-out and clear plan that prevents the loss of large areas of fertile lands in line with the trends of supporting the natural environment and the goals of sustainable development. Therefore, there is an urgent need to identify green areas in the city under study (Souq Al-Shuyukh) and not to establish various urban projects on them. This study aims to determine the extent to which Souq Al-Shuyukh city was exposed to urban expansion during the period from 2003 to 2020 AD, what the trends of this expansion are, what its type is, and to identify the underlying causes behind it, and whether there is any damage to the environment as a result. It is found that there is an encroachment of urban areas on other geomorphological units by about (10%) and an increase in the area of barren lands estimated at (6%) and a deterioration in agricultural areas by about 17%. In brief, the aforementioned city was exposed to a large, irregular urban expansion towards the north and northeast, and the population increase played a role in this expansion. This resulted in serious environmental impacts represented by rising temperatures, desertification, and an increase in the frequency of dust storms. In conclusion, there is an urgent need for environmental awareness and for urban expansion to move towards barren areas.

Acknowledgements

I would like to express my thanks and appreciation to everyone who supported me in completing this work.

References

- Abdalla, M.F., 2018. Urban encroachment on agricultural lands in Kafr El-Dawwar City. *Journal of Humanities and Social Studies*. <https://doi.org/10.21608/ins.2018.238429>
- Abed, A.D. and Sabtu, N.B., 2024. Urban context analysis according to the concept of Spencer's biological theory using GIS: Balad City case study, *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 28(2). Available at: <https://doi.org/10.31272/jeasd.28.2.4>
- Abidin, S., Zamani, N., and Aliman, S., 2019. A Computerized Tool Based on Cellular Automata and Modified Game of Life for Urban Growth Region Analysis BT - *Soft Computing in Data Science*. International Conference on Soft Computing in Data Science. Bangkok: Springer. (p. 13). DOI: [10.1007/978-981-13-3441-2_29](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3441-2_29)
- Al-Mutairi, A. and Warner, T.A., 2010. Change detection accuracy and image properties: a study using simulated data. *Remote Sensing*, 2, 1508-1529. doi.org/10.3390/rs2061508
- Al-Shahwan, A.Z.F., 2023. The impact of urban sprawl on agricultural lands in the Hashemite Kingdom of Jordan. *Humanities and Natural Sciences Journal*, 4(3). <https://doi.org/10.53796/hnsj431>
- Al-Tafili, H.M.A. and Al-Jassani, N.A., 2021. The phenomenon of desertification and its effects on reducing agricultural areas in Babylon Governorate. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 735(1):012063, DOI: [10.1088/1755-1315/735/1/012063](https://doi.org/10.1088/1755-1315/735/1/012063).
- Al-Umar, M.H., Satchet, M.S., Al-Zaidi, B.M. and Al-Khafaji, R.A., 2019. Spatial study of causes and effects of the sandstorms using meteorological data and GIS: The case of Nasiriyah city, Iraq. *Periodicals of Engineering and Natural Science*, Vol. 7, No. 4, pp.2012-2021. (Ministry of Planning/Central Bureau of Statistics). DOI: [10.21533/pen.v7i4.974](https://doi.org/10.21533/pen.v7i4.974)
- Al-Wahaibi, R.S. and Al-Zamil, W.S., 2021. The impact of urban sprawl on agricultural lands: a case study in the Al-Masna' neighborhood in the city of Riyadh. *Journal of*

- Agricultural Economics and Rural Development; Suez Canal University.
DOI: [10.21608/jard.2021.190785](https://doi.org/10.21608/jard.2021.190785)
- Ankush, J.A., 2019. Use of Modern Technology to Combat Desertification in Iraq, IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT), 13(7) Ser. II, pp. 08-15. DOI: [10.9790/2402-1307020815](https://doi.org/10.9790/2402-1307020815)
- Aqrawi, A.A.M., 1997. The nature and preservation of organic matter in Holocene lacustrine/deltaic sediments of lower Mesopotamia, SE Iraq. Journal of Petroleum Geology, 20(1), 69–90. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1997.tb00756.x>
- Attiya, A.A. and Jones, B.G., 2020. Climatology of Iraqi dust events during 1980–2015. SN Applied Sciences, 2(5), 845. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2669-4>
- Gao, B.C., 1996. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sens. Environ. 58, 257–266. doi:[10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3).
- Hasan, S.F., Shareef, M.A., and Hassan, N.D., 2021. Speckle filtering impact on land use/land cover classification area using the combination of Sentinel-1A and Sentinel-2B (a case study of Kirkuk city, Iraq). Arabian Journal of Geosciences, DOI: [10.1007/s12517-021-06494-9](https://doi.org/10.1007/s12517-021-06494-9).
- Kramers, J.H., 1997. "SŪK AL-SHUYŪKH". In Bosworth, C.E.; van Donzel, E.; Heinrichs, W.P.; Lecomte, G. (eds.). The Encyclopedia of Islam, Vol. IX (SAN-SZE) (PDF). Leiden: Brill. pp. 801–2. ISBN 90-04-10422-4. Retrieved 18 May 2022. doi:[10.1086/463572](https://doi.org/10.1086/463572). ^ Buckley.
- Madallah, W. and Tarawneh, A., 2014. Urban Sprawl on Agricultural Land (Literature Survey of Causes, Effects, Relationship with Land Use Planning and Environment) A Case Study from Jordan (Shihan Municipality Areas). Journal of Environment and Earth Science, 4(20), 97–124. DOI: doi.org/10.1289/ehp.0901879.
- Matta, R., Fragkias, M., Güneralp, B., Mahendra, A., Wentz, E., and Seto, K.C., 2022. Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities. Npj Urban Sustainability 2, Article number: 5. DOI: doi.org/10.1136/jech-2020-215137. (2020).
- Mondejar, J.P. and Tongco, A.F., 2019. Near infrared band of Landsat 8 as water index: a case study around Cordova and Lapu-Lapu City, Cebu, Philippines. Mondejar and Tongco Sustainable Environment Research. Article number: 16. DOI: [10.1186/s42834-019-0016-5](https://doi.org/10.1186/s42834-019-0016-5).
- Rahman, G., Chandio, N.H., Moazzam, M.F.U., and Al-Ansari, N., 2023. Urban expansion impacts on agricultural land and thermal environment in Larkana, Pakistan, Frontiers in Environmental Science, 11, 1115553. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1115553>
- Shareef, M.A., Ameen, M.H., and Ajaj, Q.M., 2020. Change detection and GIS-based fuzzy AHP to evaluate the degradation and reclamation land of Tikrit City, Iraq. Geodesy and Cartography, vol 46 No 4, DOI: <https://doi.org/10.3846/gac.2020.11616>.
- Xi, Y., Thinh, N., and Li, C., 2019. Preliminary comparative assessment of various spectral indices for built-up land derived from Landsat-8 OLI and Sentinel-2A MSI imageries. European Journal of Remote Sensing. VOL. 52, NO. 1, 240–252. doi.org/10.1080/22797254.2019.1584737
- Zha, Y., Gao, J. and Ni, S., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing. 24:3, 583-594. DOI: doi.org/10.1080/01431160304987.



Geotechnical Evaluation of Soil in Taza District, Southeast of Kirkuk, Iraq: Correlation Between Chemical and Some Physical Properties

Mohammed S. Ahmed ^{1*} , Burkan S. Othman ² , Fouad A. Al-jalabi ³ 

¹Department of Applied Geology, College of Science, University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq.

²Department of Applied Geography, College of Arts, University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq.

³Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq.

Article information

Received: 28- Nov -2024

Revised: 04- Jan -2025

Accepted: 16- Feb -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Taza,
Soil,
Plasticity,
Correlation,
Regression,

Correspondence:

Name: Mohammed Shahab

Ahmed Hussein

Email:

mosh781161228@gmail.com

ABSTRACT

Soil is one of the most important natural resources. A comprehensive geotechnical soil assessment must be performed when starting any engineering project to avoid future damage. The properties of soil and concrete are greatly affected by the chemical composition, which makes understanding statistical relationships between soil properties essential in the study, planning, and preliminary design stages of engineering projects, saving time and money. This research aims to evaluate some geotechnical properties of the soil in Taza district, SE of Kirkuk for ten locations distributed across the district and use mathematical relationships to predict the physical properties (finer ratio, LL, PL, PI) based on the chemical properties of the soil (pH, TDS, OM, SO₃, Cl⁻, gypsum) Using simple and multiple linear regression analysis. The results of particle size analysis show that coarse soils predominate in sites T1, T2, and T10(1), while fine soils, especially silt, in sites T3–T10, with an average of 50.53% for all sites. The soil can be classified into low-plastic clay (CL) and low-plastic silt (ML) according to the plasticity chart, with medium liquidity and plasticity index values ranging from low to medium. The results of the standard compaction test show similar values for the optimum moisture content and maximum dry density. Specific gravity values range between 2.64 and 2.81, and chemical tests show that site T10 recorded clear increases in most properties. The results of Simple Linear Regression Analysis (SLRA) show an inverse relationship between the chlorine percentage and some physical properties, while Multiple Linear Regression Analysis (MLRA) shows stronger relationships between the variables.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56083](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56083), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تقييم جيوتكنيكي للتربة في ناحية تازة جنوب شرق مدينة كركوك، مضاهاة بين الخواص الكيميائية وبعض الخواص الفيزيائية

محمد شهاب احمد حسين ^{1*} ID، بركان سعيد عثمان ² ID، فؤاد عبدالله محمد علي الجليبي ³ ID

¹ قسم الجيولوجيا التطبيقية، كلية العلوم، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

² قسم الجغرافية التطبيقية، كلية الآداب، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

³ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
تعد التربة من اهم الموارد الطبيعية. يجب إجراء تقييم جيوتكنيكي شامل للتربة عند بدء أي مشروع هندسي لتجنب الأضرار المستقبلية. تتأثر خواص التربة والخرسانة بشكل كبير بالخصائص الكيميائية، مما يجعل فهم العلاقات الإحصائية بين خواص التربة ضروريًا في مراحل الدراسة والتخطيط والتصميم الأولي للمشاريع الهندسية، مما يوفر الوقت والمال. يهدف هذا البحث الى تقييم بعض الخواص الجيوتكنيكية للتربة في ناحية تازة، جنوب شرقي مدينة كركوك لعشرة مواقع موزعة على الناحية واستخدام العلاقات الرياضية للتنبؤ بالخواص الفيزيائية للتربة (نسبة الناعم، حد السيولة، حد اللدونة، معامل اللدونة) وبناءً على الخواص الكيميائية (pH, TDS, OM, SO ₃ , Cl ⁻ , الجبس) باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد. أظهرت نتائج التحليل الحتمي الحبيبي أن الترب الخشنة تسود في الموقعين T1 و T2، حيث يشكل الرمل النسبة الأكبر، بينما تغلب الترب الناعمة، خاصة الغرين، في المواقع T3-T10، بمتوسط 50.53% لجميع المواقع. تم تصنيف التربة إلى طين قليل اللدونة (CL) و غرين قليل اللدونة (ML) وفقاً لمخطط اللدونة، مع سيولة متوسطة وقيم معامل لدونة تراوحت ما بين منخفضة ومتوسطة. أظهرت نتائج اختبار بروكتور القياسي قيم متقاربة للمحتوى الرطوبي المثالي والكثافة الجافة القصوى. كما تراوحت قيم الثقل النوعي ما بين 2.64 و 2.81 كما أظهرت الفحوصات الكيميائية أن الموقع T10 سجل زيادات واضحة في معظم الخواص. بينت النتائج وجود علاقة عكسية ما بين نسبة الكلوريد وبعض الخواص الفيزيائية، بينما أظهرت نماذج الانحدار المتعدد علاقات أقوى بين المتغيرات.	<p>تاريخ الاستلام: 28- نوفمبر - 2024</p> <p>تاريخ المراجعة: 04- يناير - 2025</p> <p>تاريخ القبول: 16- فبراير - 2025</p> <p>تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية:</p> <p>تازة، تربة، لدونة، المضاهاة، الارتباط،</p> <p>المراسلة:</p> <p>الاسم: محمد شهاب احمد حسين</p> <p>Email: mosh781161228@gmail.com</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56083](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56083). ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.
This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

As soon as humans started building structures such as homes, tombs, or temples, they treated the soil as a foundation material and selected the right soil to sustain the building they desired (Al-Kasabi, 1993). The necessity to build massive facilities has arisen as a result of urbanization and the overcrowding of buildings and facilities in cities. In nature, soils can be classified as soft and weak with low bearing capacity, medium stiff with high bearing capacities, or very stiff with high bearing capacities (Aljuboori and Çetin, 2019; Mohamed et al., 2024a). Building engineering structures on difficult soils has become essential due to the rise in demand and the decline in locations with adequate usable foundation soil. Problematic soils typically have insufficient bearing capacity and can lead to significant liquefaction or settlement rates (Mohamed et al., 2024b). In addition, one of the most crucial ideas in geotechnical engineering is the stability of natural structures such as slopes and engineered structures, including buildings, tunnels, bridges, and dams (Roodposhti et al., 2019). A set of engineering parameters can be provided without the requirement for in-depth soil investigations by using the statistically derived connections between soil characteristics (Al-Kahdaar and Al-Ameri, 2010).

Concrete and soil are significantly impacted by chemical properties. Predictive mathematical correlations between chemical and physical qualities can be developed to comprehend the relationship between them, saving effort and money.

Ibrahim and Tokmachy (2023) studied the evaluation of the suitability of clays from the Injana Formation in the Laylan and Dibs areas, Kirkuk Governorate, for making building blocks. The findings demonstrated that the research area's soil has low to medium plasticity, with over 50% of the samples collected from the area being fine-grained. Al-Sultani et al. (2023) studied geotechnical properties of soil slopes of the Great Musaiyab Project, Babylon, Middle of Iraq, and according to the study's findings, the majority of the soils are sandy poor grade (SP), silty clay with limited plasticity (CL-ML), and clayey with low plasticity (CL). The soil's proportion of organic matter varied from 1.407 to 3.869% with low levels of gypsum, sulfate, and total dissolved solids. There aren't many studies in the Arab world that use physical properties to predict the chemical properties of soil. However, there are some worldwide studies, like Khairul et al. (2016), who studied the correlations between chemical and index properties for soft clay of Peninsular Malaysia and obtained a good relationship between the percentage of organic matter and moisture content as well. Karira et al. (2018) carried out a geotechnical correlation between the chemical properties and index properties of the soil in the Hyderabad region in Pakistan. The results showed that the highest value of the coefficient was between organic matter and the liquidity limit of 0.4198, and a relative improvement in the correlation is obtained when using multiple linear regression analysis (MLRA) compared to simple linear regression analysis (SLRA). The main aim of this paper is to use the geotechnical prediction to estimate the chemical properties of soil through the physical properties.

Location and Geology of the Study Area

The study area is located in the Taza district in the southeastern part of Kirkuk Governorate. It is considered a strategic location as it is located on the road connecting Kirkuk and Baghdad governorates, close to some industrial facilities. It is about 25 km² away from the center of Kirkuk City, between longitudes (44° 18' 30") and (44° 21' 0") east and latitudes (35° 16' 30") and (35° 20' 30") north.

Understanding the geology of any area is crucial because it can reveal information about the rich past of the area, including the discovery of oil and groundwater, concentrations of raw materials, and understanding the geometry of the formation if a dam or other project were built there (Karim, 2011).

Fouad (2015) divided Iraq into two parts: one is located within the Arabian Plate and the other is within the Iranian Eurasian Plate; moreover, the part located within the Arabian Plate was divided into internal shelf and external shelves, and the external shelf was divided into: Low Folded Zone, High Folded Zone, Imbricate Zone, and Suture Zone. Therefore, the study area is located in the Low Folded Zone. Structurally, the Alpine movements of the Late Tertiary had an impact on this area. This region is characterized by a thick sedimentary layer and long and narrow anticlines with parallel axes separated by wide concave folds with deep faults parallel to the anticlines, which divide the region into two secondary belts: Hamrin-Makhul Subzone and Chemchemal-Butmah Subzone) (Buday and Jassim, 1987). The study area is located within the Hamrin-Makhul belt.

In Kirkuk, a variety of exposed geological formations are observed; some others are covered by more recent sediments of Middle Miocene to Holocene (Ali et al., 2021).

Pleistocene-Holocene sediments cover most parts of the region represented by Quaternary sediments, while the edges of the region are covered by sedimentary rock formations of Miocene-Pliocene age represented by Fatha-Injana-Muqdadiya-Bai Hassan formations (Fig. 2).

More than a third of Iraq's land area is covered by Quaternary sediments, most of which are located in the Mesopotamian plain. These deposits contain varying amounts of gravel, sand, clay, and silt. The types of deposits widespread in the study area are: valley filling deposits (Holocene), flood plain deposits (Holocene), river terrace deposits (Pleistocene), and topsoil.

Materials and Methods

The initial phase of fieldwork, lasting over a month, has comprised four site visits, during which all necessary tools were gathered and prepared (drilling equipment, hammers, measuring tapes for determining depth, plastic bags for preserving moisture content, and molds for assessing field density). Additionally, the coordinates of the study area were recorded using GPS. Five soil samples were collected from five distinct locations, with depths ranging from approximately 15 cm to 3.5 m. Following the field density measurements at each site, the samples were prepared for laboratory testing and analyses, including physical property tests such as moisture content, specific gravity, grain size distribution, and Atterberg limits. These tests were conducted in the Geotechnical Laboratory at the Department of Applied Geology, College of Science, Kirkuk University. Furthermore, the data collected from the five locations were integrated with additional data obtained from the Kirkuk Construction Laboratory, derived from school building reports. These supplementary data points are marked on the map in green and coded as (T6, T7, T8, T9, T10) as shown in Figure 1.

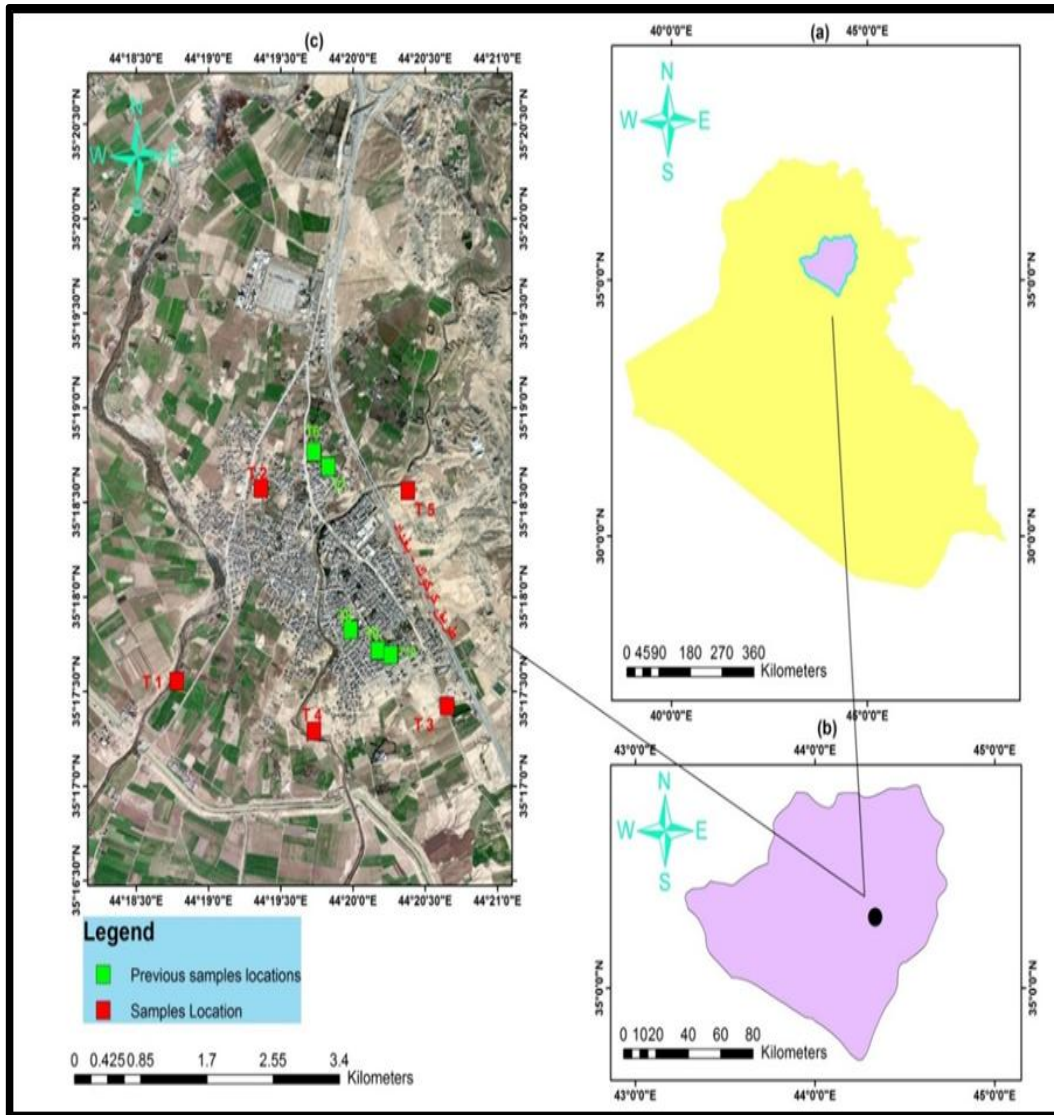


Fig. 1. Site maps of the study area showing sampling locations; (a) Map of Iraq; (b) Map of Kirkuk; (c) Aerial photo (Bing map) of Taza district using the Sas Planet program.

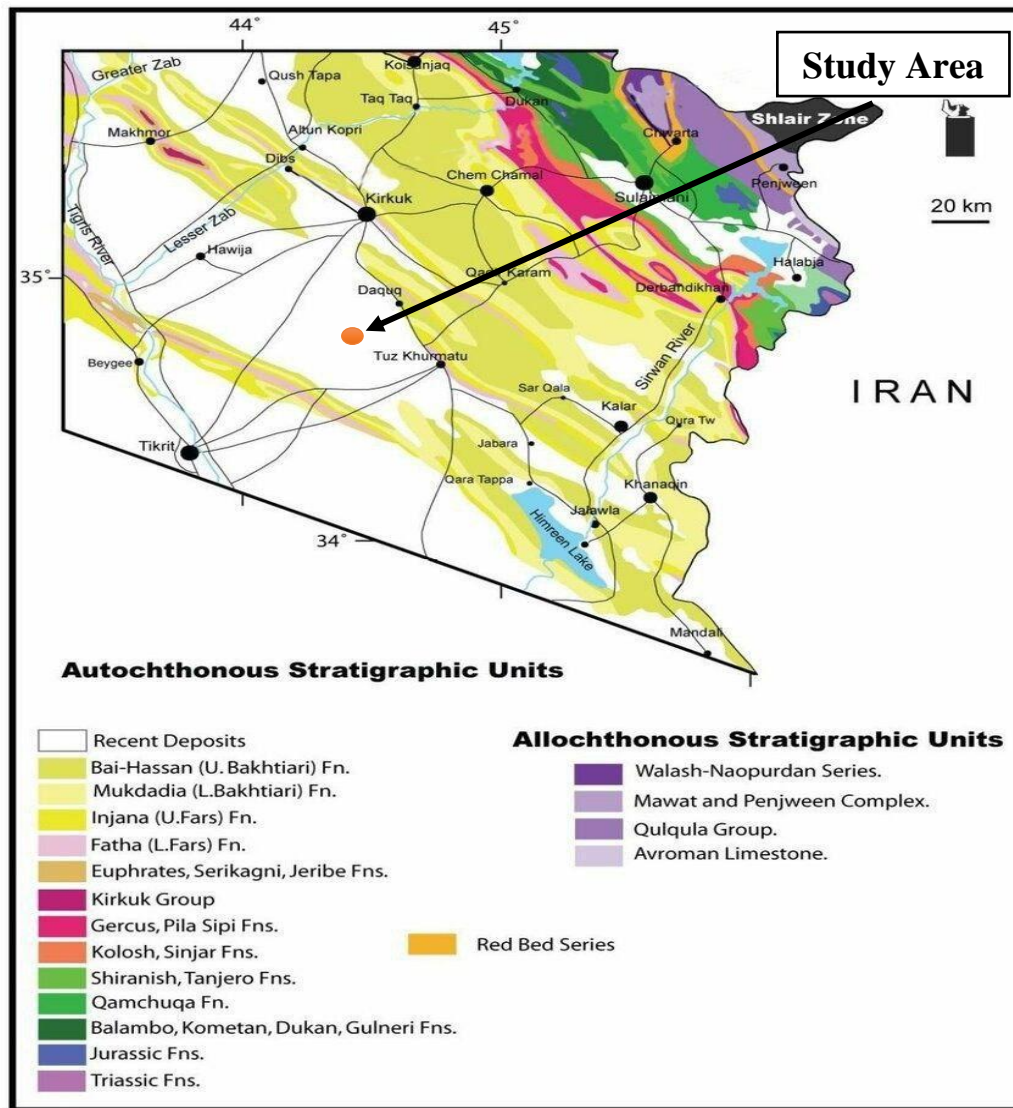


Fig. 2. Geological map of northern Iraq showing the location of the studied area (Modified from Sissakian, 2000).

Physical Properties

Grain size distribution test is conducted in both types (dry and wet) according to the standard (ASTM D-422, 2004). Soil particle sizes directly affect other soil properties such as porosity, permeability, specific gravity, and void ratio (Verma *et al.*, 2017).

Field Density was conducted following (ASTM D2937-10, 2016). The density is checked on site by pushing a metal ring with known dimensions at the required depth, cutting off the excess parts, obtaining undisturbed samples, and then fixing their weight and dimensions. Many factors, such as soil type, moisture content, and sampling techniques, affect the results of field density testing (Certified MTP, 2024).

Moisture content represents the proportion of the weight of water to the weight of solid soil particles, indicated by the symbol %Mc. The test was carried out in accordance to standard (ASTM D2216-80, 2004).

Specific gravity is the ratio between the weight of soil in a certain volume and the equivalent weight of the same volume of distilled water at a temperature of 20 °C. The samples were measured according to (ASTM D854-14, 2014).

Atterberg limit is the consistency of the soil, mainly affected by the percentage of water content, as it controls the extent of fraction and cohesion of its particles. Liquid and plastic

limits are tested according to the American standard (ASTM D4318-14, 2004). Plasticity index is expressed in the following relationship:

$$PI = LL - PL \text{-----} (1)$$

Where: *PI*: Plasticity index; *LL*: Liquid limit; *PL*: Plastic limit

Engineering Properties

Standard Proctor is conducted according to the American standard (ASTM D-698, 2004). Compaction is the process of soil condensation through the application of mechanical force (Holtz and Kovacs, 1981). Compression increases the soil's bearing capacity, density, and shear resistance, but reduces porosity, permeability, void ratio, and settling, and this helps stabilize the site's soil when constructing airstrips, roads, and earth dams (Prakash and Jain, 2002).

Chemical Properties

Chemical tests provide the necessary information about the suitability of using soil in construction or engineering projects in general. All tests are conducted according to British standards (BS 1377-3-1990).

pH: It is a measure of the acidity or alkalinity of soil. When the pH value is high (i.e., alkaline), this reduces water infiltration and increases compaction in the soil (Dewangan et al., 2023).

Gypsum content (Gyp): When the percentage of gypsum in the soil increases, this weakens the plasticity of the soil and reduces its ability to swell, and when it dissolves, it leaves voids and the resulting problems in these soils (Al-Abdullah, 2015).

Organic Materials Content (OMC): Organic matter is defined as a mixture of the remains of living organisms, whether plant or animal, in addition to other microorganisms. Shekheil et al. (1999) mentioned that organic materials reduce compressibility, bearing capacity, and shear resistance, and they affect moisture content, leading to consolidation.

Chlorine (Cl⁻): Although it does not often cause chemical damage to concrete, it can deteriorate concrete through a physical process that involves the crystallization of chloride salts near the concrete surface. This is sometimes referred to as salt weathering (BRE, 2005).

Sulfates (SO₃): One of the structural problems faced by concrete works is the attack of sulfate ions (Abbas, 2002). The durability of concrete may be attacked by liquids and soils containing sulfates, a phenomenon known as "sulfate attack." Damage occurs if the mortar or concrete is not resistant enough to the sulfate ions that attack it (Skalny et al., 2003).

Total Dissolved Salts (TDS): It is a measurement of the concentration of all dissolved salts in the soil. The presence of salts and their dissolution in the soil leads to major engineering problems, as they affect most of the geotechnical properties and cause corrosion of foundation concrete. Rocks found in the geological layers are the main source of salts in the soil (Tanji, 2004).

Correlation and Regression

It is the statistical relationship between variables to support the local construction industry; it is important to develop appropriate formulas that accurately represent soils to understand the geotechnical properties of soils in the study area (Karira et al., 2018). Correlation can be used to predict the chemical properties of soil from its physical properties, thus improving engineering design and saving time and money. Simple linear regression and multiple linear regression are used.

Simple Linear Regression Analysis (SLRA): It is the analysis of the relationship between two variables, one of which is dependent, and the other is independent.

Multiple Linear Regression Analysis (MLRA): It is the analysis of the relationship between more than two variables, one of which is dependent and the other variables are independent.

The chemical property is a function of the other properties according to the equation:

$$Y = b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + \dots + b_n X_n \text{ (Moore et al., 2007)-----(2)}$$

where: Y : dependent variable; b : constant; X : independent variable.

Physical properties were considered dependent (Finer percent, PL, LL, PI) and chemical properties independent (pH, Gyp, OM, TDS, SO_3 , Cl^-).

Results and Discussion

The United Soil Classification System (USCS) is relied upon to classify the soils of the study area. The grain size distribution results across the study area highlight a clear distinction between coarse soils in sites T1, T2 and T10 (1), where sand constitutes over 60% in sites T1 and T2 while gravel ratio reaching 43% in one of the samples from Site 10, and fine soils predominant in sites T3–T10, with an average silt content of 50.53% as demonstrated in Table (1) and Figure (3). Coarse soils, characterized by their high permeability and poor gradation, are more suitable for drainage but may require treatment for load-bearing applications. In contrast, fine soils exhibit cohesive properties, making them more stable under certain conditions but potentially problematic due to shrink-swell behavior. These findings align with the objectives of the study to evaluate soil suitability for engineering purposes.

Table 1: Results of grain size distribution.

Location	Gravel %	Sand %	Silt %	Clay %	USCS Sym *
T1	7	63	17	13	SM
T2	0	62	23	15	SM
T3	2	33	49	16	ML
T4	0	28	56	16	CL
T5	19	24	32	25	CL
T6	0	6	58	36	CL
T7	0	11	52	37	CL
T8	0	8	54	38	CL
T9	2	39	39	20	CL
T9	0	7	93	0	ML
T10	43	26	28	3	GC
T10	0	5	86	9	ML

*SM = Silty Sand; ML = Silt; CL = Clay; GC = Clayey Gravel

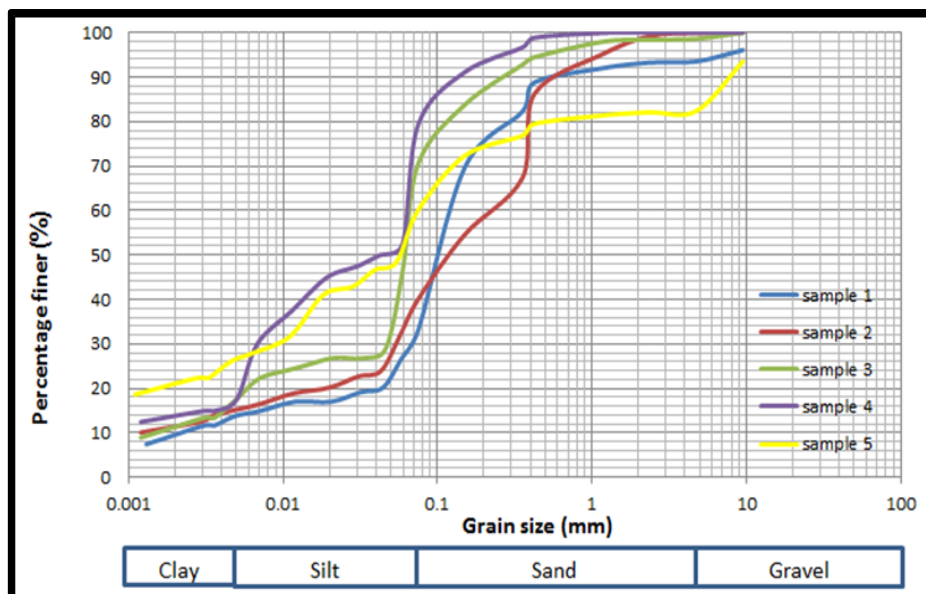


Fig. 3. Grain size distribution curve.

The results in Table 2 provide a key overview of the soil physical properties, including specific gravity, moisture content (Mc%), field density, and Atterberg limits. The field density results range from 1.47 gm/cm³ (T1) to 1.64 gm/cm³ (T5), indicating site-specific variations in compaction and soil properties. T1 shows the lowest density, likely due to poor compaction or high organic content, while T3 (1.82 gm/cm³) exhibits the highest, reflecting optimal compaction and favorable soil conditions. T2, T4, and T5 display intermediate densities influenced by factors such as moisture content, soil type, and compaction effort. These variations highlight differences in the load-bearing capacity and stability of the sites. Specific gravity values range from 2.64 to 2.81, indicating variations in mineral composition, with higher values observed in locations T3 and T5. Moisture content varies significantly; the lowest values are in T1 and T2 due to their coarse soil texture, while the fine-grained soils in T3–T5 exhibit higher moisture retention. Atterberg limit results classify most of the soils as cohesive (CL) except for T1, which exhibited non-plastic behavior due to its high sand content. These findings suggest that while coarse soils in T1 and T2 are suitable for drainage, fine soils in other locations may exhibit shrink-swell behavior requiring stabilization for engineering applications.

The plasticity chart illustrates the classification of soils based on Atterberg limits. Most samples are plotted within the CL (low plasticity clay) and ML (low plasticity silt) zones, indicating cohesive soils with moderate to high plasticity. Samples from T1 and T2, characterized by low liquidity indices, fall outside the cohesive zones, reflecting their sandy nature. These results align with the grain size distribution data and demonstrate that while CL and ML soils provide moderate stability, their plasticity requires careful consideration during construction, especially in areas prone to moisture changes, as shown in Figure 4. Table 2 represents the results of the Atterberg limits.

Table 2: Results of physical properties.

Location	Specific gravity	Mc%	PL%	LL%	PI%	Field density (gm/cm ³)
T1	2.64	8.48	Non P.			1.47
T2	2.74	6.82	23.34	28.345	5.005	1.59
T3	2.71	13.36	27.26	36.742	9.482	1.82
T4	2.74	14.81	17.33	30.911	13.581	1.53
T5	2.81	17.74	24.27	39.751	15.481	1.64
T6	/	15	22	49	27	
T7	/	20	/	/	/	
T8	/	/	18	32	14	
T9	2.72	21	27	42	15	
T10	2.61	4.4	18	33	15	

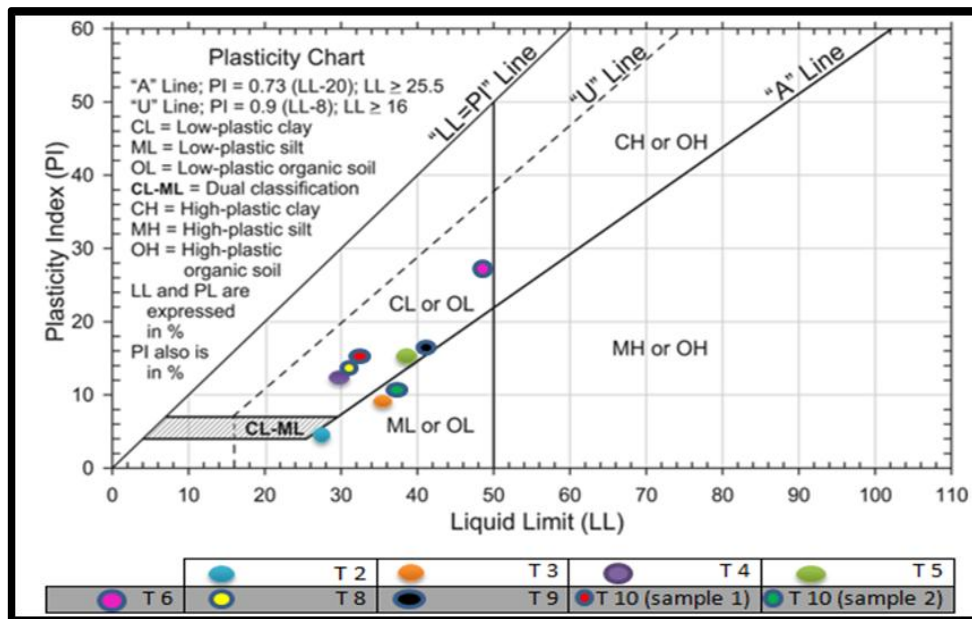


Fig. 4. Plasticity chart.

The results presented in Table 3 show slight variations in the optimum moisture content and maximum dry density across the five sites. The optimum moisture content ranges from 7% (T2 and T3) to 9.5% (T5), while the maximum dry density varies from 1.58 gm/cm³ (T5) to 1.69 gm/cm³ (T3). These differences can be attributed to the similarity in granular distribution and mineral composition across the sites. The higher moisture content in T4 and T5 may be due to the presence of higher salt content or organic materials, which require more moisture to achieve optimal compaction. Overall, the results indicate that the soil characteristics are relatively similar across the sites, which is reflected in the comparable values of dry density and moisture content.

Table 3: Results of standard compaction test.

Location	Optimum moisture content (%)	Maximum dry density (gm/cm ³)
T1	8.8	1.64
T2	7	1.676
T3	7	1.69
T4	9.4	1.568
T5	9.5	1.58

The soil pH levels varied across the study sites. Locations T1 to T7 exhibited a neutral to alkaline pH, while location T8 is classified as highly alkaline. Location T9 shows a moderate to slightly acidic pH, and location T10 is characterized as highly acidic, as per the classification by Raine et al. (2003). In terms of Gyp%, the soil in location T8 is found to be non-gypsum, whereas locations T1, T4, T6, and T7 have very low gypsum levels. Locations T2, T3, T5, and T9 are classified as low in gypsum, while location T10 is identified as having medium gypsum content based on the criteria established by Barzanji (1973).

According to Mahmood (1997), OMC in locations T3, T4, T6, T7, and T8 was considered ineffective, whereas locations T1, T2, T5, and T9 showed relatively significant levels, with values exceeding 2% in location T10. Cl⁻ concentrations were reported to be high in locations T2, T3, and T5, while the other locations exhibited normal levels, as per (NCCL, 2001). Concerning SO₃, all sites except for location T10 were within normal limits according to (NCCL, 2001). Finally, TDS in all samples from the study sites were within permissible limits, also in accordance with (NCCL, 2001). The detailed results of the chemical tests are summarized in Table 4.

Table 4: Results of chemical properties

Location	Gypsum%	O.M %	SO ₃ %	pH	Cl-%	T.D.S%
T1	1.9	1.12	0.88	8.02	0.091	2.14
T2	4.19	0.89	1.95	7.98	0.117	5.2
T3	3.8	0.43	1.77	8.03	0.120	4.1
T4	2.2	0.16	1.02	7.85	0.087	3.4
T5	4.8	1.67	2.25	8.05	0.116	5.28
T6	0.58	0.15	0.27	8	0.023	1.55
T7	0.789	0.35	0.367	8	0.005	1.47
T8	0.24	0.27	0.11	9	0.07	0.61
T9	6.390	0.997	2.972	5	0.065	6.686
T10	12.34	2.931	5.738	4.9	0.043	6.679

In light of the results of correlation and regression relationships between the physical properties as dependent variables and the chemical properties as independent variables, the results of simple regression (SLRA) showed that there are weak relationships between the percentage of sulfate, pH, TDS, OM, and gypsum with the dependent variables separately, as the R² value did not exceed 0.2 in most cases. The relationships shown in the figures below (Fig. 5-Fig. 28), except for chlorine, where R² for the relationship between chloride and the plasticity index was (0.62) as presented in Figure 7, and between chlorine and the percentage of fines was (0.478) as indicated in Figure 5.

On the other hand, the results of the multiple linear regression analysis (MLRA) presented in Table 5 reveal strong correlations between plastic limit (PL), as the independent variable, and several dependent variables. The relationships included plastic limit (PL), with the TDS+pH+SO₃+Gyp, yielding an R² value of 0.9810; (PL) with TDS+SO₃+pH, also 0.9810; percentage of fines (F%) with Cl⁻+SO₃+OM+pH, a value of 0.9605; and PL with two variables (SO₃-pH%), achieving an R² of 0.9061. These findings suggest that other variables are significantly influenced by PL variations.

Additionally, a strong correlation was observed between plastic limit and TDS, SO₃, pH, and Gyp (R² = 0.9513), and between plasticity index (PI) with (SO₃-pH-Cl⁻%) (R² = 0.9423). The relationship between total dissolved solids (TDS) and the dependent variables yielded a correlation coefficient exceeding 0.8, indicating a high level of accuracy. The study by Arasan and Yetimoglu (2008) found that increasing salt concentration raises the plastic limit of clay, while a decrease in salt concentration reduces it.

Regarding sulfate, organic matter, and gypsum content, and their relationships with dependent (physical) variables, the R² values ranged from 0.43 to 0.59, suggesting a low level of interpretation. Gu *et al.* (2022) reported that the liquid limit and plasticity index decrease with increasing sulfate content. Odell *et al.* (1960) observed that Atterberg limits increase with higher organic matter content, while Busch and Keller (1981) found a positive correlation between Atterberg limits and organic matter content. Ahmed *et al.* (2023) further explained that the plasticity index decreases with an increase in gypsum content.

It is noted that the strongest relationships when using simple and multiple regression are those for chlorine. Mahmoud and Jaafar (2017) mentioned that the Atterberg limits decrease with the increase in the percentage of chlorine.

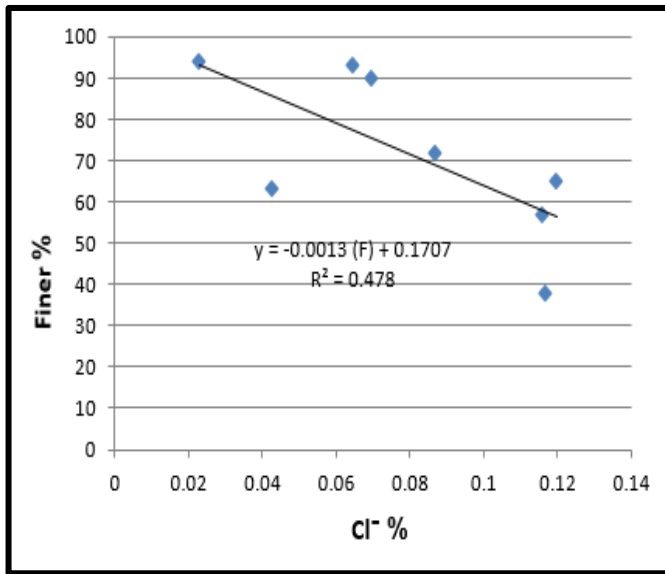


Fig. 5. Relationship between Finer% vs. Cl⁻%.

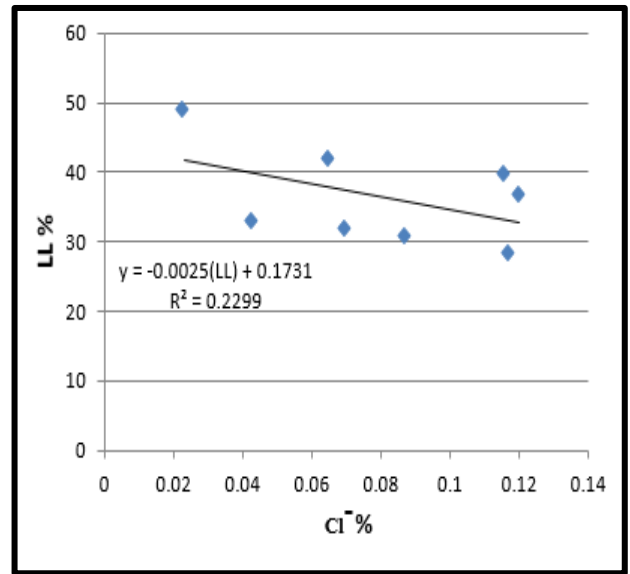


Fig. 6. Relationship between LL% vs. Cl⁻%.

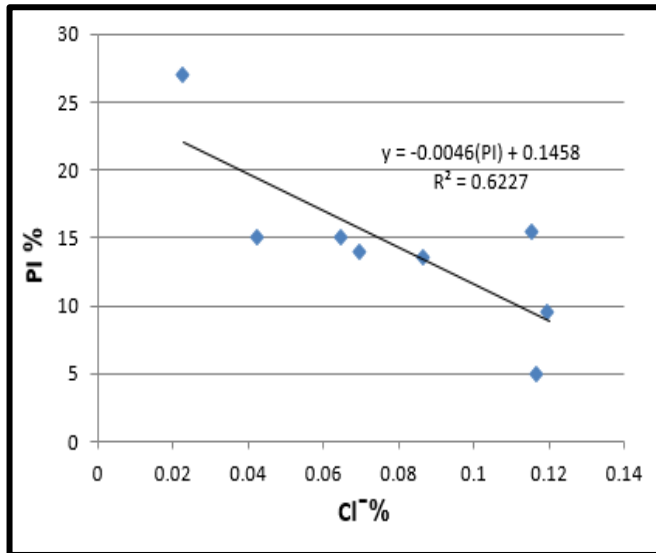


Fig. 7. Relationship between PI% vs. Cl-%.

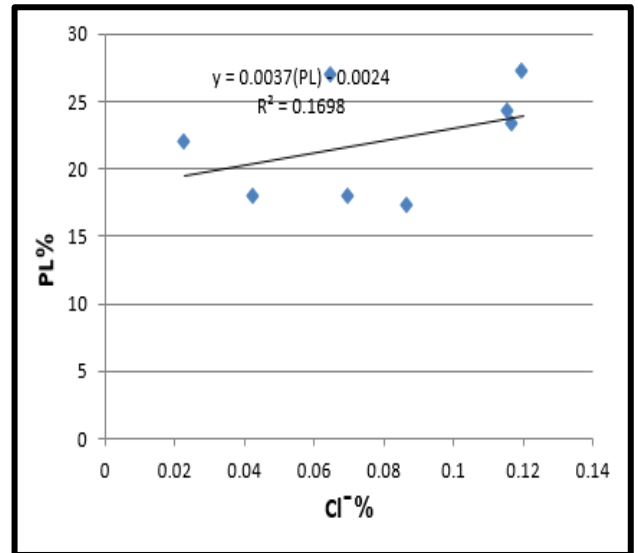


Fig. 8. Relationship between PL% vs Cl-%.

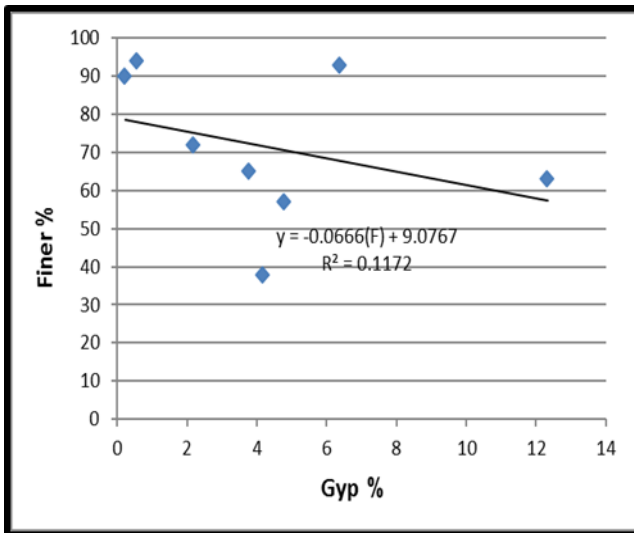


Fig. 9. Relationship between Finer% vs. Gyp%.

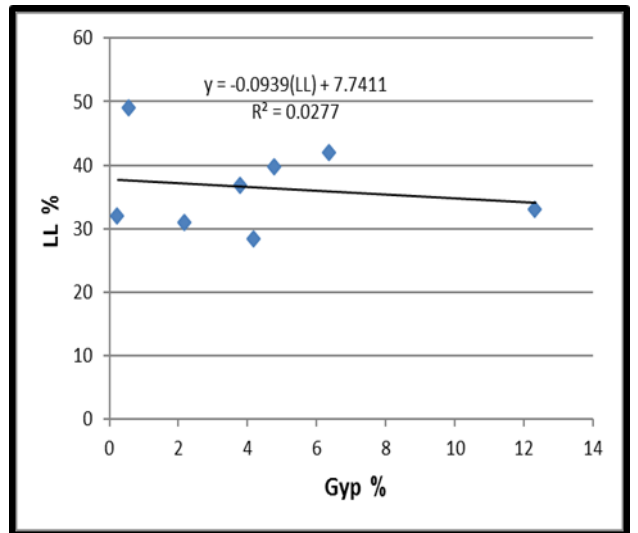


Fig. 10. Relationship between LL% vs. Gyp%.

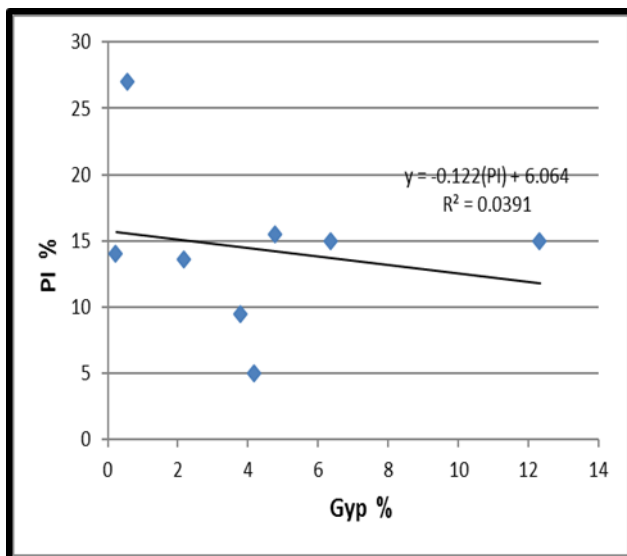


Fig. 11. Relationship between PI% vs. Gyp%.

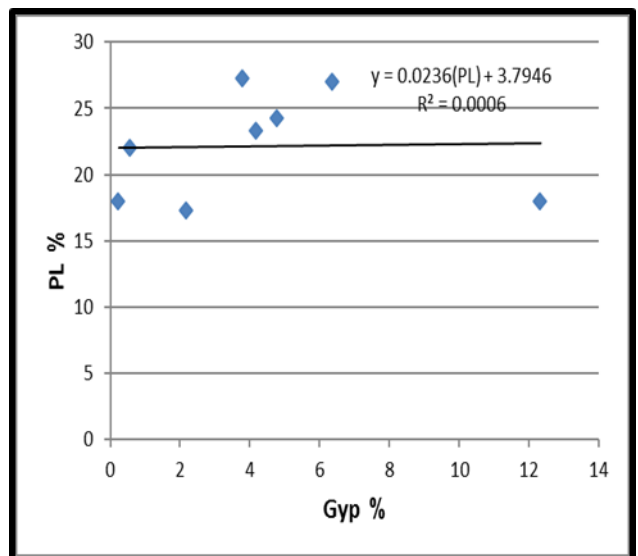


Fig. 12. Relationship between PL% vs. Gyp%.

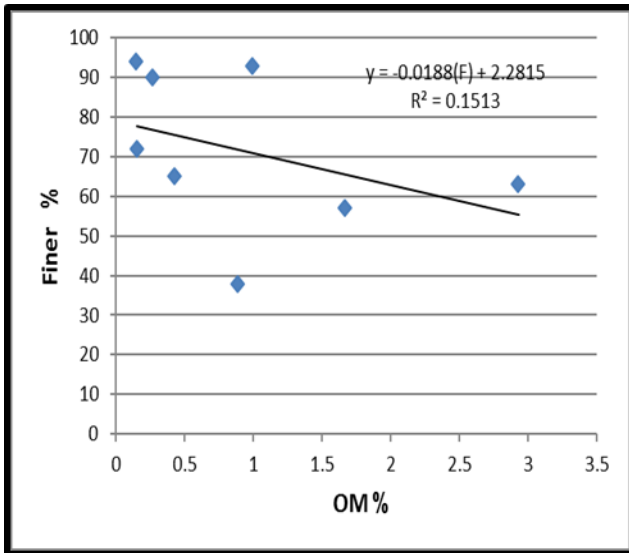


Fig. 13. Relationship between Finer% vs. OM%.

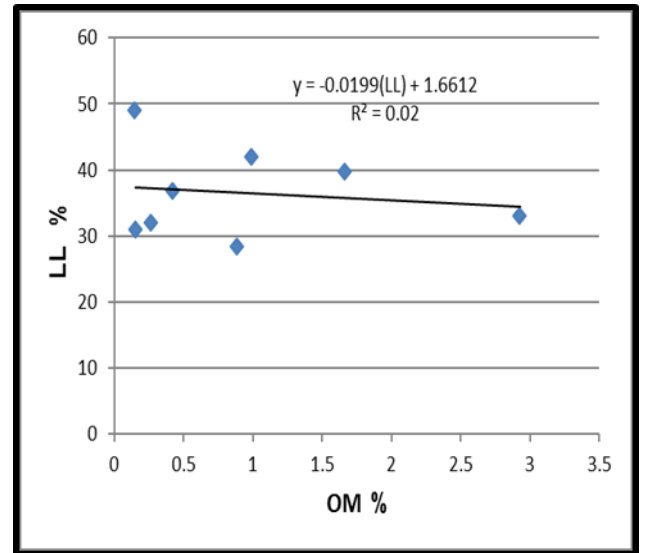


Fig. 14. Relationship between LL% vs. OM%.

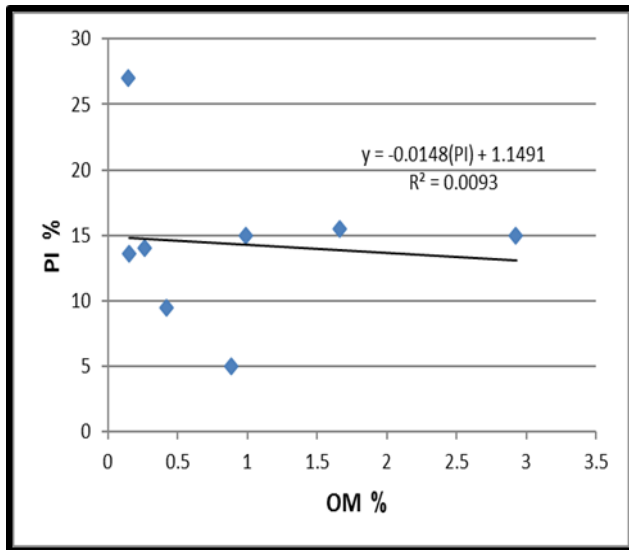


Fig. 15. Relationship between PI% vs. OM%.

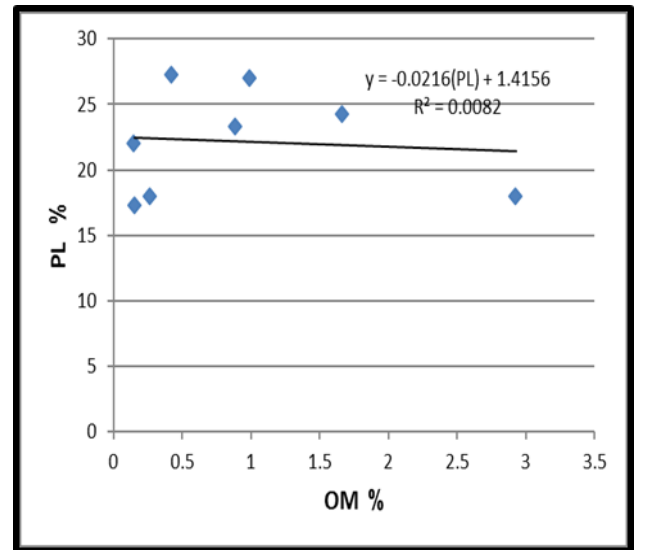


Fig. 16. Relationship between PL% vs. OM%.

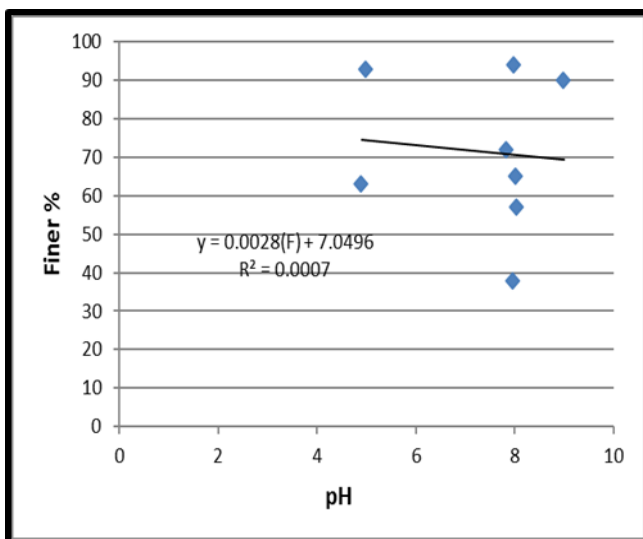


Fig. 17. Relationship between Finer% vs. pH%.

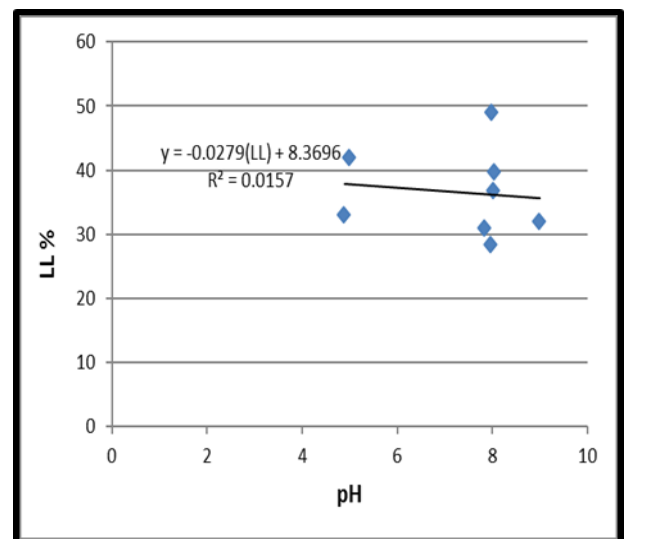


Fig. 18. Relationship between LL% vs. pH%.

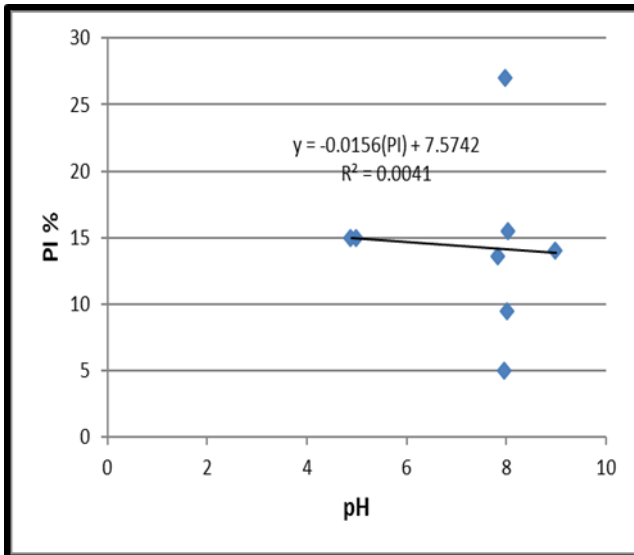


Fig. 19. Relationship between PI% vs. pH%.

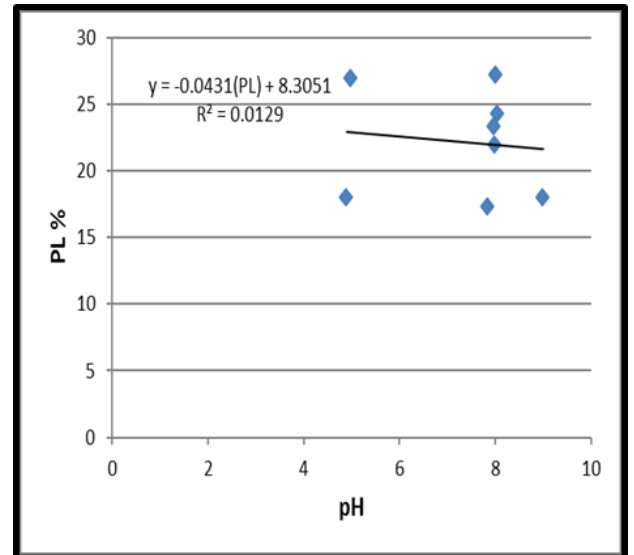


Fig. 20. Relationship between PL% vs. pH%.

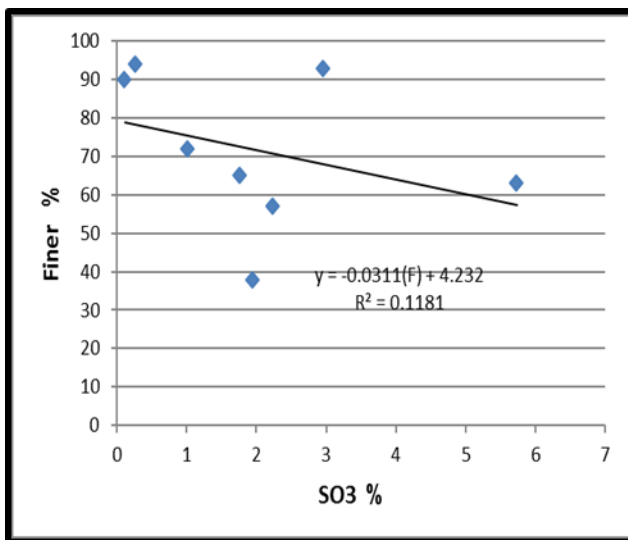


Fig. 21. Relationship between Finer% vs. SO₃%.

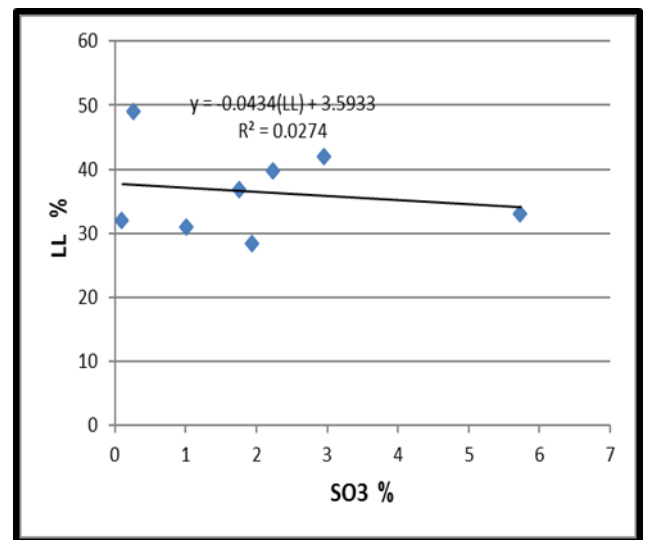


Fig. 22. Relationship between LL% vs. SO₃%.

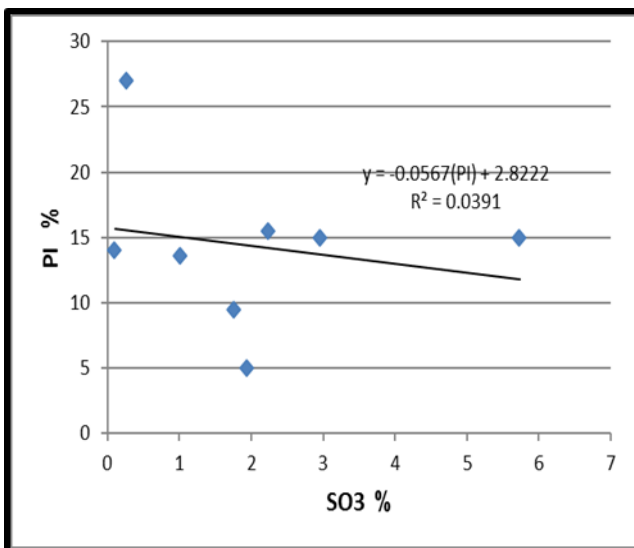


Fig. 23. Relationship between PI% vs. SO₃%.

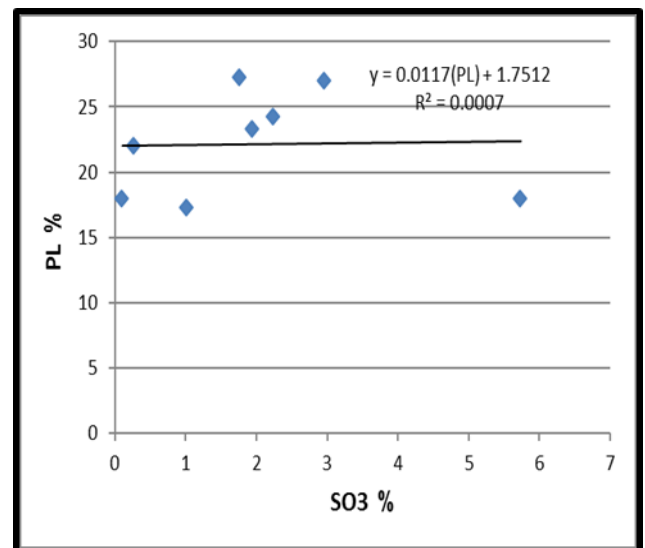


Fig. 24. Relationship between PL% vs. SO₃%.

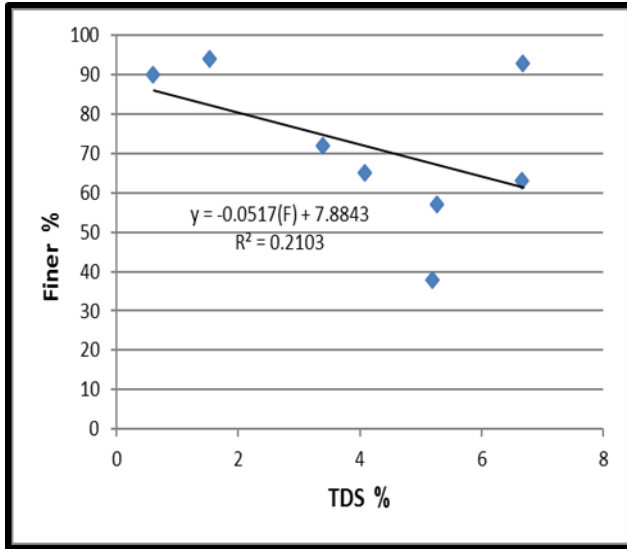


Fig. 25. Relationship between Finer% vs. TDS%.

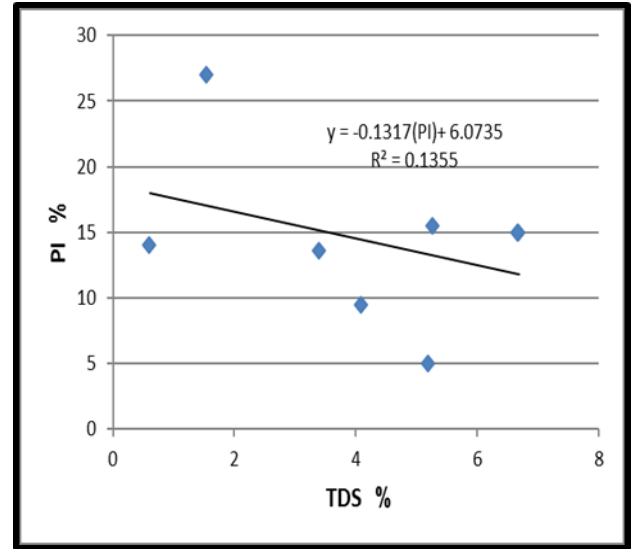


Fig. 26. Relationship between PI% vs. TDS%.

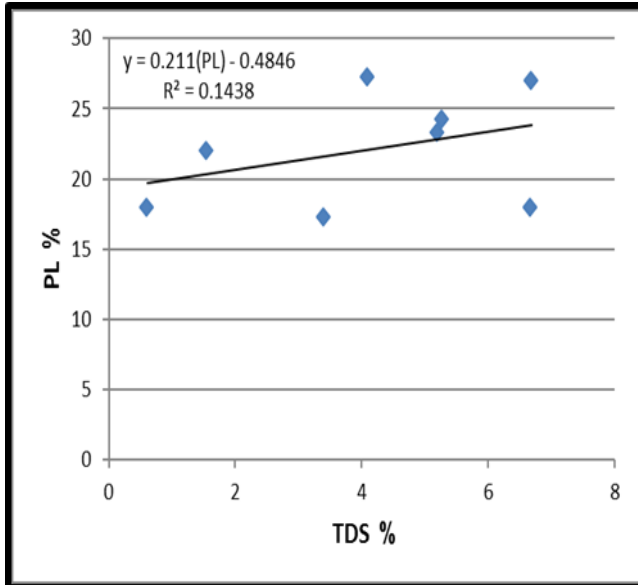


Fig. 27. Relationship between PL% vs. TDS%.

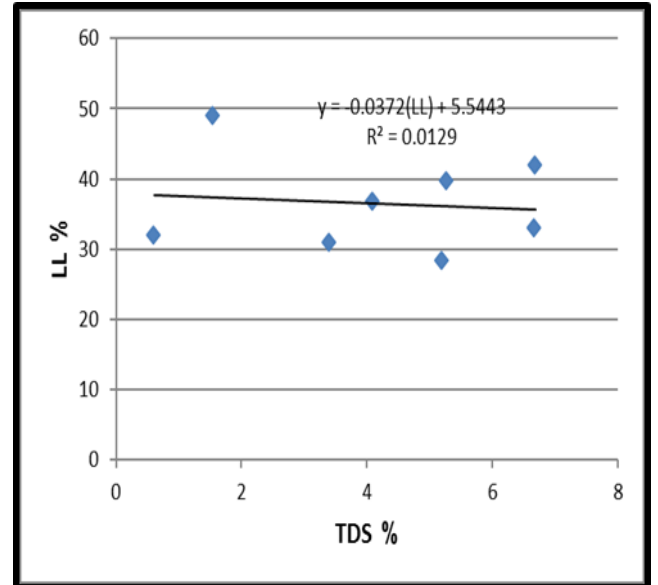


Fig. 28. Relationship between LL% vs. TDS%.

Table 5: Results of MLRA

Correlation	R ²
LL%=11.10 (TDS)-3.75 (Gyp)	0.8038
PI%=-1.14 (TDS)+2.67 (Gyp)-3.54 (SO ₃)+1.95 (pH)	0.8342
PI%=1.69 (pH) +0.35 (Gyp)	0.8271
PI%=0.59(OM) +3.62 (SO ₃)	0.4390
PL%=1.96 (SO ₃)+2.44 (pH)	0.9601
PL%=211.92 (Cl ⁻)+3.07 (OM)	0.8919
LL%=5.60 (pH) -77.66 (Cl ⁻)	0.9313
Finer%=400.05 (Cl ⁻) +6.43 (TDS)	0.7203
Finer%=8.52(pH)+1.65 (Gyp)	0.9034
LL%=1.77 (TDS)-31.26 (SO ₃) +3.75 (pH)+ 14.77(Gyp)	0.9513
PL%=2.87 (TDS)-1.63 (SO ₃) +1.80 (pH)	0.9810
PI%=1.52 (SO ₃)+3.40 (pH)-173.98 (Cl ⁻)	0.9423
Finer%=8.47 (pH)-22.16(OM) +6.63 (Gyp)	0.9136
Finer%=-537.60 (Cl ⁻)-30.01 (OM) +20.38 (SO ₃)+13.74 (pH)	0.7231
LL% =294.36 (Cl ⁻) -1.52 (OM) +4.48 (SO ₃)	0.8018
PI%=-2.86 (Gyp)+4.11 (TDS) +6.74 (OM)	0.6260
LL%=11.10 (TDS)-3.75 (Gyp)	0.8038
PL%=2.91 (TDS)+12.10 (Gyp) -27.71 (SO ₃)+1.80 (pH)	0.9810
Finer%=-537.60 (Cl ⁻)-30.01 (OM) +20.38 (SO ₃)+13.74 (pH)	0.9605
PI%=-1.14 (TDS)+2.67 (Gyp)-3.54 (SO ₃)+1.95 (pH)	0.8342
PI%=1.69 (pH) +0.35 (Gyp)	0.8271

PL%=-8.32 (OM)+10.50 (SO ₃)	0.5921
LL%=-7.72 (OM)+14.12 (SO ₃)	0.5488
Finer%=-27.87 (OM)+32.72 (SO ₃)	0.4885

Conclusions

Grain size analysis reveals a predominance of fine particles. Field density values varied, reflecting differences in soil composition and moisture content. Sandy soils, being less dense than clay soils, exhibit larger particle sizes and higher porosity. Standard Proctor test results indicated a relative consistency in maximum dry density and optimal moisture content, likely due to the presence of low-activity minerals like kaolinite, sample homogeneity, and higher salt concentrations. Chemical tests demonstrated that site T10 exhibits a significant increase in most measured properties.

Simple regression shows no strong relationships between the properties, except for a moderate correlation between chlorine and physical properties. However, multiple regression analysis improved the correlations, particularly between pH and chlorine. MLRA provides that suggested variations in pH could influence Atterberg limits. While relationships between physical properties and gypsum, TDS, organic matter, and sulfate percentages are observed, showing weaker R² values, likely due to the low concentrations of these properties in the study area's soil.

Acknowledgements

The authors would like to express their profound gratitude to everyone who contributed to this work, whether through guidance, insights, or valuable feedback.

References


- Abbas, Y.Y., 2002. Mechanism of penetration of sulfur salts into concrete, Unpublished Master's thesis, University of Technology, (in Arabic).
- Ahmed, A.M., Othman, B. S., and Ahmad, F. M., 2023. Production of geotechnical maps of the south-west of the city of Kirkuk using geographic information systems. *International Journal of Geography, Geology and Environment*, 5 (2), pp.181–191. <https://doi.org/10.22271/27067483.2023.v5.i2b.190>.
- Al-Abdullah, A.S., 2015. The effect of soil gypsum content on its compressibility and stabilization. *Al-Baath University Journal*, 37, 33-51 (In Arabic).
- Ali, A.R., Al-Mufti, T.M., and Taqi, C.M., 2021. Geochemical distribution of some heavy metals in agricultural soil and their environmental impacts in Kirkuk, Northern Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 54 (2), pp. 75-92. <https://doi.org/10.46717/igj.54.2A.6Ms-2021-07-27>.
- Aljuboori, N.S., and Çetin, H., 2019. Improvement of soil by using a structural repair mortar. *Journal of Science and Engineering*.
- Al-Kahdaar, R.M., and Al-Ameri, A.F.I., 2010. Correlations between physical and mechanical properties of Al-Ammarah soil in Messan Governorate. *Journal of Engineering*, 16(04), pp. 5946-5957.
- Al-Kasabi, A.A., 1993. *Soil Mechanics*, Dar Al-Kutub Al-Ilmiya Publishing, Cairo, Egypt, 7 P. (In Arabic).
- Al-Sultani, N.K., Al-Amar, H.A., and Al-Zubaydi, J.H., 2023. Geotechnical properties of soil slopes of the Great Musaiyab project, Babylon, Middle of Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 56(1), pp. 273-280. <https://doi.org/10.46717/igj.56.1B.20ms-2023-2-28>
- Arasan, S., and Yetimoğlu, T., 2008. Effect of Inorganic Salt Solutions on the Consistency Limits of Two Clays. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 32(2).

- ASTM D2216-80, 2004. Standard test method for moisture content of soil. ASTM International.
- ASTM D854-14. 2014. Standard test method for specific gravity of soil solids by water pycnometer. ASTM International.
- ASTM, D 4318.14, 2004. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.
- ASTM D - 698, 2004. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil.
- ASTM D2937-10, 2016. Standard Test Method for Density of Soil in Place by the Drive-Cylinder Method.
- ASTM D-422, 2004. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- B.S.1377-3, 1990. Methods Of Testing Soil for Civil Engineering Purposes, British Standards Institution, London.
- Barzanji, A.F., 1973. Gypsiferous soils of Iraq (Doctoral dissertation, Ghent University).
- Buday, T., and Jassim, S.Z., 1987. The regional geology of Iraq, vol 2: tectonism, magmatism and metamorphism, SE Geol. Surv. and Mineral Invest, Baghdad.
- Building Research Establishment (BRE), 2005. Concrete in Aggressive Ground (3rd ed., Special Digest 1). Building Research Establishment.
- Busch, W.H., and Keller, G.H., 1981. The physical properties of Peru-Chile continental margin sediments: the influence of coastal upwelling on sediment properties. *Journal of Sedimentary Research*, 51(3), 705-719.
- Certified M.T.P., 2024. Field Density Test Methods for Reliable Soil Analysis. Retrieved 23 January 2025, from <https://blog.certifiedmtp.com/field-density-test-methods-for-reliable-soil-analysis/>.
- Dewangan, S.K., Shrivastava, S., Kumari, L., Minj, P., Kumari, J., and Sahu, R., 2023. The effects of soil pH on soil health and environmental sustainability: A review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 10(6), 611-616.
- Fouad, S.F., 2015. Tectonic map of Iraq, scale 1: 1000 000, 2012. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 11(1), pp. 1-7.
- Gu, L., Zhang, J., Guo, L., and Lv, Q., 2022. Effect of Sulfate on the Aggregation of Clay Particles in Loess. *Front. Earth Sci.* 10:790882. DOI: [10.3389/feart.2022.790882](https://doi.org/10.3389/feart.2022.790882)
- Holtz, D.R. and Kovacs, D.W., 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall, Inc, 110 P.
- Ibrahim, R.A. and Tokmachy, A.A., 2023. Study of Geotechnical Properties of Clays in the Laylan Region and their Suitability in the Brick Industry in Northeastern Kirkuk, Northern Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 56(2), pp. 37-47. <https://doi.org/10.46717/igj.56.2E.3ms-2023-11-8>
- Karim, K.H., 2011. *The Geology of Iraq: Basic Principles*. Res Gate. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3052.6245>
- Karira, H., Kumar, A., Raja, A., and Murtaza, A., 2018. Correlation between chemical and index properties of soils of the Hyderabad region. *Civil Engineering Journal*, 4(12), pp. 2821-2839. <https://doi.org/10.28991/cej-03091201>

- Khairul, N., Lee, C., Phuai, P., and Saiful, A., 2006. The Correlations Between Chemical and Index Properties for Soft Clay of Peninsular Malaysia. *Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2006)*, January 2006, 152–161.
- Mahmoud, R.A. and Jaafar, I.M., 2017. Study of the proportions of sulphates, chlorides, and carbonates and their effect on engineering behavior in shallow loading layers in selected areas of the city of Basra / southern Iraq. *Journal of the University of Babylon*, 25 (1), 160–171 (In Arabic).
- Mahmood, R.A., 1997. Some geotechnical properties of recent Quaternary sediments in Basra city. Unpublished M. Sc. Thesis, College of Science, Basra University (In Arabic).
- Mohamed, A.I., Aljuboori, N.S., and Al-Jawadi, A.S. 2024a. Tracking Shaft Integrity of Jet Grouting Piles Injected in Soft Soil Layers Based on Sonic Integrity Test Method: A Case Study from Erdemli, Mersin Region, South Turkey. *The Iraqi Geological Journal*, 57 (2), pp. 54-66. <https://doi.org/10.46717/igj.57.2E.5ms-2024-11-14> .
- Mohamed, A.I., Saadi, S.W., Gart, I.H., and Mohammed, F.O., 2024b. Assessing the Improvement of Geotechnical Properties of Clayey Soil Using a Substrate Cement Mortar Material, from Ilgin, Konya City, Turkey. *The Iraqi Geological Journal*, 57 (2), pp. 162-176. <https://doi.org/10.46717/igj.57.2A.12ms-2024-7-22> .
- Moore, A.W., Anderson, B., Das, K., and Wong, W.K., 2007. Combining multiple signals for biosurveillance. *Handbook of Biosurveillance*, 235 P.
- NCCL (National Center of Construction Laboratories), 2001. *Materials and construction specifications*. Baghdad.
- Odell, R.T., Thornburn, T. H., and McKenzie, L. J. 1960. Relationships of Atterberg limits to some other properties of Illinois's soils. *Soil Science Society of America Journal*, 24(4), pp. 297-300.
- Raine, J., Stephan, G., and Rashid, A., 2003. *Laboratory Manual for Soil and Plant Analysis*, first edition in Arabic, jointly published by the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARD) and the National Foundation for Agricultural Research. This manual is available at ICARD, Aleppo, Syria, 172 P.
- Roodposhti, H.R., Hafizi, M.K., Kermani, M.R.S., and Nik, M.R.G., 2019. Electrical resistivity method for water content and compaction evaluation, a laboratory test on construction material. *J Appl Geophys*, 168, pp. 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.05.015>
- Prakash, S., and Jain, P.K., 2002. *Engineering soil testing*. Roorkee: Nem Chand and Bros.
- Shikhil, N., Farid, A., and Thomas, N., 1999. *Chemistry handbook* (3rd ed.). National Center for Construction Laboratories, Performance Development Program (In Arabic).
- Sissakian, V.K., 2000. *Geological Map of Iraq*, 3rd Edition, scale 1:1000 000. GEOSURV, Baghdad, Iraq.
- Skalny, J., Marchand, J., and Odler, I., 2003. *Sulfate attack on concrete* (No. 15832). Taylor and Francis.
- Tanji, K.K., 2004. Salinity in the Soil Environment. Chapter 2 in *Salinity Environment- Plants Molecules*, A. Lauchli and L. Lutteg (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Verma, S.K., Akhtar, S., and Shrivastava, S., 2017. Assessment of Particles of Varied Soil by Grain Size Analysis—A Case Study in Jabalpur, M.P., *International Journal of Engineering Research and Application*, 7(7), pp. 32-37. DOI:[10.9790/9622-0707093237](https://doi.org/10.9790/9622-0707093237)



Study of the Physical and Chemical Properties of Phosphogypsum Used in the Manufacture of Gypsum Board and Plaster

Nour I. Al-Nuaimi^{1*}, Kotayba T. Al-Youzbakey² 

¹ Department of Geology and Petroleum, College of Science, University of Mosul, Mosul, Iraq.

² Dams and Water Resources Research Center, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 27- Nov -2024

Revised: 09- Jan -2025

Accepted: 24- Feb -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Phosphogypsum,
Gypsum,
Board,
Plaster,
Slime,

Correspondence:

Name: Nour I. Al-Nuaimi

Email:
nour.23scp90@student.uomosul.edu.iq


ABSTRACT

Phosphogypsum is a by-product of the reaction of sulfuric acid with concentrated phosphate ores to produce phosphoric acid, the latter being the most important acid in the production of all types of phosphate fertilizers. This process takes place in the Iraqi General Phosphate Company in Al-Qaim District, west of Iraq. Phosphogypsum waste is disposed of in large quantities, and the increase and accumulation of this material requires large basins to absorb and preserve; therefore, the use of phosphogypsum in construction industries leads to its disposal. Mineral analyses showed that phosphogypsum is composed of gypsum. Chemically, phosphogypsum consists of (CaO=33.3) (SO₃=44.6) (H₂O=20.05), and the rest of the oxides enter into the sulfate compounds. Phosphogypsum in the present study was used in gypsum board production by adding slime (the by-product of calcining the carbonate part of phosphate raw materials) at a ratio of (90 phosphogypsum: 10 slime), which is called the selected mixture. The suitability of the mixture was evaluated by conducting physical tests, and the results were consistent with the Iraqi standard specifications (ISS, 2015). The mixture was tested by physical tests (compressive strength test (5.51 N/mm²) and fracture criteria (3.295 N/mm²). Phosphogypsum can also be used as a plaster material for interior wall cladding, and the results of the physical tests were consistent with the (ISS, 2015); compressive strength (5.74 N/mm²), fracture toughness (1.937 N/mm²), fineness (5.5-7.5), consistency (18 min), and standard texture (56.8-58.4) %. Mineralogical and chemical analyses were conducted on the approved mixes, which complied with (ISS, 2015). The use of industrial waste, such as phosphogypsum and slime, not only alleviates environmental problems but also provides new resources for the construction industry and reduces the use of natural raw materials.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56082](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56082), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

دراسة الصفات الفيزيائية والكيميائية لمادة الفوسفوجبسوم المستخدم في صناعة الجبس بورق والجص

نور إسماعيل إبراهيم¹، قتيبة توفيق اليوزبكي² 

¹ قسم علوم الأرض والنفط، كلية العلوم، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

² مركز بحوث السدود والموارد المائية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

معلومات الارشفة	الملخص
تاريخ الاستلام: 27- نوفمبر - 2024	<p>الفوسفوجبسوم ناتج عرضي لتفاعل حامض الكبريتيك مع خامات الفوسفات المركزة لإنتاج حامض الفوسفوريك، وهو الحامض الأهم في إنتاج جميع أنواع الأسمدة الفوسفاتية. تتم هذه العملية في الشركة العامة للفوسفات العراقية في قضاء القائم، غرب العراق. يتم طرح الفوسفوجبسوم كنفائيات بكميات كبيرة، ويتطلب تزايد وتراكم هذه المادة أحياناً كبيرة لتخزينها، لذا فإن استخدام الفوسفوجبسوم في الصناعات الإنشائية يؤدي إلى التخلص منه. أظهرت التحاليل المعدنية أن الفوسفوجبسوم يتكون من معدن الجبس. وكيميائياً، يتكون من (CaO=33.3) و (SO₃=44.6 و H₂O=20.05)، بينما تدخل بقية الأكاسيد الرئيسية في مركبات الكبريتات. استخدم الجبسوم الفوسفاتي في هذه الدراسة في إنتاج ألواح الجبس بإضافة مادة السلايم (ناتج عرضي من عملية كلسنة الجزء الكربوناتي في خامات الفوسفات) بنسبة (90 فوسفوجبسوم : 10 سلايم)، وهو ما يُسمى بالخلطة المُختارة. وقُيِّمت ملائمة الخلطة بإجراء اختبارات فيزيائية، وكانت النتائج متوافقة مع المواصفات القياسية العراقية (ISS, 2015)، تم اختبار الخليط عن طريق الاختبارات الفيزيائية (اختبار المقاومة الانضغاطية (5.51 نيوتن / مم²) ومعايير الكسر (3.295 نيوتن / مم²). يمكن أيضاً استخدام الفوسفوجبسوم كمادة ملاطية لأكساء الجدران الداخلية للمباني، وكانت نتائج الاختبارات الفيزيائية متوافقة مع (ISS, 2015)، قوة الضغط (5.74 نيوتن/مم²)، صلابة الكسر (1.937 نيوتن/مم²)، النعومة (5.5-7.5) %، التماسك (18 دقيقة)، والقوام القياسي (56.8-58.4) %. أجريت التحاليل المعدنية والكيميائية على الخلطات المعتمدة، والتي كانت متوافقة مع (ISS, 2015)، إن الاستفادة من النفايات الصناعية مثل الفوسفوجبسوم والسلايم لا يقلل من المشاكل البيئية فحسب، بل يولد ويوفر موارد جديدة لصناعة البناء. ويقلل من استخدام الموارد الخام الطبيعية.</p>
تاريخ المراجعة: 09- يناير - 2025	
تاريخ القبول: 24- فبراير - 2025	
تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026	
الكلمات المفتاحية: الفوسفوجبسوم، الجبسوم بورق، الجص الفني، السلايم،	
المراسلة: الاسم: نور إسماعيل إبراهيم Email: nour.23scp90@student.uomosul.edu.iq	

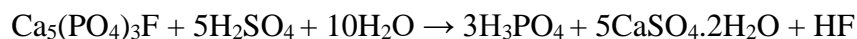
DOI: [10.33899/injes.v26i2.56082](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56082), © Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Due to the presence of phosphate industry waste in the General Company of Iraqi Phosphates (slime and phosphate gypsum) in large quantities and the resulting environmental impacts (Fig.1), the idea of recycling these two materials was proposed in a field where the largest possible quantity of them is consumed, which is the field of construction industries. Slime is generally composed of calcium hydroxide (Ca (OH)₂), which is produced by calcining sedimentary phosphate rocks containing carbonates (Ridah, 2017), in the range of 950 - 1000°C, to raise the level of P₂O₅ to more than 25-26 % (Sybtra, 1979a; Abouzeid, 2008). Then it is washed with water and passed through sieves of size less than 40 microns using the wet sieving method to separate the soft slime components from the coarse phosphate materials, which leads to raising the concentration of P₂O₅ to (30-31) %. The slime has a high basic function.

Phosphoric acid, which is the mainstay of phosphate fertilizer production, is produced by reacting sulfuric acid with concentrated phosphate ores. The reaction produces gypsum as a by-product called phosphogypsum (Sybtra, 1979b; Cheng *et al.*, 2020):



The chemical formula of phosphogypsum is identical to the chemical formula of gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), so this material can be recycled and used instead of natural gypsum after being dried at a temperature of (150°), as it loses ($3/4$) water molecules and turns into semi-hydrated gypsum (gypsum of Paris), which is more effective than phosphogypsum (Murali and Azab, 2023). When the heating temperature is increased to (230°), the remaining water is lost and converted into anhydrous calcium sulfate (Chistensen *et al.*, 2008), which is known as anhydrite (CaSO_4). The anhydrite can be converted back into gypsum by adding water (Founie, 2003). Phosphogypsum has a low pH (2.37-5.33).

Gypsum board is one of the main application fields of gypsum. When phosphogypsum is used as the main raw material of gypsum in gypsum board, it can relieve the pressure of efficient use of gypsum resources and solve the problem of phosphogypsum waste accumulation. Therefore, under the current strict green and low-carbon environmental requirements and other important factors, phosphogypsum board can be researched and produced (Guedri *et al.*, 2023). The use of phosphogypsum as a Gypsum (plaster) for plastering and finishing buildings is one of the most essential construction industries.

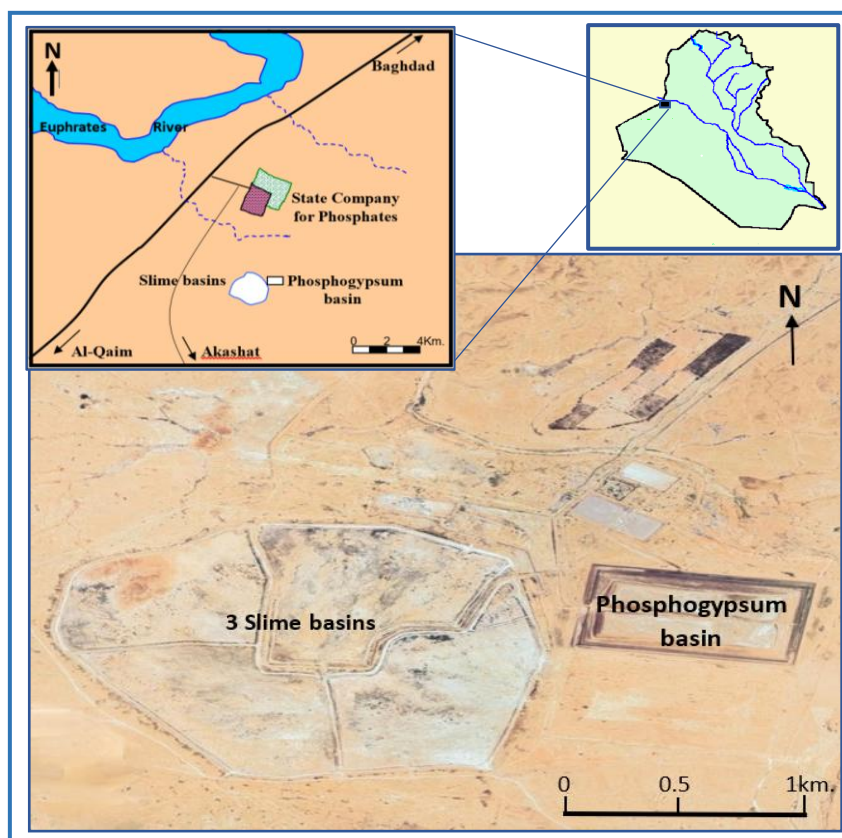


Fig. 1. The location maps of the by-products (phosphogypsum and slime) in the General Company of Iraqi Phosphates.

Sunil (2001) relied on making hollow blocks of lime, phosphogypsum, and fly ash for walls and determining the compressive strength, water absorption, and weight amount that allows the scope of using phosphogypsum in other fields. Phosphogypsum has been used in glass-reinforced gypsum boards. It has been observed that phosphogypsum binder is suitable for making masonry plaster by the mixture (phosphogypsum: sand) with a ratio of 4:1, which

gives a compressive strength of 3.5-4.5 MPa (Singh, 2012). A study by Naik *et al.* (2014) showed that bricks made of gypsum phosphate, cement, and fly ash can be used in construction industries based on the results of physical tests, in addition to their use in construction industries as a plaster (gypsum) material used for plastering and finishing. Bandgar *et al.* (2016) and Yadav *et al.* (2024) studied the benefit of using phosphogypsum in ordinary Portland cement mixtures by significantly delaying the setting time. Phosphogypsum can be used economically up to five per cent as a component or admixture for cement plaster mixes, for both stone and brick construction. The optimum percentage of phosphogypsum to be added to concrete is 7.5%. Srinivasalu and Raghava (2017) pointed out that compressive strength is the most important measure of hardened concrete. The phosphogypsum content that will provide the highest strength to concrete can be found by testing several phosphogypsum additives of 0.5%, 5%, 7.5%, and 10%. It was observed that phosphogypsum in partial form can be used to make very strong and hardened concrete for commercial use when used instead of cement. Murali and Azab (2023) pointed out that storing phosphogypsum for long periods can lead to contamination of soil and groundwater after rainfall, surface water, and groundwater. Weiksnar and Townsend (2024) indicated that the processing of phosphate ore through the wet process to produce phosphoric acid is a common practice in the production of fertilisers, cleaning products, and food additives worldwide and results in a by-product of calcium sulfate known as phosphogypsum.

The study aims to estimate the physical and chemical properties of gypsum boards and plaster used as construction materials that have been manufactured from phosphogypsum and compare their specifications with Iraqi standard specifications (ISS, 2015).

Materials and Methods

The phosphogypsum material was taken from its storage basin at a depth of about 20 cm, to avoid the dust layer covering the phosphogypsum material in the basin. As for the slime material, it was taken from the slime basin in the same way as above.

Phosphogypsum was used in making gypsum board by adding slime to it in specific ratios (10, 20, 30, and 40 %) and pouring it into rectangular molds (2*2*8cm) in the case of examining the fracture criteria. Cylindrical molds with a diameter of 3.5 cm and a height of 5 cm were made to test the compressive strength. The compressive strength and fracture modulus were calculated according to the following equations:

$$R = 3PL / 2bd^2 \dots\dots\dots (1)$$

R: Fraction Criteria

P: Maximum Load

L: Span Length

b: Width of Specimen

d: Depth Specimen

$$\text{Compressive Strength} = \text{Load (N)} / \text{surface Area (mm}^2\text{)} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Surface Area of Cylinder} = \pi r^2$$

Phosphogypsum is also used as a basic material for producing plaster. Because phosphogypsum is a white, highly fine material, it does not require any additives. Phosphogypsum is prepared by heating it at a temperature of 150° C for two hours, turning it into semi-hydrated calcium sulfate, which is more effective than hydrated calcium sulfate. The best mixing of phosphogypsum and water is with a ratio of 1:1, which is equivalent to 100

g/100ml. The dough is formed and poured into cylindrical molds (3.5*5cm) in the case of testing the compressive strength according to the ISS (2015), and left to dry. When the shiny surface layer of the dough dries, it is evidence of initial solidification (Craig et al., 2004). The heat emission from the mixture, the possibility of the mold separating, and the state of cohesion help determine the final state of hardening. Engineering tests were conducted (strength test, fracture standard, hardening time, fineness, standard consistency). The hardening time was measured by a Vicat device. The tests were conducted in the College of Engineering / Department of Civil Engineering / Materials Testing Laboratory / University of Mosul according to (ISS, 2015).

The mineralogical analysis of both the plaster and the gypsum board of the best mixture (90:10) was performed by X-ray diffraction technique in the National Center for Structural Inspection in Baghdad; the identification of minerals was done according to the standard methods adopted by the center.

The main oxides of phosphogypsum, slime, plaster, and the selected mix of gypsum board (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, SO₃) were analyzed by X-ray fluorescence technique in the German laboratory of the Department of Earth Sciences - College of Science - University of Baghdad.

A slide was made for both the plaster and the gypsum board (selected mix) at the University of Tehran for petrographic study.

Results and Discussion

Phosphogypsum and Slime Chemistry:

Table 1 shows the chemical analysis of phosphogypsum and slime, which are the raw materials for producing the mixtures. Calcium oxide and sulfur trioxide are the main components of phosphogypsum, CaO (33.3%-32.5%) and SO₃ (44.60-46.6%), while CaO is the main component of slime, about (57.1%-58.1%).

Table 1: Chemical analyses of phosphogypsum and slime in the present study.

Oxides (Wt%)	Phospho-gypsum 1	Phospho-gypsum 2	Slime 1	Slime 2
SiO ₂	0.54	0.41	2.85	2.85
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.6	0.64
Fe ₂ O ₃	0.01	0.01	0.32	0.33
CaO	33.3	32.5	57.1	58.1
MgO	0.01	0.01	1.04	1.06
Na ₂ O	0.06	0.05	0.29	0.30
K ₂ O	0.03	0.01	0.02	0.07
TiO ₂	0.01	0.01	0.04	0.04
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.38	0.37	12.1	12.25
SO ₃	44.60	46.60	2.25	2.22
CO ₂	0.00	0.00	7.19	6.21
Cl	0.01	0.01	0.05	0.05
F	0.35	0.33	1.22	1.30
H ₂ O ⁺	20.05	18.72	4.13	4.23
Total	99.37	99.05	99.74	100.22
O=Cl+F	0.15	0.14	0.52	0.56
Total	99.22	98.91	99.21	99.66

Petrography of gypsum board:

Petrographic examinations of the mixture indicate that it consists mainly of gypsum crystals with the presence of some large grains of phosphate components in a very small proportion coming from the slime material mixed with the mixture (Fig. 2). The presence of these phosphate components is the reason for the passage of some of these components during the wet sieving process (to separate the phosphate grains from the calcium hydroxide (slime)) due to the presence of some holes in the separation sieves that led to the transfer of some

phosphate components to the slime material. As for the cement material, it appears in the form of a mixture of gypsum and lime materials according to the mixing ratios.

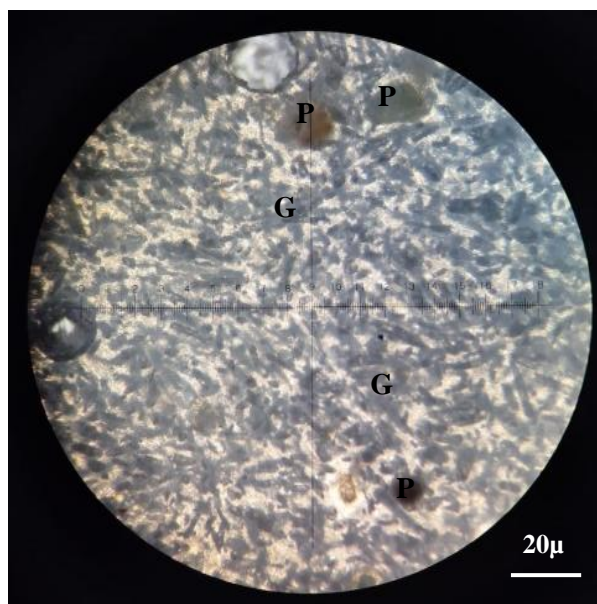


Fig. 2. The crystals of gypsum (G) and phosphatic grains (P) in gypsum board.

Mineral composition of gypsum board:

Mineral analyses of the gypsum board mixture indicated the presence of gypsum phase as the main mineral (Fig. 3).

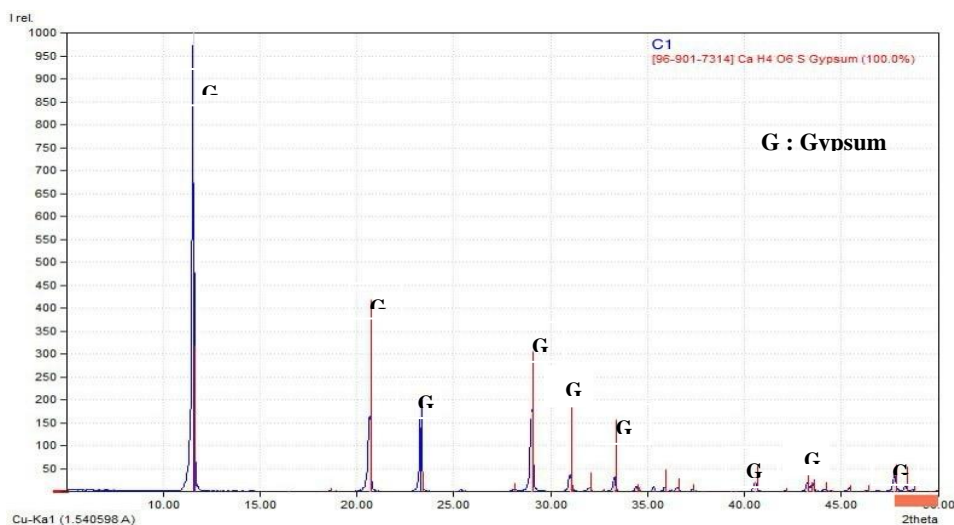
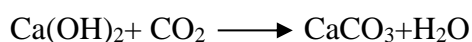


Fig. 3. XRD diagram of gypsum board.

Chemistry of gypsum board

The chemical analyses of gypsum board for the main oxides (CaO), (SO₃), (37.97), (41.64) respectively (Table 2). The ratio (CaO/SO₃) for calcium sulfate is (0.912), which is higher than the default ratio (0.70), indicating the presence of some impurities, including calcite or other calcium phases affiliated with it, which work to raise the ratio of (CaO) versus lowering the ratio of (SO₃), and this is due to the presence of slime material at a rate of (10%) in the mixture. The presence of calcite as impurities is attributed to the fact that during the calcining process of carbonate, limestone grains remain unaffected by the calcining process or as a result of the reaction of Ca (OH)₂ with atmospheric CO₂, forming CaCO₃, which is excreted with the slime, as in the following equation:



The presence of some phosphate granules within the components of the slime (as mentioned previously) led to the presence of P_2O_5 at a concentration of 4.98 wt%. As for (Na_2O), it is attributed to the oxides released from the calcination of the clay part through the calcination process of raw materials, so it goes with the slime, while the rest of the oxides appear as impurities within the phosphogypsum in sulfate compounds. The percentage of loss on ignition (11.67) wt%, which represents the combined water at a rate of (10.11) wt% in the phosphogypsum portion of the mixture, and the remaining percentage is due to CO_2 , which represents the carbonate portion in the amount of slime in the mixture.

Table 2: Chemical analyses of gypsum board and plaster in the present study.

Oxides (wt%)	Gypsum board	plaster	Iraqi Standard Specification (chemical) No. (28 of 2010/Amendment No. 10 of 2015).		
			Regular plaster	Bourke	Artistic plaster
SiO_2	0.53	0.76			
TiO_2	0.01	0.01			
Al_2O_3	0.01	0.01			
Fe_2O_3	0.02	0.01			
CaO	37.97	35.26	>23.3	>30	>26.6
MgO	1.28	1.14			
Na_2O	0.71	0.74			
K_2O	0.06	0.04			
P_2O_5	4.98	3.42			
SO_3	41.64	38.37	>35	>45	>40
Cl	0.02	0.03			
Combined water (%)	10.11	19.25	<9	4 – 9	<9
L.O.I (%)	11.67	19.25	<9	---	<9
Impurity ratio (insoluble silica and clays)	0.57	0.79	---	5	---

Physical properties of gypsum board:

The best mixture for using slime with phosphogypsum was chosen at a ratio of 90:10. The compressive strength values of gypsum board are within the provisions of the Civil Code (No. 28 of 2010/Amendment No. 10 of 2015). The ratio (70:30) gave compressive strength and fracture modulus results of (4.77 N/mm²) (1.677 N/mm²) respectively, which is close to the compressive strength values of the ratio (90:10) as in Table (3), paving the way for using the ratio (70:30) to make gypsum board as a commercial product because it uses the largest possible amount of slime waste. As for the ratio (60:40), its compressive strength was (23.37 N/mm), which is consistent (ISS, 2015), while the fracture standard value was (1.314), which is considered non-conforming (ISS, 2015); therefore, this mixture is not approved as a commercial product. As for the ratio (50slime:50phsphogypsum), the compressive strength and fracture modulus were (2.60 N/mm²) and (0.556 N/mm²), respectively, which is not consistent with (ISS, 2015), (Table 3 and Figures 4 and 5).

The reason is that increasing the percentage of slime leads to a decrease in the amount of water added to the mixture, because the chemical composition of slime includes water $Ca(OH)_2$. Therefore, the setting time increases to 20 minutes with increasing slime content, and decreases with increasing phosphogypsum content. It is noted that slime absorbs less water than phosphogypsum, but the latter has a faster setting capacity than slime.

Table 3: Physical properties of gypsum board in the present study.

Mix ratios	Phospho-gypsum.	Slime	Compressive strength (N/mm ²)			Fraction modulus (N/mm ²)			
			1	2	Aver.	1	2	3	Aver.
90/10	90	10	5.784	5.235	5.51	3.388	3.291	3.205	3.295
80/20	80	20	5.002	5.113	5.06	1.953	1.874	1.799	1.875
70/30	70	30	4.908	4.622	4.77	1.591	1.694	1.745	1.677
60/40	60	40	3.401	3.346	3.37	1.279	1.365	1.298	1.314
50/50	50	50	2.247	2.962	2.60	0.524	0.548	0.597	0.556

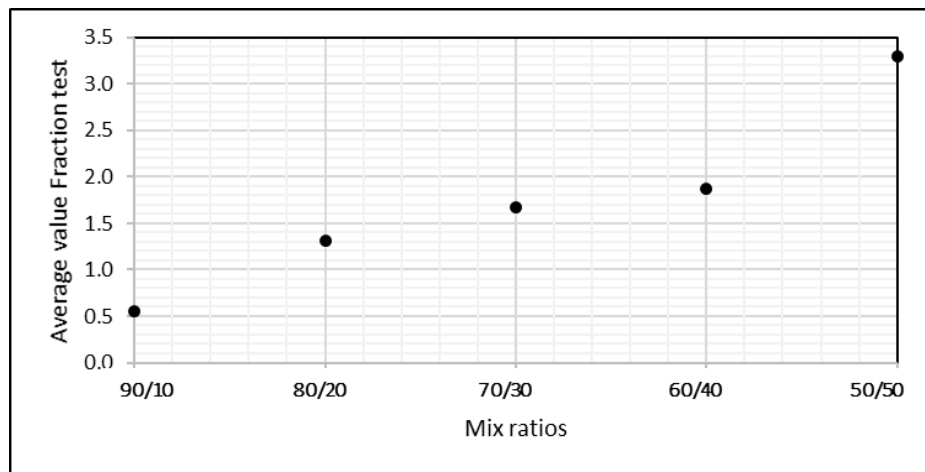


Fig. 4. Fracture coefficient of gypsum board

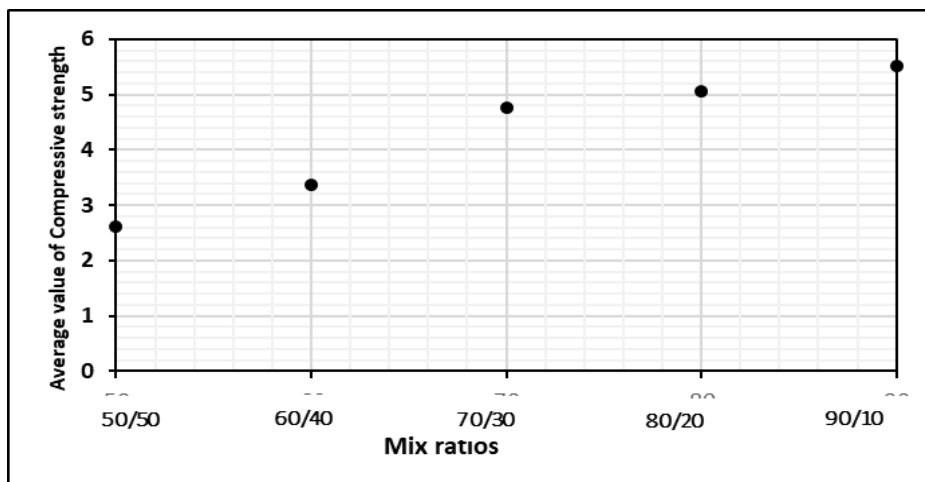


Fig. 5. Compressive strength of gypsum board

Petrography of plaster:

The crystals of phosphogypsum waste appear in the form of needle-shaped crystals of gypsum. The lengths of gypsum crystals range around (10 μ), and the binding cementitious material is also gypsum, as shown in (Fig. 6).

Mineral composition of plaster:

XRD analysis indicates that phosphogypsum is mainly composed of gypsum mineral, as shown in Fig. 7).

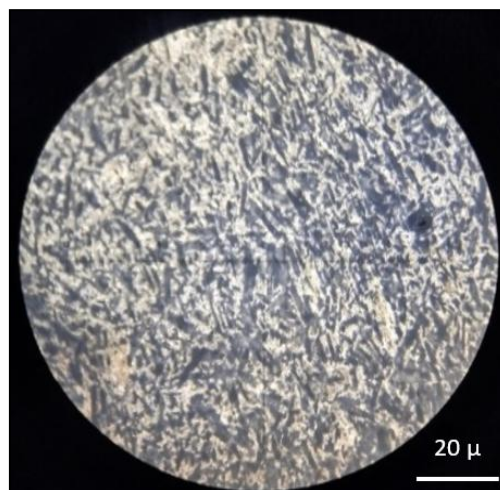


Fig. 6. Gypsum crystals in plaster.

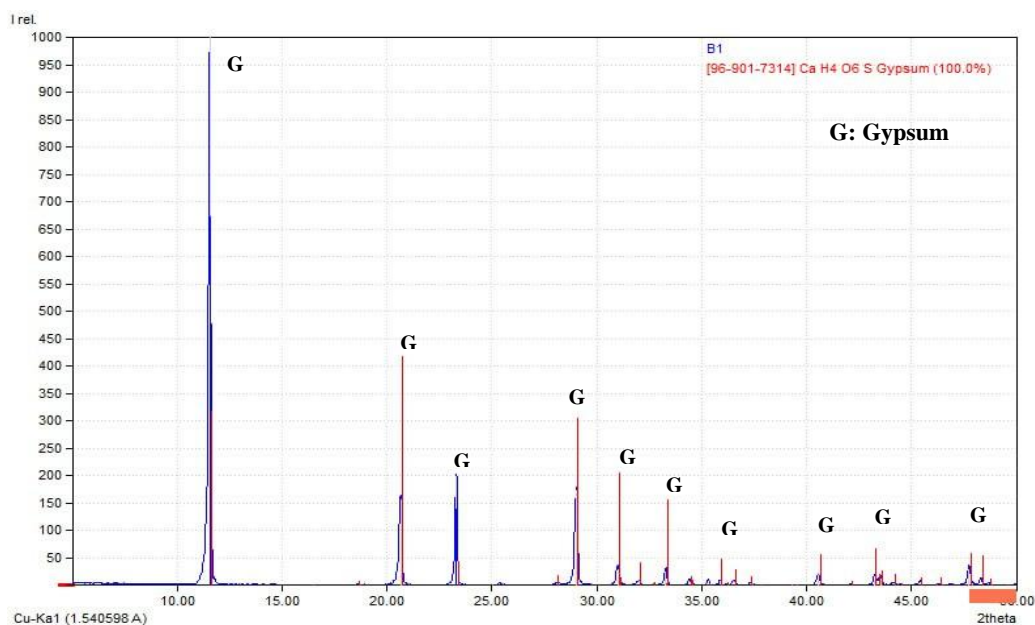


Fig. 7. XRD diagram of plaster.

Chemistry of Plaster:

The chemical analysis of the oxides was conducted to verify the validity of the phosphogypsum analysis and its conformity with the specifications of regular gypsum and its use as a coating material (*plaster*); it was found that the percentage of the substitute phosphogypsum was (84.94) (Hammadi, 2002), and this percentage is good for producing high-quality plaster; as it should not be less than (80) % (Xiao et al., 2022).

The concentration of (SO₃) and (CaO) reached (38.37) % (35.26%) respectively in gypsum, which is consistent with (ISS, 2015) (Table 2), where the percentage of (SO₃) should not be less than (35) %, and the amount of (CaO) should not be less than 23%.

Increasing the proportions of calcium oxide (CaO) and sulfur trioxide (SO₃) leads to a decrease in the water of crystallisation. When calcining at (150°C) for phosphogypsum, we notice that the percentage of water decreases and is accompanied by an increase in the proportions of both (CaO and SO₃). This is evidence of the negative correlation between (CaO and SO₃) and (H₂O) (Wang *et al.*, 2024). As for the rest of the oxides (Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, SiO₂), the total percentages were 1.92 %. These oxides are considered impurities, and this percentage is consistent with the ISS (2015), which should not exceed 5% (Table 2).

The ratio of K₂O and Na₂O indicates the oxides released from the calcination of clay minerals accompanying the phosphate ores. A small percentage of P₂O₅ in the mixture (3.42 wt%), which is attributed to the replacement of PO₄³⁻ with SO₄²⁻ during the reaction of sulfuric acid with the concentrated ores and the formation of phosphogypsum (Xiao *et al.*, 2022).

The percentage of loss on ignition represents the combined water content in the gypsum mineral in the plaster, which is 19.25 wt%. It is worth noting that the difference in the combined water concentration compared to the chemical requirements in (ISS, 2015) is because combined water represents the addition of water to the paste, where the water combines with the calcined gypsum particles to form CaSO₄·2H₂O. Therefore, the combined water percentage is close to the default percentage of water in the gypsum mineral, which is 21%. Meanwhile, the combined water concentration in the chemical specification of (ISS, 2015) represents the amount of water in the calcined gypsum, which is half a water molecule (CaSO₄·0.5H₂O).

Physical properties of plaster:

Compressive Strength is the highest pressure-bearing force on the upper and lower surface areas of the sample. The compressive Strength value of the plaster ranged between

(N/mm^2 4.1-5.36) N/mm^2 and is consistent with (ISS, 2015), which is not less than ($3 N/mm^2$) in regular plaster, and not less than ($5 N/mm^2$) in Bourke. Therefore, there is a relationship between compressive strength, porosity, and the percentage of added water, with compressive strength increasing as porosity decreases. Since gypsum phosphate reacts with water at a ratio of 1:1, increasing water leads to increased gaps (porosity), which are weak points, and thus reduces compressive resistance—that is, an inverse relationship: the higher the density, the greater the resistance. As for the fineness test, it ranged between (5.5-7.5), while it does not exceed (8%), it is within (ISS, 2015) (Fig.8), which indicates that it is free of clumped crystals caused by moisture and impurities.

Water is the medium of interaction of all the dough particles to obtain a standard consistency for gypsum (plaster) with a ratio that ranges between (56.8-58.4) % (Table 4), it is within the ideal water/plaster ratio (upper limits for finish) of (40-60%) (ISS, 2015). When mixing calcined phosphogypsum with water to form a dough, the water chemically combines with ($CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$). It returns to the original composition of gypsum (Founie, 2003). As for the setting time, it reached 18 minutes, which is within the range (ISS, 2015), which does not exceed 25 minutes. When examining the gypsum's modulus of fracture, the ratio ranged between (1.47-1.93), meaning it is consistent with (ISS, 2015), which falls within the borax classification closest to technical gypsum (Tables 4 and 5) and (Figure 8). The final results showed that increasing the fineness led to an increase in the standard consistency, increased resistance, and fracture strength because it reduced the water used in the dough and reduced voids within the product.

Table 4: The physical properties of the plaster in the Present study.

Fineness % (Sieve No. 16)	Setting time (minutes)	Standard consistency %	Compressive strength (N/mm^2)	Fracture strength test (N/mm^2)
5.5	18	56.80	4.47	1.65
7		58.40	5.74	1.94
7.5			5.36	1.77

Table 5: Iraqi Standard Specifications (Physical) No. (28 of 2010/Amendment No. 10 of 2015).

Properties	Regular plaster	Bourke	Technical plaster
Fineness (%): The remainder does not exceed sieve number (16)	8	---	5
Setting time (min): Not less than and Not more than	8 - 25	8 - 25	12 - 20
Compressive strength (N/mm^2)	>3	>5	>6
Fraction criteria (N/mm^2)	---	>1.5	>2

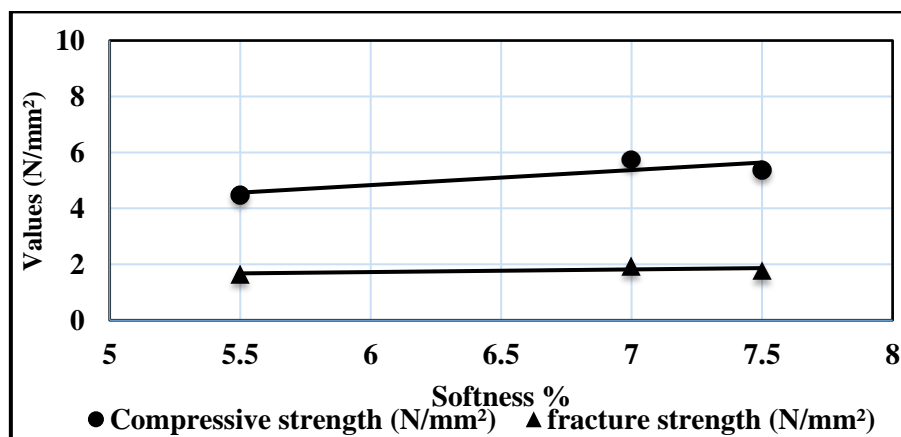


Fig. 8. Physical properties of plaster in the present study.

Conclusion

The study demonstrated the suitability of phosphogypsum for the manufacture of gypsum boards, low-cost sub-ceilings, and gypsum wall coating materials (plaster), as it complies with the Iraqi standard specifications (ISS, 2015). Phosphogypsum is characterized by high quality

and can be used as an alternative to local gypsum based on its mineral, chemical, and physical specifications. Phosphogypsum is composed of the mineral gypsum and chemically ($\text{CaO} = 33.3\%$), ($\text{SO}_3 = 44.6\%$), and ($\text{H}_2\text{O} = 20.05\%$), while the remaining oxides are sulfate compounds.

Adding the slime material at a ratio of (90 phosphogypsum: 10 slime) gave engineering specifications compatible with the Iraqi standard specifications in terms of compressive strength and fracture modulus of (5.51 N/mm^2) and (3.295 N/mm^2), respectively. Given the similarity of the compressive strength values and fracture modulus of the mixture (70:30) with the previous values, the study deemed it possible to use this ratio for the mixture because it achieves greater use of the slime material intending to consume the largest possible quantity of this waste with a low production cost, less effort and high quality, which provides the opportunity to enter into other construction industries.

Phosphogypsum can also be used as a plastering material due to its chemical and engineering suitability in terms of compressive strength (5.74 N/mm^2), fracture modulus (1.937 N/mm^2), fineness (5.5-7.5)%, setting time (18 min), and standard consistency (56.8%-58.4)%.

Acknowledgements

Thanks are due to the Center for Research, Dams and Water Resources. We also thank the College of Engineering / Department of Civil Engineering. In addition to thanking the Materials Testing Laboratory, Phosphate Fertilizers Laboratory / Al-Qaim / Anbar. We also thank the University of Tehran. We also thank the German Laboratory of the Department of Earth Sciences / University of Baghdad. The authors wish to thank all the editors of the Iraqi National Journal of Earth Science (INJES) for their great efforts.

References

- Abouzeid, A.Z.M., 2008. Physical and thermal treatment of phosphate ores—An overview. *International Journal of Mineral Processing*, 85(4), pp.59-84.
- Bandgar, G.S., Kumthekar, M. B., and Landage, A. B., 2016. A review of effective utilization of waste phosphogypsum as a building material. *International Journal of Engineering Research*, 5(1), pp. 277-280.
- Cheng, J., Zhang, J., Xie, F., and Zhang, Y., 2020. Performance of a kind of organic emulsion coated phosphogypsum particles. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Sci. Ed.*, 35(5), pp. 872-878.
- Christensen, A.N., Olesen, M., Cerenius, Y. and Jensen, T.R., 2008. Formation and transformation of five different phases in the $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ system: crystal structure of the subhydrate $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0.5 \text{ H}_2\text{O}$ and soluble anhydrite CaSO_4 . *Chemistry of Materials*, 20(6), pp. 2124-2132.
- Craig, R.G., Powers, J.M. and Wataha, J.C., 2004. *Dental Materials: Properties and Manipulation*. Mosby; 8th edition. <https://books.google.iq/books>.in Badde x (2009)
- Founie, A., 2003. Gypsum. U.s. Geological Survey Minerals Yearbook. pp. 1–10.
- Guedri, A., Abdallah, F., Mefteh, N., Hamdi, N., Baeza-Urrea, O., Wagner, J.-F. and Zagrarni, M.F., 2023. Addition of Phosphogypsum to Fire-Resistant Plaster Panels: A Physico-Mechanical Investigation. *Inorganics*, 11(1), 35 P.
- Hammadi, A., Abdul, 2002. Evaluation of Paleogene clays in northern and northeastern Iraq and their use for ceramic purposes. University of Baghdad, College of Science, Department of Earth Sciences. Unpublished Master's thesis. 136 pages.
- Iraqi Standard Specification No. (28 of 2010/Amendment No. 10 of 2015).

- Murali, G. and Azab, M., 2023. Recent research in utilization of phosphogypsum as building materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, pp. 960–987.
- Naik, N., Bahadure, B. and Jejurkar, C., 2014. Strength and durability of fly ash, cement and gypsum bricks. *Int. J. Comput. Eng. Res*, 4(5), pp. 1-4.
- Ridah, J., 2017. Mining And Beneficiation of Phosphate Rocks from the Akashat Mine, Iraq. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 7, pp.51-58.
- Singh, D.M., 2012. New prospect and new approaches of using waste in building material. Central Building Research Institute (CE and CR).
- Srinivasalu, K. and Raghava, P., 2017. A study on influence of Phosphogypsum on durability of the concrete. *Int. J. Emerg. Technol. Eng. Res.*, 5(3), pp. 41-47.
- Sybetra, 1979a. Process Design Manual / Unit 100: Beneficiation, Vol. 4/5. F.L. Smidth and Co. SOM State Interprise for Phosphate.
- Sybetra, 1979b. Process Design Manual / Unit 300: Phosphoric Acid, Vol. 1/2. F.L. Smidth and Co., SOM State Interprise for Phosphate.
- Wang, Y., Hou, C., Qi, S., Gu, S., Jing, H., Wu, J., Guan, H., and Zhang, H., 2024. Process Optimization and Mechanism Study for Sulfur Recovery from High-Silica Phosphogypsum via Carbothermal Reduction Smelting. *ACS Omega*, 9 (16), pp. 18526-18541.
- Weiksnaar, K.D. and Townsend, T.G., 2024. Enhancing the chemical performance of phosphogypsum as a road base material by blending with common aggregates. *Resources, Conservation and Recycling*, 200, 107300.
- Xiao, J., Lu, T., Zhuang, Y., and Jin, H., 2022. A novel process to recover gypsum from phosphogypsum. *Materials*, 15(5), 1944 P.
- Yadav, D., Rajpoot, A. and Shrivastava, A., 2024. International Journal of Research Publication and Reviews The Effects of Replacing Cement in Cement Concrete with Varying Amounts of Phosphogypsum were Examined in an Experimental Investigation: A Review. 5(5), pp. 826-830.



Dynamics of Land Use and Land Cover Changes and Their Impact on Surface Temperature in Domkal Block, West Bengal, India

Woheedul Islam¹ , Md. Mustaquim^{2*} , Hasib Hasan³ 
^{1,2,3} Department of Geography, Aliah University, Kolkata, India

Article information

Received: 01- Feb -2025

Revised: 05- Mar -2025

Accepted: 16- Apr -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Land Use,
Land Cover,
Land Surface Temperature,
Urban Heat Island,
Sustainability,

Correspondence:

Name: Md. Mustaquim

Email:

mustaquim.md@gmail.com

ABSTRACT

Land is increasingly under pressure to meet the demands of a rapidly expanding population, so more resources are needed to maintain basic services and a high standard of living. This pressure leads to the reduction of natural vegetation and the formation of urban heat islands, a global concern linked to rising land surface temperatures, which, in turn, promotes unsustainable development. As a result, understanding the impact of land-use and land-cover changes (LULCC) on ecosystem sustainability has become critical in global change studies. This study utilizes Landsat satellite imagery processed with ArcGIS 10.5 and FRAGSTATS 4.2 to assess changes in land use and land cover, land fragmentation, and their relationship with land surface temperature (LST) and the normalized difference vegetation index (NDVI) in the Domkal block of Murshidabad District. The study assesses the magnitude and direction of these changes between 1991 and 2021 using change vector analysis. The findings reveal significant reductions in agricultural land (80.77 km²) and plantation areas (11.03 km²), offset by increases in built-up land (19.86 km²) and aquatic bodies (1.6 km²). Analysis of land surface temperature indicates an increase from 17-23°C in 1991 to 18-26°C in 2021. These changes are driven by demographic pressures, economic transformations, and reduced agricultural subsidies. The study emphasizes the need for sustainable land management practices, including the conservation of agricultural lands, efficient urban planning, and the implementation of conservation strategies to ensure ecological balance and promote socio-economic development.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60486](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60486), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ديناميكيات تغيرات استخدام الأراضي وتغطيتها وتأثيرها على درجة حرارة سطح الأرض في منطقة دومكال، غرب البنغال، الهند

وهيول إسلام¹ ID، محمد مستقيم² ID، حسيب حسن³ ID

^{1,2,3} قسم الجغرافيا، جامعة عالية، كلكتا، الهند.

معلومات الارشفة	الملخص
تاريخ الاستلام: 01- فبراير -2025	تتعرض الأراضي لضغوط متزايدة لتلبية احتياجات السكان المتزايدين بسرعة، مما يستدعي توفير المزيد من الموارد للحفاظ على الخدمات الأساسية ومستوى معيشي مرتفع. ويؤدي هذا الضغط إلى تقلص الغطاء النباتي الطبيعي وتكون الجزر الحرارية الحضرية، وهي مشكلة عالمية مرتبطة بارتفاع درجات حرارة سطح الأرض، الأمر الذي يُشجع بدوره على التنمية غير المستدامة. ونتيجة لذلك، أصبح فهم تأثير تغيرات استخدام الأراضي وتغطيتها على استدامة النظم البيئية أمراً بالغ الأهمية في دراسات التغير المناخي العالمي. تستخدم هذه الدراسة صوراً فضائية من القمر الصناعي لاندسات، مُعالجة باستخدام برنامجي ArcGIS 10.5 وFRAGSTATS 4.2، لتقييم التغيرات في استخدام الأراضي وتغطيتها، وتجزئة الأراضي، وعلاقتها بدرجة حرارة سطح الأرض ومؤشر اختلاف الغطاء النباتي الطبيعي في منطقة دومكال التابعة لمقاطعة مرشد آباد. كما تُقيم الدراسة حجم واتجاه هذه التغيرات بين عامي 1991 و2021 باستخدام تحليل متجه التغير. تكشف النتائج عن انخفاضات ملحوظة في الأراضي الزراعية (80.77 كم ²) ومساحات المزارع (11.03 كم ²)، يقابلها ارتفاع في مساحات الأراضي المبنية (19.86 كم ²) والمساحات المائية (1.6 كم ²). ويشير تحليل درجة حرارة سطح الأرض إلى ارتفاعها من 17-23 درجة مئوية عام 1991 إلى 18-26 درجة مئوية عام 2021. وتعود هذه التغيرات إلى الضغوط الديموغرافية والتحوللات الاقتصادية وانخفاض الدعم الزراعي. وتؤكد الدراسة على ضرورة اتباع ممارسات مستدامة لإدارة الأراضي، تشمل الحفاظ على الأراضي الزراعية، والتخطيط الحضري الفعال، وتطبيق استراتيجيات الحفاظ على البيئة لضمان التوازن البيئي وتعزيز التنمية الاجتماعية والاقتصادية.
تاريخ المراجعة: 05- مارس -2025	
تاريخ القبول: 16- ابريل -2025	
تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل -2026	
الكلمات المفتاحية: استخدامات الأرض، الغطاء الأرضي، درجة حرارة سطح الأرض، الجزيرة الحرارية الحضرية، الاستدامة،	
المراسلة: الاسم: محمد مستقيم	
Email: mustaquim.md@gmail.com	

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60486](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60486), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Introduction

Satisfying the needs of a rapidly increasing population necessitates more resources to maintain essential services and a high quality of life, ultimately creating pressure on land. Changes in land use are required for economic development and social advancement; however, they are not without costs (Wu, 2008). New structures, stores, offices, and marketplaces are being constructed on land that was once used for agriculture, plantations, or forests. The majority of old homes in populated areas are demolished to make way for apartments. Backyard gardens are frequently cleared for structure expansion (Mustaquim and Islam, 2024). Recently, there is an increasing demand for information on actual land use/land cover (LULC) from planning, administration, and scientific institutions (Bety, 2013). The effects of land-use and land-cover changes (LULCC) on ecosystem sustainability are becoming significant in global change studies. Human activities are responsible for the most significant alterations to the Earth's surface. Changes in surface cover at local, regional, and global levels result in

modifications to energy, water, and geochemical fluxes, affecting natural resources and socio-economic activities (Islam et al., 2018). Changes in land use are mostly caused by human alteration of the Earth's surface, though biological processes also play a role (Islam et al., 2018; Kangabam et al., 2019; Naqvi et al., 2014). By reducing the amount of natural vegetation cover and creating urban heat islands, this encourages unsustainable development (Choudhury et al., 2019). Urban heat islands have emerged as a global issue in cities owing to elevated land surface temperatures. Factors influencing land-surface temperature (LST) encompass surface cover, urban morphology, and anthropogenic activities (Hoque and Lepcha, 2020). In order to study human-environment interactions, it is essential to comprehend the spatial-temporal variations of land surface temperature in urban settings. Accelerated urbanisation has caused a decline in vegetation within cities, with alterations in land use and cover contributing to elevated land surface temperatures in urban areas (Buyadi et al., 2013). Buyadi et al. (2013) and Ding and Shi (2013) observed that the urban microclimate is changed by rapid urban growth, which reduces vegetated areas and raises surface temperatures. LST intensity relates with land use and cover patterns including vegetation, water bodies, and built-up land (Ziaul and Pal, 2016). Comprehending this dynamic system is essential for LST and LULCC research, as well as for addressing social, economic and environmental issues. Accurately determining existing LULC contributions is essential for determining the impacts on LST changes. (Rehman et al., 2022). Thus, analysing the Earth's surface is crucial for understanding the interplay between human activities and natural events, thereby aiding in resource management and decision-making (Butt et al., 2015). The study employs FRAGSTAT software to assess land use fragmentation through landscape measurements. Diverse metrics derived from the geometric characteristics of landscape elements are frequently utilised in landscape analysis to provide quantitative assessments of intricate patterns (Dasgupta et al., 2009). The research investigates the impact of dynamic alterations in land use and cover on the environment through several indicators. The potential of satellite-based data to generate significant information for land use and land cover (LULC) is well acknowledged (Mishra et al., 2020). Researchers like Liu and Weng (2008), Das and Angadi (2020), Zhang et al. (2016), and Kafy et al. (2020) employed remotely sensed imagery, including Landsat images, to create land use maps, monitor changes and to generate surface temperature maps. Remote sensing, particularly via Landsat data, has demonstrated efficacy in distinguishing diverse terrain elements on a large scale (Butt et al., 2015). Landsat TM/ETM+/OLI data are frequently utilised for estimating land surface temperature (LST) and examining land-use change due to its spatial resolution (Choudhury et al., 2019). This study seeks to ascertain the magnitude and direction of land-use alterations over the preceding three decades. Furthermore, it analyses LST during this timeframe to establish the relation between land-use/land-cover alterations and LST conditions.

Materials and Methods

Study Area

The Domkal CD block is situated in Murshidabad District in the Indian state of West Bengal. It covers an area of 304.27 km². It is located at about 24.1412°N latitude and 88.5287°E longitude, with an elevation of 22 meters (72 feet) above mean sea level. According to the census of India, Domkal is a community development (CD) block located in the Domkal subdivision of the Murshidabad district (Fig. 1) in West Bengal, India. Domkal CD block is situated in the Bagri region of the district. The district is separated by the Bhagirathi River into two natural physiographic regions: Bagri on the east and Rarh on the west. The Jalangi and Bhairab Rivers also run through the area, characterized by low-lying terrain with many marshes and frequent flooding. According to the 2011 Indian census, the total population of the block was 363,976, all residing in rural areas, compared to 253,349 in 1991. Males made up 51% of the population, while females comprised 49%. Between 2001 and 2011, the population of the CD block increased by 16.78%. As per the 2011 census, the literacy rate in the CD block was 63.90%, with males at 64.47% and females at 63.31%. In 2011, cultivators constituted 15.74%

of the total workforce in the CD block, agricultural labourers made up 40.60%, home industry workers accounted for 14.28%, and other workers comprised 29.37%.

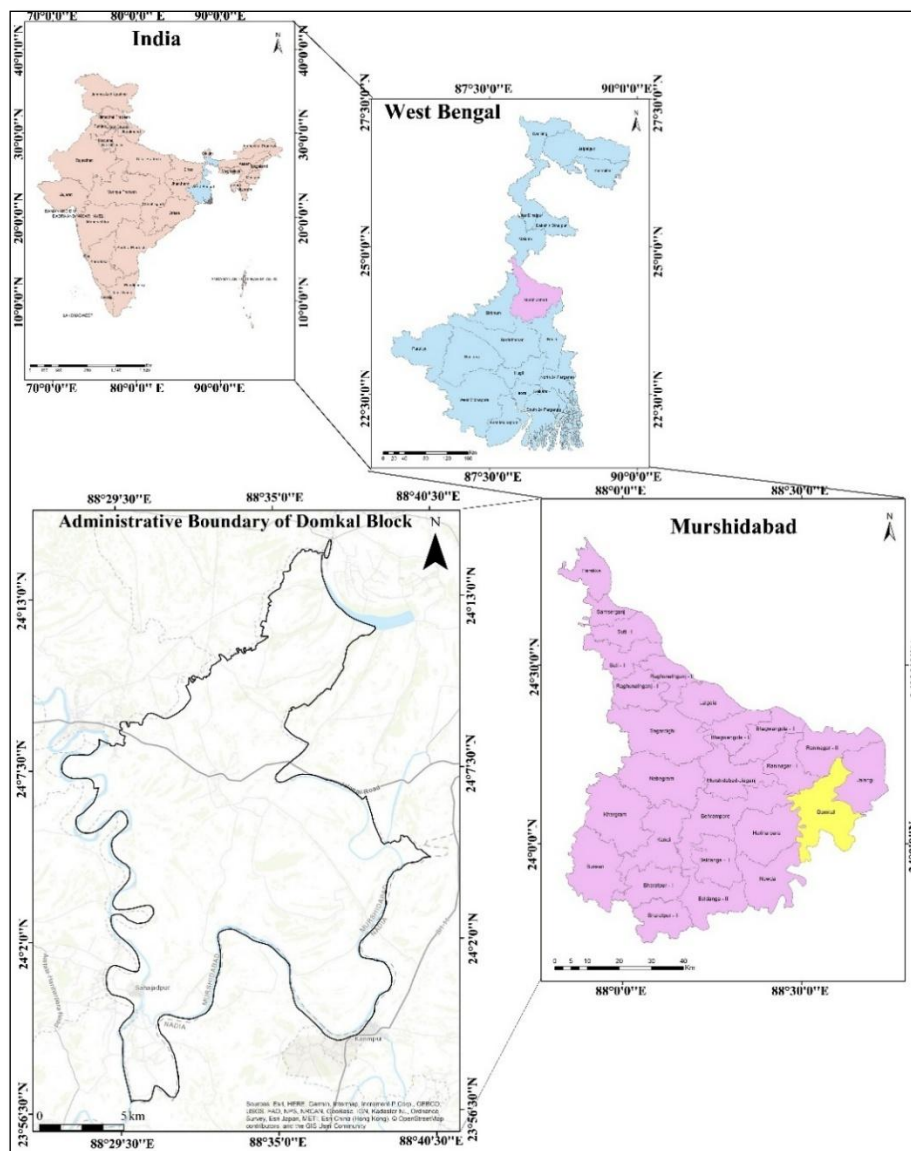


Fig. 1. Geographical location of the study area.

Data and Software

The availability of Landsat data sets has greatly facilitated regional-scale land use/cover classification and change detection (Hoque and Lepcha, 2020). Free satellite imagery is obtained from the USGS Earth Explorer website. For this study, multispectral images taken in the months surrounding each calendar year are used. Detailed information about the images can be found in Table (1) and Figure (2) illustrating the methodological framework of the study. To conduct the study, various software tools are utilized. ArcGIS 10.5 and ERDAS Imagine 2014 are employed for geospatial applications, FRAGSTAT is used for fragmentation analysis, and IBM SPSS 26 is applied for statistical analysis.

Table 1: Satellite Image Specifications Used in Analysis.

Year	Acquisition Date	Satellite	Sensor	Path/ Row	Resolution (m)	Projection
1991	02-02-1991	Landsat 5	TM	139/43	30	UTM-WGS84
2021	04-02-2021	Landsat 8	OLI/TIRS	139/43	30	UTM-WGS84

Source: USGS Earth Explorer

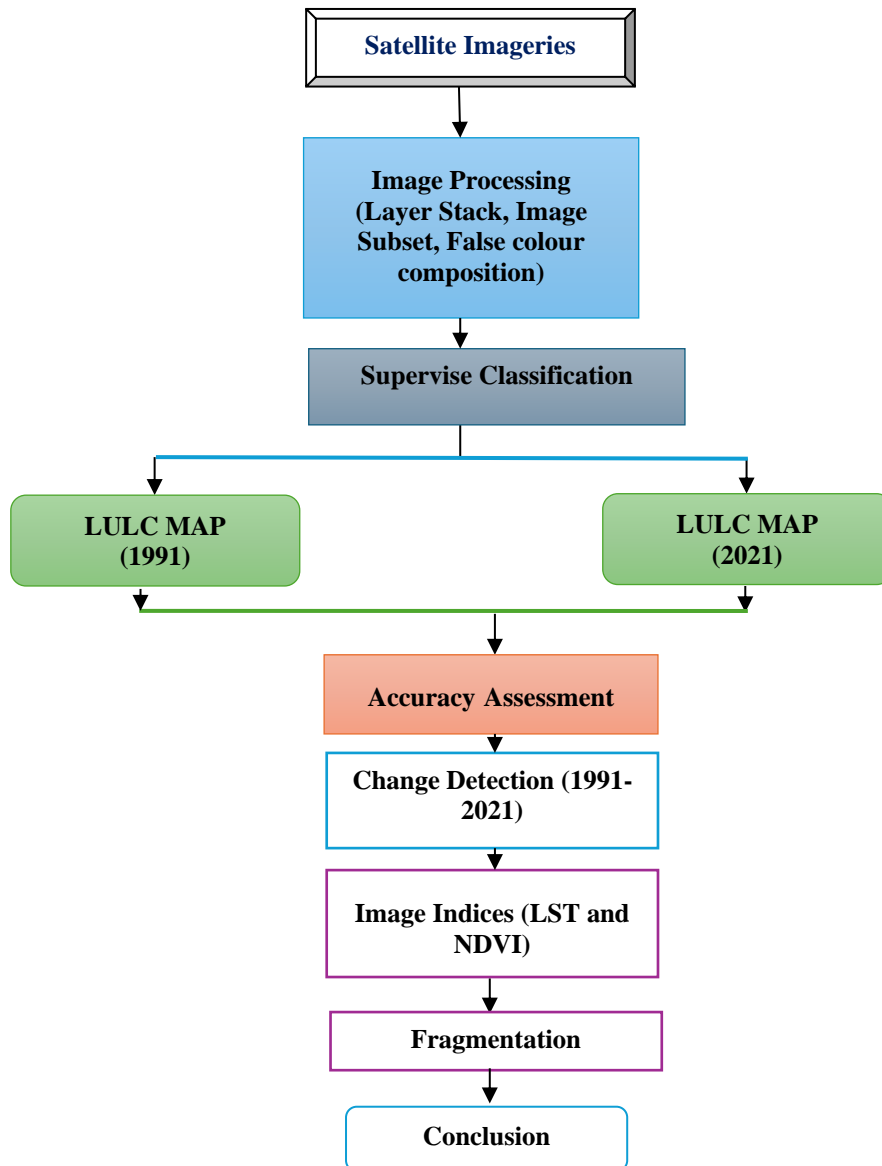


Fig. 2. Methodological Framework.

Image Classification

The primary goal of processing satellite images is to enhance the correlation between the data and the land cover it represents (Cheruto et al., 2016; Hua, 2017). Image classification seeks to derive thematic information from images of land use and land cover. ERDAS IMAGINE 2014 is utilized to derive thematic information from Landsat imagery. Land-use class signatures are obtained by visual image interpretation methods for each land-use category. Mosaicking and sub-setting are employed based on the area of interest (AOI). The application employs a pixel-based algorithm known as Maximum Likelihood Classification (MLC) for supervised classification, which is the predominant technique for analyzing land use and land cover changes. Using the normal distribution of the data for each class in each band, MLC determines the likelihood that a given pixel falls into a given category. Before classifying every pixel, a probability threshold needs to be established. After that, each pixel is allocated to the class that has the highest likelihood. Sisodia et al. (2014) and Bhatta (2011) offered extensive insights on maximum likelihood classification. Nelson and Khorram (2019) provided a comprehensive explanation of the supervised classification procedures in ERDAS IMAGINE in their book "Image Processing and Data Analysis with ERDAS IMAGINE". Recent studies by Gharaibeh et al. (2020), Alam et al. (2021), Saber et al. (2021), Mishra et al. (2020),

Chowdhury et al. (2020) and Roy and Kasemi (2021) employed supervised classification with the MLC technique to detect LULC changes. In this study, a set of training pixels is collected for each land use/cover category to create a class. After categorizing the satellite images, relevant adjustments (Recode) are made to generate the land use and land cover map. Water bodies, agricultural land, plantation and forest land, and built-up areas are the four land use and land cover categories that identified by the study (Table 2). ERDAS IMAGINE 2014 is used to assess accuracy, calculating the kappa coefficient and overall accuracy for each land use map. Local information and Google Earth maps are also used as references. The kappa coefficient, a reliable method for determining accuracy (Bose and Chowdhury, 2020), is 0.86 for 1991 and 0.89 for 2021, with overall accuracies of 92% and 98%, respectively. The entire procedure in detail is explained by Nelson and Khorram (2019) and Rwanga and Ndambuki (2017).

Table 2: Description of Identified Land Cover Classes.

LULC Classes	Descriptions
Agriculture (Crop Land)	Land is mostly utilized for the cultivation of food and fibre.
Built-up	An entirely artificial structure with a hard and non-porous surface.
Current Fallow (Crop Land without crop)	An area that hasn't grown crops for a while, so that it can grow again. The most common use for this product is in farming.
Plantation and Forest	The light vegetation is made up of areas where crops are grown, as well as a few small trees and some orchards.
Sand Bar	Sediment accumulations include sand that has been deposited in the riverine plane.
Water Bodies	There exist rivers, ponds, and inundated areas that are encompassed by surface water.

LST Extraction

Digital Number (DN) values are assigned to each pixel in an image to represent the intensity of electromagnetic radiation recorded by a digital sensor across different spectral bands at each location on the Earth's surface. The radiometric resolution of a sensor defines the range of DN values it can detect, meaning that DN values for the same substance may vary between sensors and over time due to environmental factors. Consequently, DN values must be converted into radiance and reflectance values. This transformation involves a series of steps (Fig. 3), which can be simplified using the "RS and GIS" plug-in introduced in QGIS Software. The "RS and GIS" plug-in, developed by Prathamesh Barane (2017) and available in the QGIS official repository, outlines these steps. In this work, guidelines for calculating Land Surface Temperature (LST) from images are followed, involving four stages to derive LST.

Step 1: Top of Atmospheric Radiance Calculation (TOA)

All entities above absolute zero (0 K) emit thermal electromagnetic radiation, enabling the thermal sensor to capture data that can be converted into sensor radiance. The spectral radiance was determined using the subsequent equation. (Choudhury et al., 2019; and Project Science Office, 2002):

Equation 1: For the Landsat 8 Image, there are two thermal bands (Band 10 and Band 11)

$$L\lambda = ML\lambda * Qcal + AL\lambda$$

Where: $L\lambda$ denotes the TOA spectral radiance; $Qcal$ represents the individual pixel value; $AL\lambda$ signifies the radiance additive scaling factor for the respective band; $ML\lambda$ indicates the radiance multiplicative scaling factor for the corresponding band.

Equation 2: In the Landsat 5 TM image, Band 6 is the thermal band. The following formula has been used to convert the Landsat 5 TM image to radiance.

$$L\lambda = \left(\frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Qcal_{max} - Qcal_{min}} \times (Qcal - Qcal_{min}) \right) + L_{min\lambda}$$

Where: Q_{cal} represents the individual pixel value; $Q_{cal_{max}}$ signifies the least quantized calibrated pixel value (often 1); $Q_{cal_{min}}$ indicates the highest quantized calibrated pixel value (commonly 255); $L_{min\lambda}$ denotes the spectral radiance calibrated to $Q_{cal_{min}}$ in $W/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$; $L_{max\lambda}$ indicates the spectral radiance normalized to $Q_{cal_{max}}$ in $W/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$.

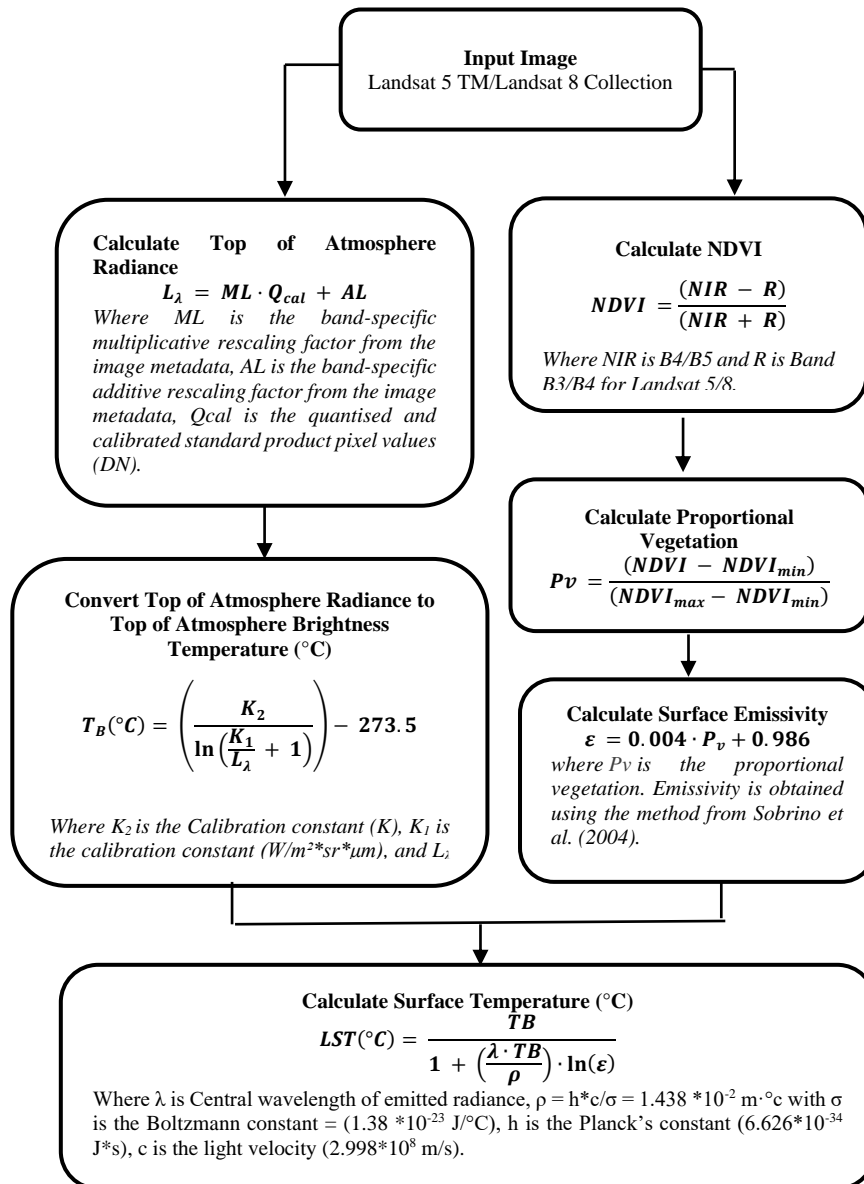


Fig. 3. Methodology for Computing Land Surface Temperature (LST) (Source: <https://gis.stackexchange.com/>)

Step 2: At-satellite brightness temperature calculation

The radiance measurements of the thermal band are subsequently transformed into at-satellite brightness temperature utilising the following equation (Artis and Carnahan, 1982; Hoque and Lepcha, 2020)

Equation 3:

$$T\lambda = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15$$

Where: $T\lambda$ signifies the brightness temperature in degrees Celsius (°C), while $L\lambda$ indicates satellite radiation in $W/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$. K_1 and K_2 are calibration constants for pre-launch and are included in the metadata file.

Step 3: Emissivity calculation

Modifications for spectral emissivity (e) are required when correlating the temperature data acquired above to a black body. The modifications are predicated on land cover classification (Snyder et al., 1998) or by deriving emissivity values for each pixel from the vegetation proportion (Pv) data (Buyadi et al., 2013; Choudhury et al., 2019; Hoque and Lepcha, 2020).

Equation: 4

$$e = 0.004Pv + 0.986$$

Where: Pv is the vegetation proportion computed using Equation 5.

Equation: 5

$$\left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2$$

Where: $NDVI$, or normalized difference vegetation index, is employed to evaluate the vegetation density within a designated area. The at-satellite reflectance of the near-infrared and red bands is employed to produce the $NDVI$ image as per Equation 6.

The following formula of Townshend and Justice (1986) is used to calculate $NDVI$:

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$$

Step 4: LST calculation

To compute a reasonably realistic LST from at-satellite brightness temperature, the following equation is used (Choudhury et al., 2019; Hoque and Lepcha, 2020):

Equation: 7

$$LST = \frac{T\lambda}{1 + \left(\frac{\lambda \times T\lambda}{\rho} \right) lne}$$

Where: $T\lambda$ represents the at-satellite brightness temperature in degrees Celsius ($^{\circ}C$); λ denotes the wavelength of emitted radiance in micrometers (μm); ρ is defined as $h \cdot c / j$ ($1.438 \cdot 10^{-2}$ mK), where j is the Boltzmann constant ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), h is Planck's constant ($6.626 \cdot 10^{-34}$ Js), and c is the speed of light ($2.998 \cdot 10^8$ m/s); e signifies land surface emissivity.

Image Indices

The normalized difference vegetation index (NDVI) is an instrument for evaluating the quantity of vegetation in a specified region. Equation (6) is employed to compute the NDVI. The "RS and GIS" plugin was utilized for this project. The NDVI scale ranges from -1 to +1, where low values signify the absence of vegetation and high values denote dense vegetation. Elevated values are potentially correlated with greater vegetation density.

Fragmentation analysis

Accurate and effective evaluation of landscape heterogeneity and connectivity at biologically significant scales is necessary for managing landscapes to promote socioeconomic development and preserve natural ecosystems that sustain biodiversity (Borthwick et al., 2020).

Table 3: Description of Matrices Used (Source: Adopted from McGarigal et al., 2002;and Mustaquim and Islam, 2023)

Abbreviation	Description	Justification
NP- Number of patches	Total number of patches in the Landscape	Fragmentation
PD- Patch density (per km ²)	Number of patches per unit area	Fragmentation
PLAND- Percentage of Landscape (%)	The proportion of the Landscape occupied by the patch type. When the number of the associated patch type (class) in the environment goes down, it gets closer to 0. PLAND is equal to 100 if the whole Landscape is made up of only one type of patch.	Fragmentation

LSI- Landscape shape index	Divided by the whole area and adjusted by a constant for a square standard, the landscape boundary and total edge within the Landscape	Aggregation
LPI- Largest patch index (%)	Each class's greatest patch's area corresponds to a percentage of the overall amount of land.	Dominance
MPS- Mean patch size (km ²)	Average patch size in each class, expressed in km.	Fragmentation
SHDI- Shannon's diversity index	SHDI equals minus the sum, a measure of diversity. When there is no diversity, it approaches 0, and it rises when more patch types are present.	Diversity

Both class-level and landscape-level indicators must be taken into account to fully understand how land-use change affects landscape fragmentation (Dewan et al., 2012). FRAGSTATS 4.2 is a spatial pattern analysis tool used to measure the heterogeneity and structure of landscapes Kamusoko and Aniya (2007); McGarigal et al. (2002); Sánchez Sánchez et al. (2021); and Singh et al. (2014). Determining landscape patterns, evaluating habitat fragmentation, and assessing biodiversity are the main uses of landscape metrics (Gardner et al., 1993; Herold et al., 2002; and Keitt et al., 1997). In this work, we have employed class-level and landscape-level measures from FRAGSTATS, a platform that provides information at the patch, class, and landscape scales (McGarigal et al., 2002). Patch-level measures denote distinct regions exhibiting identical characteristics, class-level metrics encompass all patches of a single type (LULC classes), and landscape-level metrics include all patches and classes within a designated area (Sertel et al., 2018). A single index is not enough to capture all of the complex patterns of land-use change because of its complexity. Therefore, multiple metrics (Table 3) are taken into account (Seto and Fragkias, 2005). We select metrics that consider the impact of changes in land use and cover on the fragmentation of the landscape as described by Dewan et al. (2012) and Kamusoko and Aniya (2007). Land-use change studies have extensively employed similar matrices in various research (Dewan et al., 2012; Kamusoko and Aniya, 2007; Sánchez Sánchez et al., 2021; Singh et al., 2014). The FRAGSTATS user manual McGarigal et al. (2002) and Mustaquim and Islam (2023) provides a comprehensive overview of the landscape measurements utilized.

Result and Discussions

Simple change analysis or degree of change does not adequately account for differences in land cover within and between periods. Consequently, change vector analysis is required to track the magnitude and direction of changes. In this study, ArcGIS 10.5 was utilized to generate the change transition matrix. Fig. 4 illustrates significant changes over time, while Table 4 indicates that agricultural land and plantation areas have decreased by 80.77 km² and 11.03 km², respectively. Conversely, built-up land and aquatic bodies have increased by approximately 19.86 km² and 1.6 km², respectively. The Domkal block covers roughly 311 km².

As shown in Table 5 and Fig. 5, nearly 44% of the land cover has changed in the last 30 years. Agricultural land is shrinking due to the expansion of plantations (14.37 km²), built-up areas (13.03 km²), and current fallow land cover (66.45 km²). The area under current fallow has increased by around 70 km², predominantly from agricultural land (66.45 km²). Due to the encroachment of agricultural land, the expansion of current fallow and built-up areas, the plantation area has decreased by 11.03 km². It is observed that the expansion of built-up areas, approximately 19.86 km², encroached significantly on agricultural land (13.03 km²) and plantation cover (8.01 km²). The increase in built-up areas and the decrease in agricultural and plantation areas are attributed to increasing population pressure. Factors such as the shift from traditional agricultural practices to other sectors, dependence on natural resources, reduction of subsidies, lack of credit systems, reliance on money lenders, reduction of government investment in agriculture, and the conversion of agricultural land to alternative uses have all contributed to the decline in agricultural land. These trends are clearly evident from Indian census statistics, and Figure (9) provides a visual representation of these demographic and economic changes. The nature and extent of changes among the defined land cover classes are clearly recognized in Figure (5).

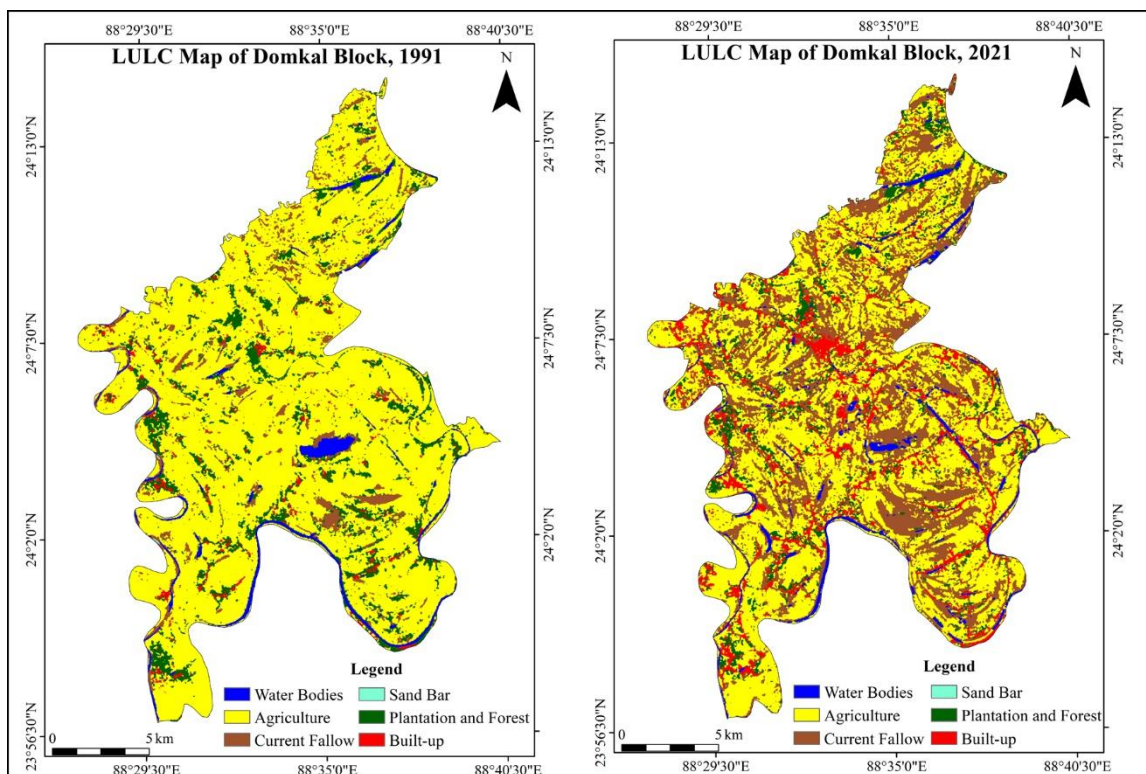


Fig. 4. Spatial Distribution of LULC Classes in Domkal Block

Table 4: Land Use and Cover Class Distribution in Domkal Block

Class Name	1991 (km ²)	2021 (km ²)	Relative Changes (km ²)
Water Bodies	8.42	10.02	1.60
Agriculture	245.33	164.56	-80.77
Current Fallow	18.76	89.08	70.32
Sand Bar	0.12	0.04	-0.08
Plantation and Forest	32.95	21.92	-11.03
Built-up	5.86	25.73	19.86

Table 5: Decadal Land Use and Cover Shifts: 1991-2021

Land Cover Class	Water Bodies	Agriculture	Current Fallow	Sand Bar	Plantation and Forest	Built-up	Grand Total
Water Bodies	4.91	1.30	1.61	0.01	0.33	0.23	8.38
Agriculture	2.02	149.12	66.45	0.03	14.37	13.03	245.01
Current Fallow	1.33	4.35	10.87	0.01	0.84	1.33	18.72
Sand Bar	0.00	0.04	0.04			0.04	0.12
Plantation and Forest	1.58	8.78	8.41	0	6.14	8.01	32.91
Built-up	0.14	0.79	1.63		0.23	3.07	5.86
Grand Total	9.98	164.37	89.00	0.04	21.91	25.70	311.00

Moreover, Figure 6 (a, b) reveals a substantial shift in the land surface temperature (LST) distribution over the 30-years period. The temperature range is 19.01-20°C, which was predominant in 1991 (Fig. 7), experienced a dramatic decline by 2021. Conversely, temperatures in the range of 21.01-22°C saw a significant increase, becoming the most extensive temperature category in 2021. This shift indicates a clear trend of rising land surface temperatures in Domkal block. The increase in higher temperature ranges (>20°C) and the corresponding reduction in lower temperature ranges (<20°C) suggest an overall warming trend in the area. This trend is concerning as it reflects potential impacts of climate change affecting local ecosystems, agriculture, and overall land use patterns. The pronounced increase (Fig. 7) in areas experiencing temperatures of 21.01-22°C and above underscores the need for climate adaptation and mitigation strategies to manage the rising temperatures and their effects on land use in Domkal block. Additionally, in 1991, temperatures varied from 17 to 23°C; however, in 2021, they grew to a range of 18 to 26°C, signifying a rise of 1°C in the minimum temperature and 3°C in the maximum temperature. The mean LST was obtained at 1,067 sample locations

to compare the mean significant difference of LST using a paired samples t-test with a significance level of 0.05. The histograms for both pre- and post-test scores and their differences show that the assumption of normality was not violated when comparing LST before (Mean, $M = 19.61$, Standard Deviation, $SD = 0.017$) and after ($M = 21.14$, $SD = 0.021$). The difference in LST from 1991 to 2021 is statistically significant (Table 6), with a p -value of less than 0.001 (two-tailed). Whereas, visual image analysis indicates that built-up areas, barren terrain, and agricultural land adjacent to rivers and barren land have high temperatures. The western side, due to riverine sand deposition, has a high temperature. The central and eastern regions also experience high temperatures due to the expansion of built-up territory and fallow land. Additionally, many new bricks kiln factories have been built in the last 30 years, contributing to high temperatures around agricultural land (Fig. 8). To create the scatter plot, 1,050 points are generated using the fishnet tool, and multi-values are added to each point to include LST and NDVI values (Fig. 6 c, d) for each unique location. This task is completed using ArcGIS 10.5 software. It is found that areas with low NDVI values have high temperatures. Therefore, in the scatter plot, the x-axis represents the NDVI value, while the y-axis represents the LST value, indicating that as the NDVI value decreases (Fig. 10), the temperature rises.

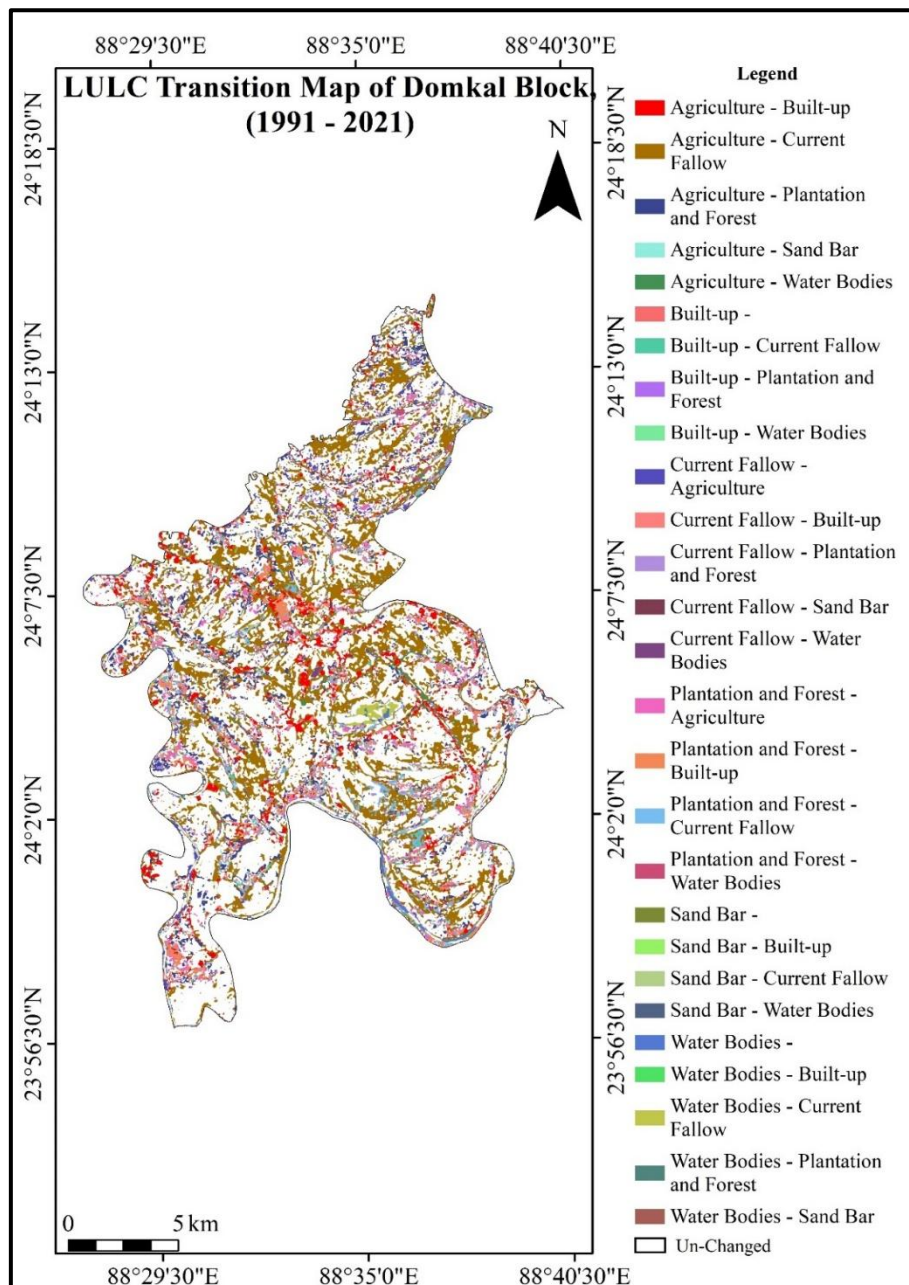


Fig. 5. Temporal transition map of land use/land cover in Domkal Block.

Table 6: Analysis of paired samples t-Test.

		Paired Samples Test					t	df	Sig. (2-tailed)
		Paired Differences			95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	LST 1991 - LST 2021	-1.52	.78	.02	-1.57	-1.48	-63.53	1066.00	.00

Furthermore, Tables 7 and 8 display the Pearson correlation coefficients between LST and NDVI for the Domkal block in 1991 and 2021. A Pearson correlation coefficient of -0.466 signifies a moderate inverse association between LST and NDVI in 1991. Regions exhibiting higher land surface temperatures generally demonstrate decreasing vegetation density as indicated by NDVI. The substantial p-value (0.000) verifies that this correlation is statistically significant at the 0.01 level. In 2021, the Pearson correlation coefficient between LST and NDVI is -0.355. This continues to demonstrate an unfavourable association, though less pronounced than in 1991. The decline in the correlation coefficient indicates a weakening of the inverse link between temperature and vegetation density during the thirty-year span. The correlation is statistically significant as evidenced by the p-value of (0.000). Furthermore, our results emphasise the necessity for ongoing surveillance and administration of land surface temperatures and vegetation coverage. Comprehending the dynamic relationship between LST and NDVI helps guide sustainable land use practices and climate adaptation methods in the Domkal block.

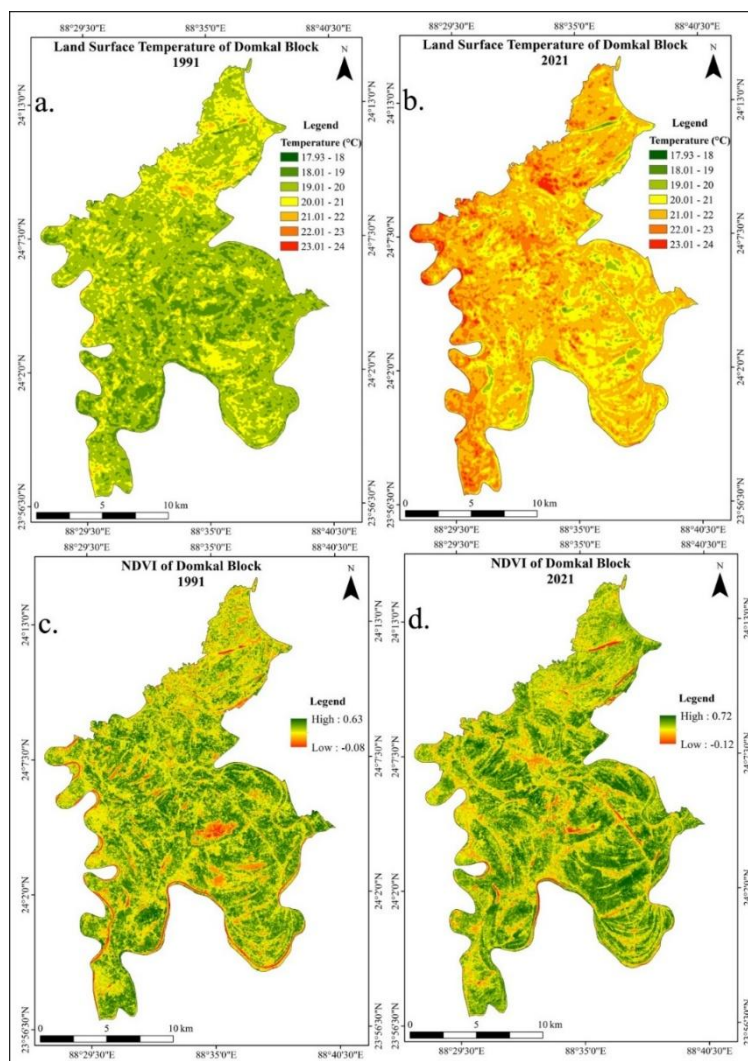


Fig. 6. LST and NDVI trends over decades: Domkal Block (1991-2021).

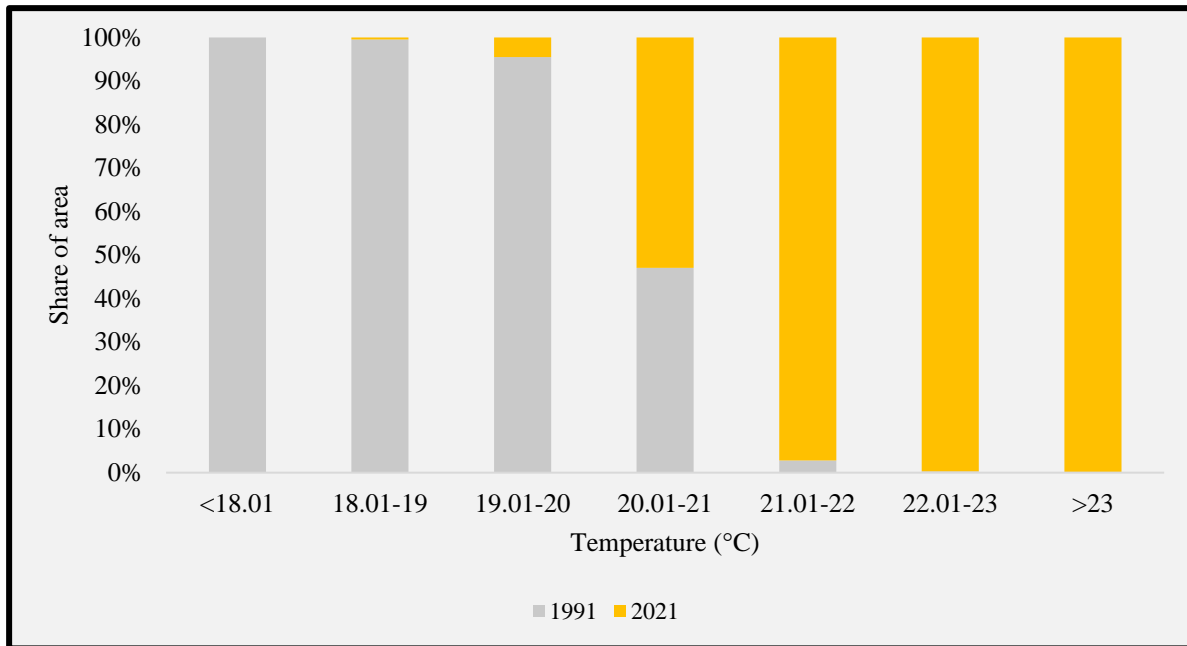


Fig. 7. Changes in LST distribution and area coverage in Domkal Block (1991-2021).

Table 7: Correlation Matrix of LST and NDVI of 1991.

Correlations		LST (1991)	NDVI (1991)
LST (1991)	Pearson Correlation	1	-0.466**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	1056	1056
NDVI (1991)	Pearson Correlation	-0.466**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	1056	1056

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Table 8: Correlation matrix of LST and NDVI of 2021.

Correlations		LST (2021)	NDVI (2021)
LST (2021)	Pearson Correlation	1	-0.355**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	1049	1049
NDVI (2021)	Pearson Correlation	-0.355**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	1049	1049

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Land Fragmentation Analysis by Matrices

In order to comprehend the fragmentation of land and the disturbances caused by human activities, two types of matrices are employed: class level matrix (Table 9) and landscape level matrix. The current study utilizes six class level and one landscape level matrix called SHID. The investigation of fragmentation in the study region between 1991 and 2021 demonstrates notable alterations in several land cover categories. For agriculture, the percentage of landscape (PLAND) decreases from 78.77% to 52.49%, accompanied by an increase in the number of patches (NP) from 289 to 1,261 and patch density (PD) from 0.93 to 4.05. This indicates substantial fragmentation, further evidenced by a decrease in mean patch size (MPS) from 84.89 km² to 12.96 km², a reduction in the largest patch index (LPI) from 75.57% to 6.89%, and an increase in the landscape shape index (LSI) from 26.89 to 55.72. These changes suggest that agricultural land has become more fragmented and less dominant, with patches becoming more irregular in shape. Built-up areas have expanded significantly, with PLAND increasing from 1.88% to 8.31%. The NP rose from 629 to 1,708, and PD increased from 2.02 to 5.48, indicating urban growth. The MPS also increased from 0.93 km² to 1.52 km², while the LPI grew from 0.07% to 0.47%. The LSI increased from 28.84 to 49.74, suggesting that built-up areas have not only grown in number but also in complexity and size, forming larger and more irregular

patches. Current fallow land has seen a substantial increase in PLAND from 6.02% to 28.75%, reflecting a shift in land use practices. The NP increased from 1,139 to 2,797, and PD from 3.66 to 8.98, indicating increased fragmentation. The MPS grew from 1.65 km² to 3.2 km², and the LPI rose from 0.4% to 2.65%. The LSI also increased from 38.1 to 66.65, showing that these fallow areas are becoming more prevalent, larger, and more complex in shape.

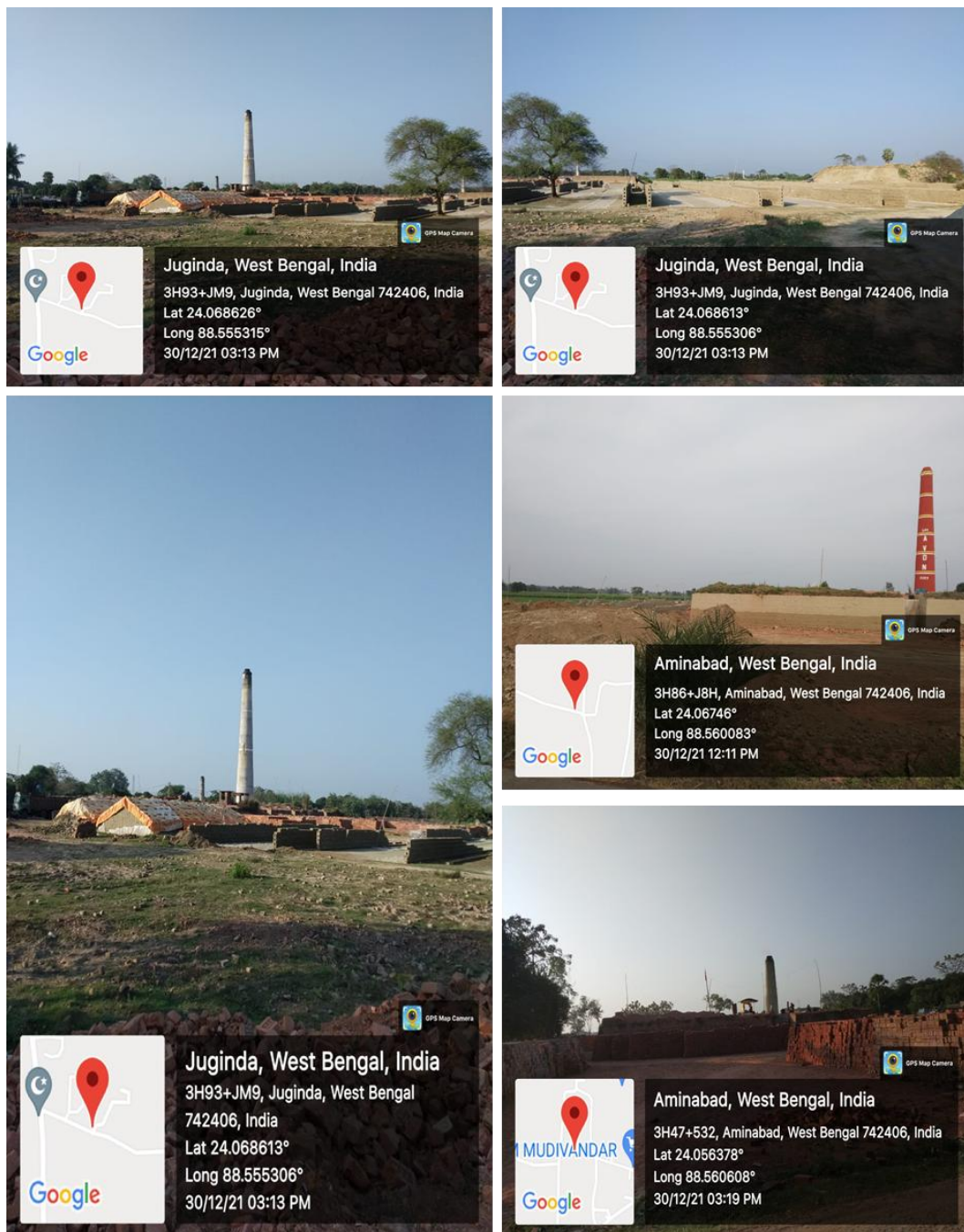


Fig. 8. Photographs showing brick kilns enclosed by agricultural land.

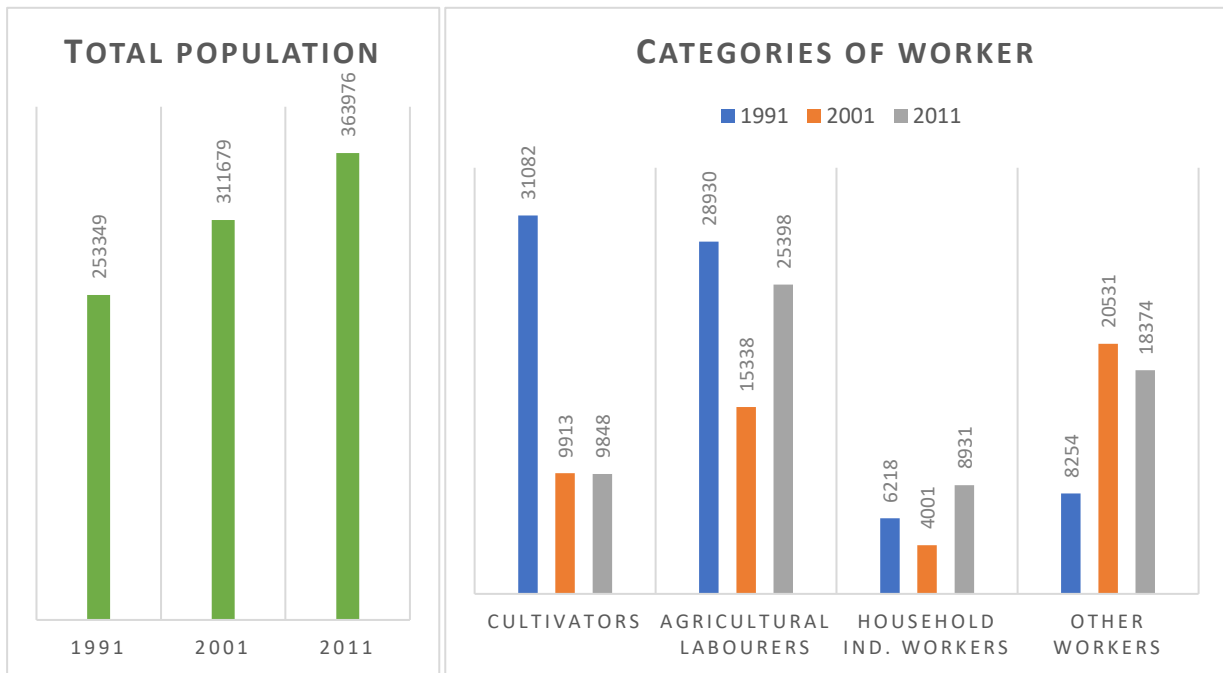


Fig. 9. Population and occupational structure in Domkal Block.

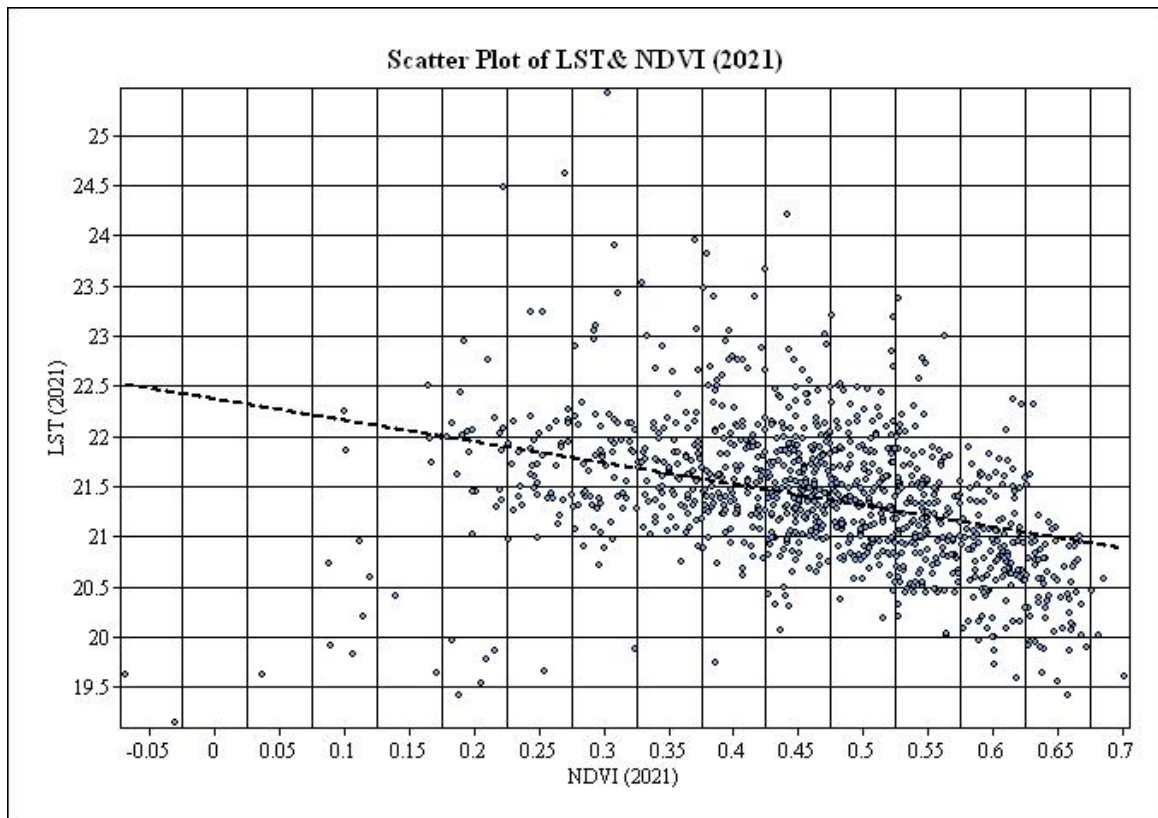


Fig. 10. Comparative analysis: NDVI and LST scatter plot (2021).

Table 9: Key Information on class level matrices.

LULC Class	PLAND (1991)	PLAND (2021)	(NP)1991	(NP)2021	(PD)1991	(PD)2021	MPS (1991)	MPS (2021)	(LPI)1991	(LPI)2021	(LSI)1991	(LSI)2021
Agriculture	78.77	52.49	289	1261	0.93	4.05	84.89	12.96	75.57	6.89	26.89	55.72
Built-up	1.88	8.31	629	1708	2.02	5.48	0.93	1.52	0.07	0.47	28.84	49.74
Current Fallow	6.02	28.75	1139	2797	3.66	8.98	1.65	3.2	0.4	2.65	38.1	66.65
Plantation and Forest	10.58	7.21	1654	2007	5.31	6.44	1.99	1.12	0.43	0.2	49.86	52.03

Sand Bar	0.04	0.01	6	18	0.02	0.06	1.98	0.25	0.01	0	4.3	4.36
Water Bodies	2.7	3.22	170	424	0.55	1.36	4.96	2.37	0.82	0.35	18.51	27.32

Plantation and forest areas have decreased in PLAND from 10.58% to 7.21%, with NP increasing from 1,654 to 2,007 and PD from 5.31 to 6.44 indicating fragmentation. The MPS decreased from 1.99 km² to 1.12 km², and the LPI fell from 0.43% to 0.2% suggesting smaller and less dominant patches. The LSI increased slightly from 49.86 to 52.03 indicating more complex patch shapes. Sand bars have seen a reduction in PLAND from 0.04% to 0.01%, with NP increasing from 6 to 18 and PD from 0.02 to 0.06. The MPS decreased significantly from 1.98 km² to 0.25 km², and the LPI became negligible dropping from 0.01% to 0%. The LSI shows a slight increase from 4.3 to 4.36 indicating that sand bars have become more fragmented and irregular. Water bodies have experienced a slight increase in PLAND from 2.7% to 3.22%, with NP rising from 170 to 424 and PD from 0.55 to 1.36. The MPS decreased from 4.96 km² to 2.37 km², and the LPI fell from 0.82% to 0.35%. The LSI increased from 18.51 to 27.32, indicating more fragmentation and complexity in water body patches. The analysis of landscape fragmentation from 1991 to 2021, incorporating Shannon's Diversity Index (SHDI), highlights notable trends in land use and ecological diversity. SHDI increased from 0.7703 in 1991 to 1.205 in 2021, indicating a rise in landscape heterogeneity and patch diversity. This increase in SHDI suggests that the landscape has become more diverse over time, reflecting changes in land cover types and their distribution. In general, the landscape has undergone significant transformations, driven by factors such as built-up expansion, changes in agricultural practices, anthropogenic disturbances and environmental changes. These trends highlight the need for effective conservation and land management strategies to maintain ecological balance and promote sustainable land use.

Conclusion

An examination of the land cover and land use changes in Domkal Block over the past 30 years shows notable shifts brought about by a complex interaction of environmental, demographic, and socioeconomic factors. Simple change analysis is insufficient to capture the nuances of these changes; Therefore, a thorough grasp of the dynamics at work was made possible by change vector analysis and the creation of change transition matrices using ArcGIS 10.5. The study showed substantial decreases in agricultural land and plantation areas by 80.77 km² and 11.03 km², respectively, with a corresponding increase in built-up land and aquatic bodies by 19.86 km² and 1.6 km². The Domkal block, covering approximately 311 km², experienced nearly 44% land cover change, mostly as a result of the growth of existing fallow land, built-up areas, and plantations. Due to population pressure and a move away from traditional agricultural methods, there has been a significant encroachment of built-up areas on agricultural and plantation lands. The research highlighted a notable rise in land surface temperature (LST) over time, from 17-23°C in 1991 to 18-26°C in 2021. A statistically significant difference in LST was confirmed by the paired samples t-test, with high temperatures observed in the majority of built-up areas, bare terrain, and agricultural lands next to rivers. The presence of brick kiln factories further exacerbated these temperature increases. Fragmentation analysis, employing class level and landscape level matrices, demonstrated significant alterations in land cover categories. Agricultural land has become more fragmented and less dominant, while built-up areas have expanded and become more complex in shape. Current fallow land has increased substantially, indicating shifts in land use practices. Plantation and forest areas have decreased, becoming more fragmented and less dominant. Water bodies have also become more fragmented and complex. The landscape fragmentation analysis, incorporating Shannon's Diversity Index (SHDI) indicated a rise in landscape heterogeneity and patch diversity from 1991 to 2021. These trends reflect changes in land cover types and their distribution, driven by built-up expansion, changes in agricultural practices, anthropogenic disturbances, and environmental changes. Overall, the findings underscore the need for effective conservation and sustainable land management strategies to maintain

ecological balance and promote sustainable land use in Murshidabad district. Addressing the challenges posed by population pressure, shifting agricultural practices, and environmental changes will be crucial for achieving long-term sustainability in the region.

Acknowledgments

The first author of this study gratefully acknowledges the University Grants Commission (UGC), New Delhi, India, for providing the Senior Research Fellowship (SRF) during this research. The authors also express their gratitude to Aliah University, Kolkata for offering a conducive research environment. Additionally, the authors are thankful to the US Geological Survey (USGS) for making Landsat data freely accessible. Special thanks are extended to the editor(s) and anonymous reviewer(s) for their valuable comments and suggestions, which significantly enhanced the manuscript.

Funding

No significant financial support has been received for this work

Conflict of interest

The authors declare that they have no financial or personal interests that could influence the results or the content of this research paper.

References

- Alam, N., Saha, S., Gupta, S. and Chakraborty, S., 2021. Prediction modelling of riverine landscape dynamics in the context of sustainable management of floodplain: a Geospatial approach. *Annals of GIS*, 27(3), 299-314. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1870558>
- Artis, D.A., and Carnahan, W.H., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Bety, A., 2013. Urban geomorphology of Sulaimani City, using remote sensing and GIS techniques, Kurdistan Region, Iraq. Unpublished PhD thesis, Faculty of Science and Science Education, University of Sulaimani, 125. <https://doi.org/10.46717/igj.57.2C.17ms-2024-9-25>
- Bhatta, B., 2008. Remote sensing and GIS. Oxford University Press.
- Borthwick, R., de Flamingh, A., Hesselbarth, M.H., Parandhaman, A., Wagner, H.H. and Abdel Moniem, H.E., 2020. Alternative quantifications of landscape complementation to model gene flow in banded longhorn beetles [*Typocerus v. velutinus* (Olivier)]. *Frontiers in Genetics*, 307. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00307>
- Bose, A. and Chowdhury, I.R., 2020. Monitoring and modeling of spatio-temporal urban expansion and land-use/land-cover change using markov chain model: a case study in Siliguri Metropolitan area, West Bengal, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 2235-2249. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00842-6>
- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S.S. and Aziz, N., 2015. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.07.003>
- Buyadi, S.N.A., Mohd, W.M.N.W. and Misni, A., 2013. Green spaces growth impact on the urban microclimate. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 105, 547-557. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.058>








- Cheruto, M.C., Kauti, M.K., Kisangau, D.P. and Kariuki, P.C., 2016. Assessment of land use and land cover change using GIS and remote sensing techniques: a case study of Makueni County, Kenya. <https://doi.org/10.4172/2469-4134.1000175>
- Choudhury, D., Das, K. and Das, A., 2019. Assessment of land use land cover changes and its impact on variations of land surface temperature in Asansol-Durgapur Development Region. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 203-218. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.05.004>
- Chowdhury, M., Hasan, M.E. and Abdullah-Al-Mamun, M., 2020. Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.11.003>
- Das, S. and Angadi, D.P., 2020. Land use-land cover (LULC) transformation and its relation with land surface temperature changes: A case study of Barrackpore Subdivision, West Bengal, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100322. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100322>
- Dasgupta, A., Kumar, U. and Ramachandra, T., 2009. Urban Landscape analysis through spatial metrics. *Proceedings of International Conference on Infrastructure, Sustainable Transportation and Urban Planning, (CISTUP@ CiSTUP)*, Indian Institute of Science, Bangalore, India,
- Dewan, A.M., Yamaguchi, Y. and Ziaur Rahman, M., 2012. Dynamics of land use/cover changes and the analysis of landscape fragmentation in Dhaka Metropolitan, Bangladesh. *GeoJournal*, 77, 315-330. <https://doi.org/10.1007/s10708-010-9399-x>
- Ding, H. and Shi, W., 2013. Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: a case study in Beijing City. *International Journal of Remote Sensing*, 34(15), 5503-5517. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.792966>
- Gardner, R.H., O'Neill, R.V. and Turner, M.G., 1993. *Ecological implications of landscape fragmentation*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0905-8_17
- Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R. and Al-Kofahi, S., 2020. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*, 6(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05092>
- Herold, M., Scepan, J. and Clarke, K.C., 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and planning A*, 34(8), 1443-1458. <https://doi.org/10.1068/a3496>
- Hoque, I. and Lepcha, S.K., 2020. A geospatial analysis of land use dynamics and its impact on land surface temperature in Siliguri Jalpaiguri development region, West Bengal. *Applied Geomatics*, 12(2), 163-178. <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00288-1>
- Hua, A., 2017. Application of CA-Markov model and land use/land cover changes in Malacca River watershed, Malaysia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4). DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1504_605622
- Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B. and Nath, T.K., 2018. Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.005>

- Kafy, A.A., Faisal, A.-A., Sikdar, S., Hasan, M., Rahman, M., Khan, M.H. and Islam, R., 2020. Impact of LULC changes on LST in Rajshahi district of Bangladesh: a remote sensing approach. *Journal of Geographical Studies*, 3(1), 11-23. <https://doi.org/10.21523/gcj5.19030102>
- Kamusoko, C. and Aniya, M., 2007. Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura District, Zimbabwe. *Land Degradation and Development*, 18(2), 221-233. <https://doi.org/10.1002/ldr.761>
- Kangabam, R.D., Selvaraj, M. and Govindaraju, M., 2019. Assessment of land use land cover changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot using geospatial techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.005>
- Keitt, T.H., Urban, D.L. and Milne, B.T., 1997. Detecting critical scales in fragmented landscapes. *Conservation ecology*, 1(1). <https://www.jstor.org/stable/26271642>
- Landsat Project Science Office., 2002. Landsat 7 Science Data User's Handbook. NASA. Retrieved 10 September 2003.
- Liu, H. and Weng, Q., 2008. Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 199-219. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9979-5>
- McGarigal, K., Cushman, S., Neel, M. and Ene, E., 2002. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. University of Massachusetts, Amherst. In. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Mishra, P.K., Rai, A. and Rai, S.C., 2020. Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.02.001>
- Mustaquim, M. and Islam, W. 2023. Multitemporal Analysis of Land Use/Cover Changes and Landscape Fragmentation in Murshidabad District of West Bengal, India. *Current World Environment*, 18(2), 647-661. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.12944/CWE.18.2.18>
- Mustaquim, M. and Islam, W., 2024. Analysing Land Use and Cover Transformations in Berhampore, West Bengal, India: A CA-Markov and ANN Simulation Approach for Future Predictions. *Agric Res.* <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00745-3>
- Naqvi, H.R., Siddiqui, L., Devi, L. M. and Siddiqui, M.A., 2014. Landscape transformation analysis employing compound interest formula in the Nun Nadi Watershed, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.09.001>
- Nelson, S.A. and Khorram, S., 2018. Image processing and data analysis with ERDAS IMAGINE®. CRC Press.
- Prathamesh Barane, G.S.D., 2017. RSandGIS Plugins. In (Version 1.2)
- Rehman, A., Qin, J., Pervez, A., Khan, M. S., Ullah, S., Ahmad, K. and Rehman, N.U., 2022. Land-use/land cover changes contribute to land surface temperature: a case study of the Upper Indus Basin of Pakistan. *Sustainability*, 14(2), 934. <https://doi.org/10.3390/su14020934>
- Roy, B. and Kasemi, N., 2021. Monitoring urban growth dynamics using remote sensing and GIS techniques of Raiganj Urban Agglomeration, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(2), 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.02.001>

- Rwanga, S.S. and Ndambuki, J.M., 2017. Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611. DOI: [10.4236/ijg.2017.84033](https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033)
- Saber, A., El-Sayed, I., Rabah, M. and Selim, M., 2021. Evaluating change detection techniques using remote sensing data: Case study New Administrative Capital Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 635-648. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.03.001>
- Sánchez Sánchez, Y., Martínez Graña, A., Santos-Francés, F., Reyes Ramos, J.L. and Criado, M., 2021. Multitemporal analysis of land use changes and their effect on the landscape of the jerte valley (Spain) by remote sensing. *Agronomy*, 11(8), 1470. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081470>
- Sertel, E., Topaloğlu, R.H., Şallı, B., Yay Algan, I. and Aksu, G.A., 2018. Comparison of landscape metrics for three different level land cover/land use maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 408. <https://doi.org/10.3390/ijgi7100408>
- Seto, K.C. and Fragkias, M., 2005. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. *Landscape Ecology*, 20, 871-888. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-5238-8>
- Singh, S.K., Pandey, A.C. and Singh, D., 2014. Land use fragmentation analysis using remote sensing and Fragstats. *Remote sensing applications in environmental research*, 151-176. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05906-8_9
- Sisodia, P.S., Tiwari, V. and Kumar, A., 2014. Analysis of supervised maximum likelihood classification for remote sensing image. *International conference on recent advances and innovations in engineering (ICRAIE-2014)*, <https://doi.org/10.1109/ICRAIE.2014.6909319>
- Snyder, W.C., Wan, Z., Zhang, Y. and Feng, Y.Z., 1998. Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space. *International Journal of Remote Sensing*, 19(14), 2753-2774. <https://doi.org/10.1080/014311698214497>
- Townshend, J.R. and Justice, C., 1986. Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1435-1445. <https://doi.org/10.1080/01431168608948946>
- Wu, J., 2008. Land use changes: Economic, social, and environmental impacts. *Choices*, 23(4), 6-10.
- Zhang, Y., Balzter, H., Liu, B. and Chen, Y., 2016. Analyzing the impacts of urbanization and seasonal variation on land surface temperature based on subpixel fractional covers using Landsat images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(4), 1344-1356. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2608390>
- Ziaul, S. and Pal, S., 2016. Image based surface temperature extraction and trend detection in an urban area of West Bengal, India. *Journal of Environmental Geography*, 9(3-4), 13-25. <https://doi.org/10.1515/jengeo-2016-0008>



Mineralogical Components of the Upper Jurassic Naokelekan Formation from Northeastern Iraq

Sumaya Asghar Samad^{1,2*} , Hasan A. Ali Al-Jumaily² , Ali Ismail Al-Juboury³ , Harry Rowe⁴ , Giovanni Zanoni⁵ , Rebwar H. Rasool⁶ , Arkan O. Sharazwri⁷ 

¹Northern Oil Company, Kirkuk, Iraq.

^{2,6}Department of Applied Geology, College of Science, University of Kirkuk, Iraq.

³Petroleum Engineering Department, College of Engineering, University of Al-Kitab, Kirkuk, Iraq.

⁴Premier Corex Laboratories, Houston, TX 77041, USA.

⁵Rohm Tek, Houston, TX 77024, USA.

⁷Department of Petroleum Geosciences, Faculty of Sciences, Soran University, Soran- Erbil, Iraq.

Article information

Received: 30- Oct -2024

Revised: 27- Dec -2024

Accepted: 08- Feb -2025

Available online: 01- Apr – 2026

Keywords:

Mineralogy,
Naokelekan Formation,
Calcite forms,
Scanning electron microscopy,
Iraq,

Correspondence:

Name: Sumaya Asghar Samad

Email:

scgm23003@uokirkuk.edu.iq

ABSTRACT

The upper Jurassic Naokelekan Formation has been investigated using X-ray diffraction and scanning electron microscopy in two outcrop sections from Halabja and Barzinja areas in northeastern Iraq to determine mineralogical composition. The study shows that the abundance of calcite, rare dolomite, quartz, feldspars, and some other minerals, such as pyrite, goethite, natrolite, and apatite, form the main non-clay composition. Illite (mica) and mixed layers of illite/smectite are the clay minerals. Calcite is the dominant mineral in all the studied samples, while the presence of the framework silicates of quartz and feldspars (plagioclase and K-feldspar) shows a variation across the studied sections, where they increase in the argillaceous limestone and calcareous shale samples. Various forms of calcite reflect contributions from depositional environment, diagenesis, inorganic mineralization, and biogenic contribution, while detrital contribution due to weathering is responsible for the quartz and some feldspar content. Hot arid paleoclimatic conditions are indicated by the common presence of illite (mica).

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56152](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56152), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المكونات المعدنية لتكوين ناوكليكان (الجوراسي المتأخر) من شمال شرقي العراق

سمية اصغر صمد^{1,2*} ID، حسن احمد علي الجميلي² ID، علي اسماعيل الجبوري³ ID، هاري روي⁴ ID، جيوفاني زانوني⁵ ID، ريبوار رسول⁶ ID، اركان شارازويري⁷ ID

¹ شركة نفط الشمال-كركوك-العراق.

^{2,6} قسم الجيولوجيا التطبيقية-كلية العلوم-جامعة كركوك.

³ قسم هندسة النفط-كلية الهندسة-جامعة الكتاب-كركوك-العراق.

⁴ مختبرات بريمر كوريكس-هيوستن-الولايات المتحدة الاميركية.

⁵ شركة روم تيك-هيوستن-الولايات المتحدة الاميركية.

⁷ قسم جيولوجيا النفط-جامعة سوران-اريل-العراق.

الملخص

تمت دراسة تكوين ناوكليكان (الجوراسي الاعلى) باستخدام حيود الاشعة السينية والمجهر الماسح الالكتروني في مقطعين سطحيين هما حلجة وبرنجة شمال شرقي العراق لتبيان المكونات المعدنية. أظهرت الدراسة بأن وفرة الكالساييت وندرة من الدولومايت، الكوارتز والفلدسبار مع معادن اخرى مثل الباييريت والجوثايت والناترولوايت والاباتايت تشكل المعادن غير الطينية. الالاييت (المايكا) و الصفائح المختلطة من الالاييت-سمكتايت تشكل المعادن الطينية. يعد الكالساييت المعدن الاكثر شيوعا في جميع نماذج الدراسة في حين ان السليكات الهيكلية من الكوارتز والفلدسبار (البلاجيوكليس والفلدسبار البوتاسي) تظهر تغيرا عبر المقطعين قيد الدراسة اذ تزداد في الصخور الجيرية الطينية. الاشكال المختلفة للكالساييت تعكس اضافات وتأثير البيئة الترسيبية والعمليات التحويرية والتمعدن غير العضوي او التأثير العضوي. بينما يعود وجود الكوارتز والفلدسبار الى التأثير الفتاتي نتيجة عمليات التجوية. كما عكس شيوع الالاييت تأثير الظروف المناخية القديمه الحارة والجافة.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 30- اكتوبر-2024

تاريخ المراجعة: 27- ديسمبر-2024

تاريخ القبول: 08- فبراير-2025

تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل-2026

الكلمات المفتاحية:

المعدنية،

تكوين ناوكليكان،

اشكال الكالساييت المختلفة،

المجهر الماسح الالكتروني،

العراق.

المراسلة:

الاسم: سمية اصغر صمد

Email: scgm23003@uokirkuk.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56152](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56152), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

The late Jurassic Naokelekan Formation is composed of black, bituminous limestones that are thin to medium-bedded and dolomitic limestone intercalated with thin, black, and calcareous shale in both the upper and lower portions of the formation (Bellen et al., 1959).

In most parts of northern Iraq, the tripartite separation of the formation is identifiable based on field measurements and petrographic study. This sequence from bottom to top is composed of (1) dolomitic limestone, (2) kerogenous limestone, and (3) laminated shaly kerogenous limestone. Mature organic matter can be found in the Naokelekan Formation source rock, which is part of the Zagros Mountain belt and is produced during the oil generation window (Abdula, 2023). Shallow marine subtidal to supratidal and euxinic (anoxic) depositional environments have been confirmed by the presence of algal mats rich in organic matter (Buday, 1980; Abdula, 2016). Additionally, the shallow marine, brackish lagoons and

subtidal (lagoon) have also been considered by several authors, such as Salae (2001), Balaky (2014), Omar et al. (2023).

Little is known about the mineralogy of various lithologies of the formation, distribution, and origin. Therefore, the mineralogical composition of the lithological units of the formation using X-ray diffraction (XRD) supported by scanning electron microscopy (SEM) has been conducted on two outcrop sections (Barzinja and Halabja) from northeastern Iraq to determine the main mineralogical phases and conclude variation in their content along the studied sections.

Study Area

The two studied sections lie in Halabja and Barzinja cities, respectively. The Halabja section is in the Shnrwe anticline at the coordinates (35° 07' 36.53" N- 46 ° 03' 57.10" E), while the Barzinja section lies in the Galal valley at coordinates (35° 32' 56.00" N- 45° 44' 56.87"E), as shown in Figure 1. Argillaceous limestone and thin shale beds, with common fractures and gastropods, form the main lithology in the Barzinja section (Fig. 2). In the Halabja section, the lithology is composed of limestone, argillaceous limestone, calcareous, organic-rich shale, and black chert. The limestones are thin to medium-bedded, fractured, and stylolitic (Fig.3). Tectonically, the Barzinja sections lie in the High Folded Zone, while the Halabja sections in the Imbricate Zone according to the tectonic divisions of Iraq (Fouad, 2015) (Fig.1).

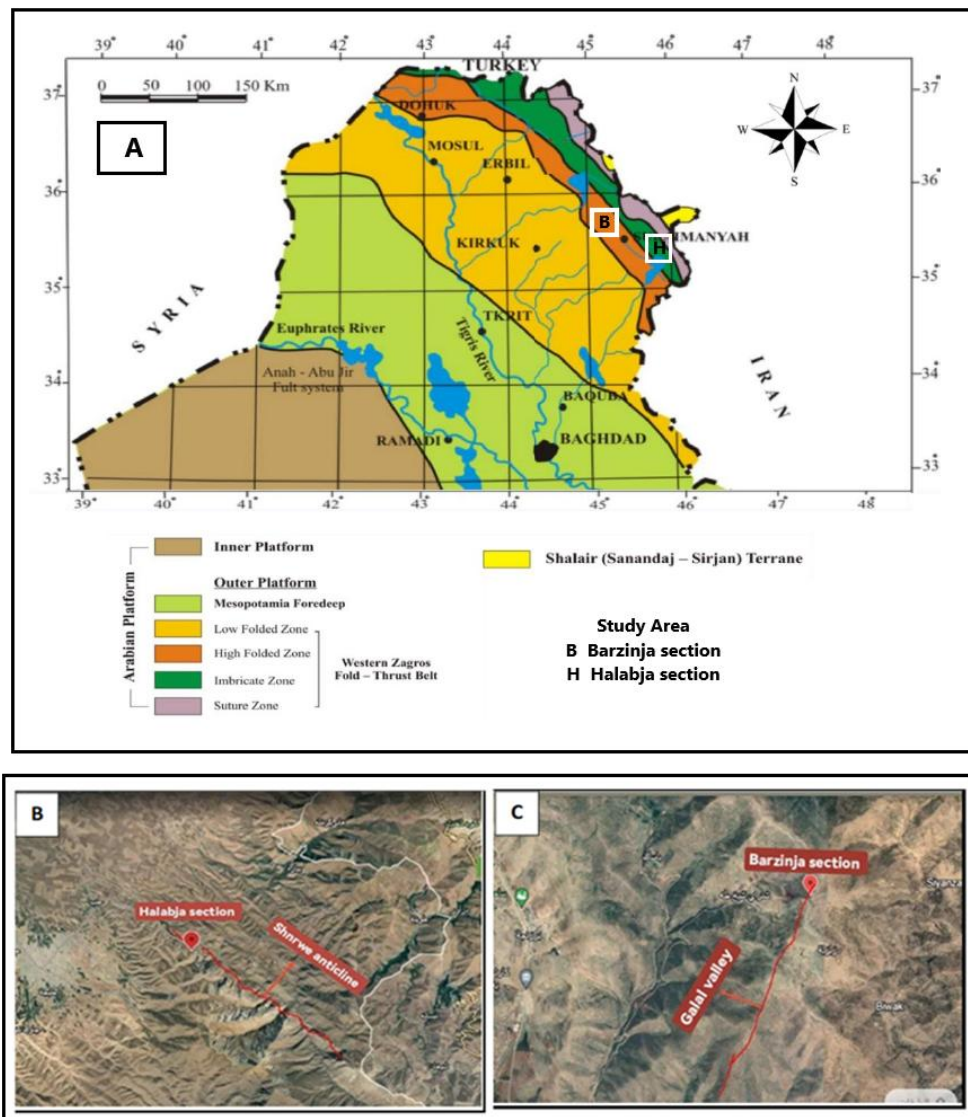


Fig. 1. (A) Tectonic division map of Iraq from Fouad (2015), showing the location of the studied sections, (B) and (C), Aerial photos of the Halabja and Barzinja sections, respectively

Geological History

The Mesozoic sequence in Iraq was deposited along the Arabian craton's eastern passive boundary (Numan, 1997). This boundary underwent suture in the Late Cretaceous and Early Tertiary, after evolving from a rift situation in the Permian and Triassic to drift in the Jurassic and Early Cretaceous (Burchette, 1993). The exposed Jurassic formations in the Zagros/Foreland basin of Iraq crop out in isolated locations within the eroded cores and limbs of anticlines in the structural zones of the Zagros Basin, i.e., High Folded, Imbricated, and Thrust Zones of Northern Iraq (Numan, 2000).

A foreland basin that accommodated the deposition of the Naokelekan and Barsarin formations was formed near the craton's edge during the Late Jurassic (Murriss, 1980; Numan, 2000; Kameran et al., 2023).

There are significant differences in the thickness of the Naokelekan Formation throughout the area of northern Iraq (Bellen et al., 1959). At every outcrop location, the Barsarin Formation overlies the Naokelekan Formation, while the Sargelu Formation underlines it. The lithological composition and the composition of all known occurrences of the formation are similar (Buday, 1980).

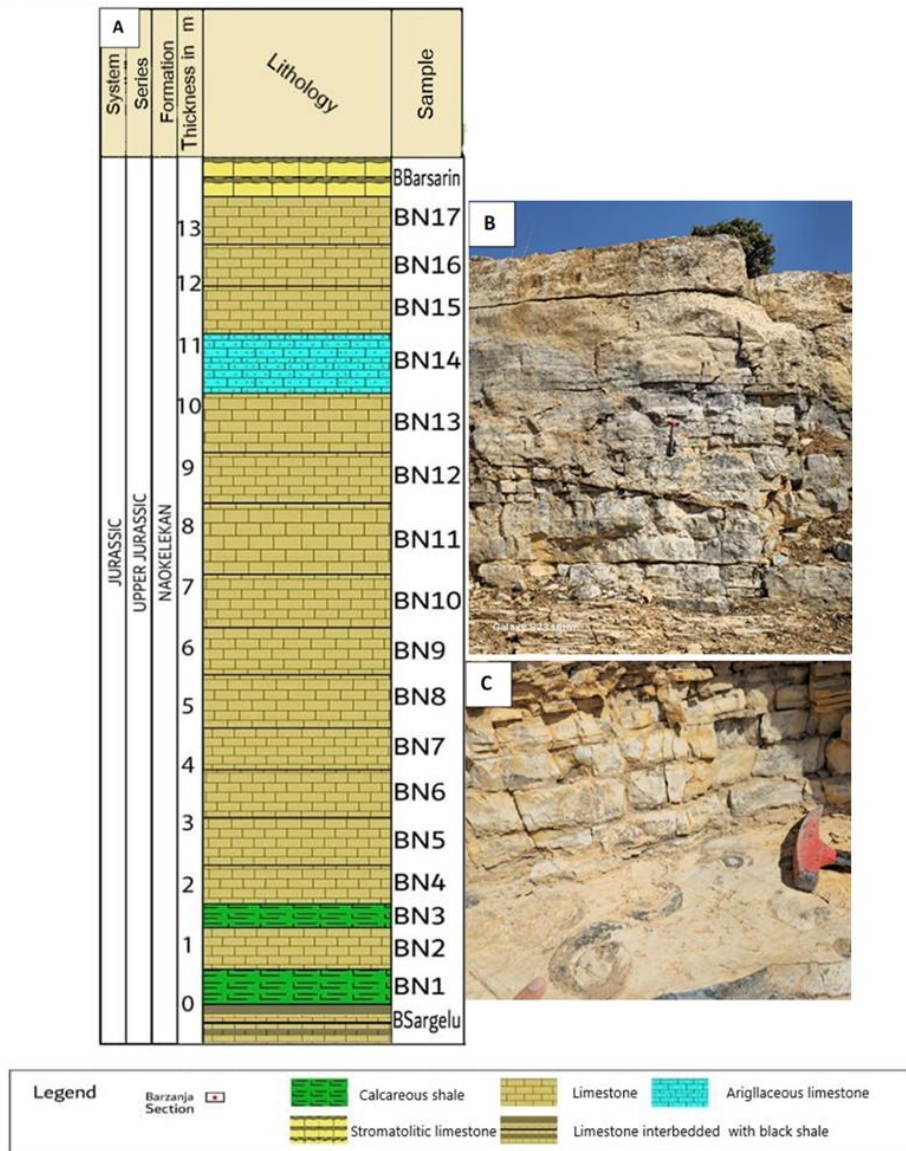


Fig. 2. (A) Lithological section of the Naokelekan Formation at Barzinja section with samples location showing the common limestone with shale intercalations; (B) Thin to medium bedded fractured limestone ; (C) Gastropods, commonly observed in large sizes in limestone units.

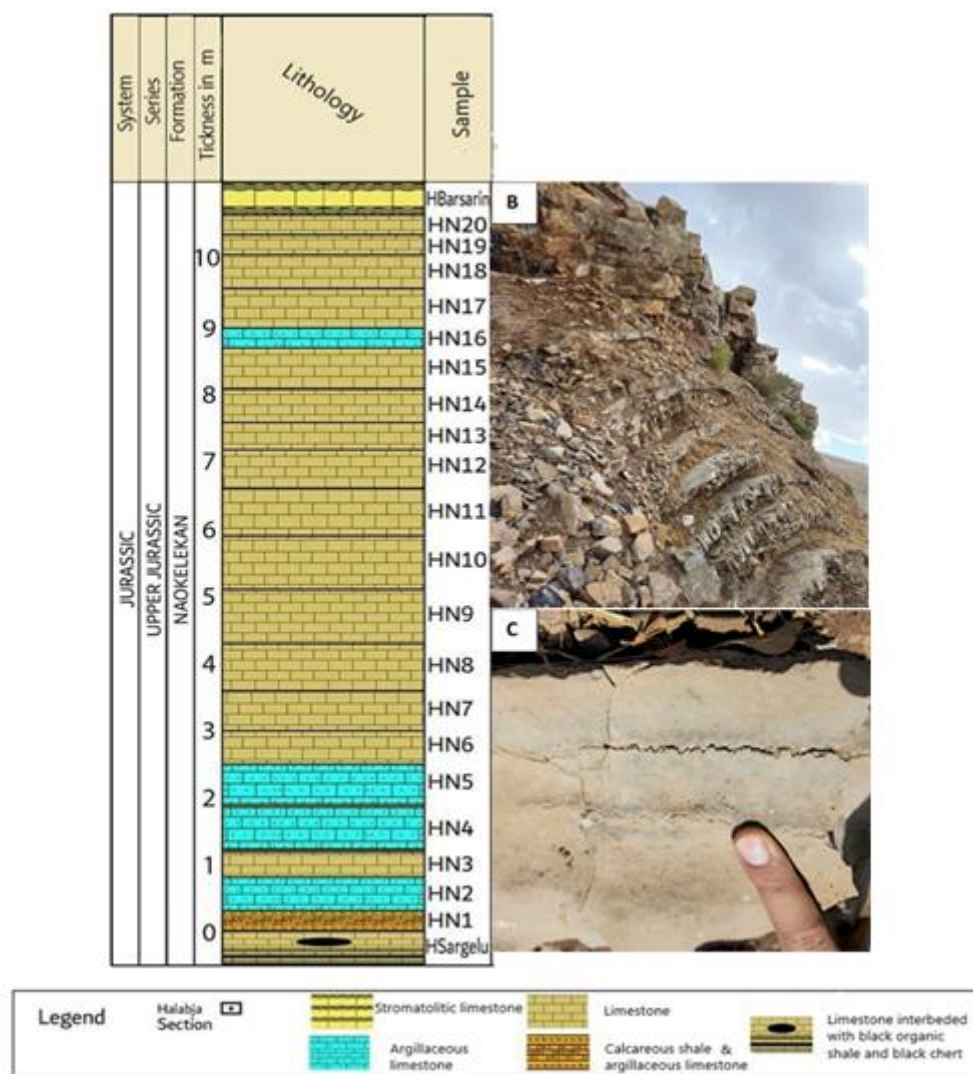


Fig. 3. (A) Lithological section of the Naokelekan Formation at Halabja section with sample locations showing the common limestone, some are argillaceous alternated with calcareous shale; (B) Thinly bedded limestone alternated with shale that characterizes the studied succession; (C) Common stylolite in the limestone units.

Materials and Methods

Samples of this study were selected from the limestone, argillaceous limestone, and calcareous shale samples of the two studied sections (Barzinja and Halabja) of the Naokelekan Formation (Figures 2 and 3) and then prepared for the mineralogical analyses.

At Premier Corex Laboratories in Houston, Texas, X-Ray diffraction (XRD) examination is carried out on a selection of bulk samples. A Bruker D8 Advance XRD equipment, fitted with a Lynxeye XE-T detector and a theta-theta goniometer with a 250 cm radius, is used for this purpose. CuK radiation is used for all measurements, and 40 kV and 30 mA of voltage and current, respectively, were applied. The TOPAS software suite is used to quantify the mineral phases in the bulk diffraction pattern. Scanning electron microscopy (SEM) analyses are performed on a limited number of samples at the same laboratories using FEI Quanta FEG 650 FE-SEM instruments. These instruments are furnished with an FEI R580 Everhart-Thornley (ETD) electron detector and two Bruker EDS XFlash 5030 energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) detectors.

Results and Discussion

X-Ray diffraction analysis (Table 1) has revealed that the main mineralogical components according to their groups, are as follows: framework silicates (quartz and feldspars), carbonate

(calcite and dolomite), others (pyrite, goethite, natrolite, and apatite), in addition to clay minerals including illite (mica) and mixed layers illite/smectite.

The x-ray diffractograms (Figures.4 and 5) illustrate the mineralogical constituents of the studied Naoklekan samples in the two studied sections.

The presence of the framework silicates quartz and feldspars (plagioclase and K-feldspar) varies across the studied sections, where they increase in the argillaceous limestone and calcareous shale samples. Quartz ranges from 2.4 – 4 with an average of 2.94 in the studied samples of the Naoklekan Formation at Halabja section, whereas it increases in Barzinja section and ranges from 2 – 7.5 with an average of 4 (Table 1). Plagioclase feldspar appears only in the limestone sample, with a very small amount not exceeding 0.4, while K-feldspars show a larger amount than plagioclase and range from 0.3 to 4.0 in the Halabja section, with an average of 1.43, while in the Barzinja section, they appear in one sample of calcareous shale with 5.1%.

The carbonates dominate the mineralogical constituents of the studied samples since most of the lithological components are limestone. Calcite is the common mineral with a range from 74.4 – 96.0 (average 89.38%) and 71.6-94.8 (average 87.75%) in the Halabja and Barzinja sections, respectively. While dolomite and Fe-dolomite appear in argillaceous limestone samples HN1 and HN4, from the Halabja section, which is confirmed by common dolomitization in these samples (Fig. 5 and Table 1).

The other components include pyrite and apatite (0.4% and 2.2%) only in the calcareous shale sample from the Barzinja sample, respectively, goethite (averaged 0.4 and 0.1%) in the Halabja and Barzinja sections, respectively, and natrolite (averaged 0.1 and 0.9%) in the Halabja and Barzinja sections, respectively (Table 1).

The clay minerals include two minerals: the illite (mica) with a range of 0.3 to 4.3, average 2.18%, and a range of 1.8 to 8.4, average 4.7% in the Halabja and Barzinja sections, respectively. The mixed layers illite/smectite appear in one sample only, with an amount of 2% (Table 1).

In the SEM images, various types of calcites are recognized in the current study; these include: blocky calcite that fills coccolith nannofossil shells (Fig. 6A), scattered calcite grains (Figs.6A, B, C and 7C), star-shaped Mg-calcite microcrystals (Figs. 6B, 7A, B and 8A), columnar and euhedral calcite (Figs. 6B and 7B), disc-shaped calcite (Fig.7A), and bladed and platy calcite (Figs.8A and 9A). Calcite also observed in microspar and blocky cement (Fig.9B) and in radial and fibrous calcite forms (Figs. 7C and 9C).

These different shapes of calcite reflect the depositional conditions where the rocks of the Naoklekan Formation were deposited, which is, in general, shallow marine to lagoonal, as also mentioned in many previous works such as (Salae, 2001; Balaky, 2014; Omar et al., 2023). Formation of the star-shaped calcite crystals relates mostly to Mg²⁺ rich inorganic mineralization without organic contribution (Zhu et al., 2006), while the disc-shaped crystals were formed as a biogenic-specific morphology of carbonate minerals (Yang et al., 2023). Most of the other forms were formed diagenetically due to the effect of recrystallization or cementation processes (Dickson, 2022; Mahmood et al., 2025; Abdullah et al., 2025).

Table 1: Mineralogical constituents of the Naokelekan Formation in the studied sections.

Sample no./ Lithology	Non-clay Minerals										Clay Minerals		Total %
	Framework Silicates				Carbonates			Others			ML Illite/Smectite %	Illite (Mica) %	
	Quartz %	Plagioclase %	K-feldspar %	Calcite %	Dolomite %	Fe-Dolomite %	Pyrite %	Goethite %	Natrolite %	Apatite %			
Halabja section													
HN20 Limestone	2.6	0.2	Trace	94.8	0	0	0	0	0	0	Trace	2.4	100
HN16 Argillaceous Limestone	2.7	0	0.3	90	0.	0	0	0.7	0	0	2	4.3	100
HN11 Limestone	3	0	0.4	96	0	0	0	0	0	0	0	0.6	100
HN4 Argillaceous Limestone	2.4	0	1	91.7	4.3	0.3	0	0	0	0	0	0.3	100
HN1 Argillaceous Limestone	4.0	0	4.0	74.4	12.6	0	0	1.2	0.5	0	0	3.3	100
Range	2.4 – 4	0 – 0.2	0.3 – 4.0	74.4 – 96.0	0 – 12.6	0 – 0.3	0 – 0	0 – 1.2	0 – 0.5	0-0	0 – 2.0	0.3 – 4.3	
Average	2.94	0.04	1.43	89.38	3.38	0.06	0	0.38	0.1	0	1	2.18	
Barzinja section													
BN15 Limestone	2	0.2	0	90.3	0	0	0	0.8	0.3	0	0	6.4	100
BN12 Limestone	3	0.4	0	94.8	0	0	0	0	Trace	0	0	1.8	100
BN7 Limestone	3.5	Trace	0	94.3	0	0	0	0	Trace	0	0	2.2	100
BN3 Calcareous Shale	7.5	0	5.1	71.6	0	0	0.4	3.3	1.5	2.2	0	8.4	100
Range	2 – 7.5	0 – 0.4	0 – 5.1	71.6-94.8	0 – 0	0 – 0	0 – 0.4	0 – 3.3	0.3 – 1.5	0-2.2	0 – 0	1.8 – 8.4	
Average	4	0.2	1.28	87.75	0	0	0.1	0.1	0.9	0.55	0	4.7	

The framework silicates that are also recorded are quartz in rhombohedral form with secondary overgrowth (Fig. 6C) and feldspar (Fig. 7C), while illite is the main clay mineral that is also recorded in the SEM images in fibrous and platy forms (Figs. 6A, 8B, C)

Mineralogical composition of the late Jurassic Naokelekan Formation at Halabja and Barzinja sections reveals little variation in mineralogical components between the studied areas. In general, the calcite content belongs to the type of the studied rocks, which are commonly limestone, sometimes argillaceous, which in turn includes less calcite than in pure limestone (Table 1).

The silicate framework of quartz and K-feldspar content increases in the calcareous shale and argillaceous limestone (Table 1), reflecting their detrital origin as influx due to increased weathering. This conclusion was recorded by other authors. According to Tobia et al. (2019), Mena and Abdulla (2023), and Rasool et al. (2024), the main source rocks of the Sargelu and Naokelekan formations are felsic and felsic-intermediate igneous rocks supplied from the Mid Oceanic Ridge and deposited in an active setting. This may be related to a gradual increase in weathering from older sources, which has been confirmed in the middle to upper Jurassic formations from northern Iraq.

Sediments that have experienced diagenesis in an alkaline reducing environment often contain pyrite (Hanjo et al., 1965). This may confirm the deposition of the grey to black pyrite-bearing calcareous shale of the Naokelekan Formation in a reducing environment. Pyritization, which produces different crystal forms of pyrite, had taken place in reducing circumstances and is probably facilitated by the sulfate solution produced by reducing bacteria or by the

breakdown of organic molecules, which is then triggered by anaerobic bacteria (Hudson, 1982; Al-Auqadi *et al.*, 2024).

Natrolite is a common zeolite that can be found in altered basaltic rocks in veins and holes, but it can also exist in sedimentary rocks as a byproduct of diagenetic alteration. In some of the examined samples, the presence of natrolite conjugated with high amounts of dolomite and feldspars, particularly K-feldspar, this may suggest that the carbonate rocks were subjected to intense diagenetic processes (Deer *et al.*, 2004).

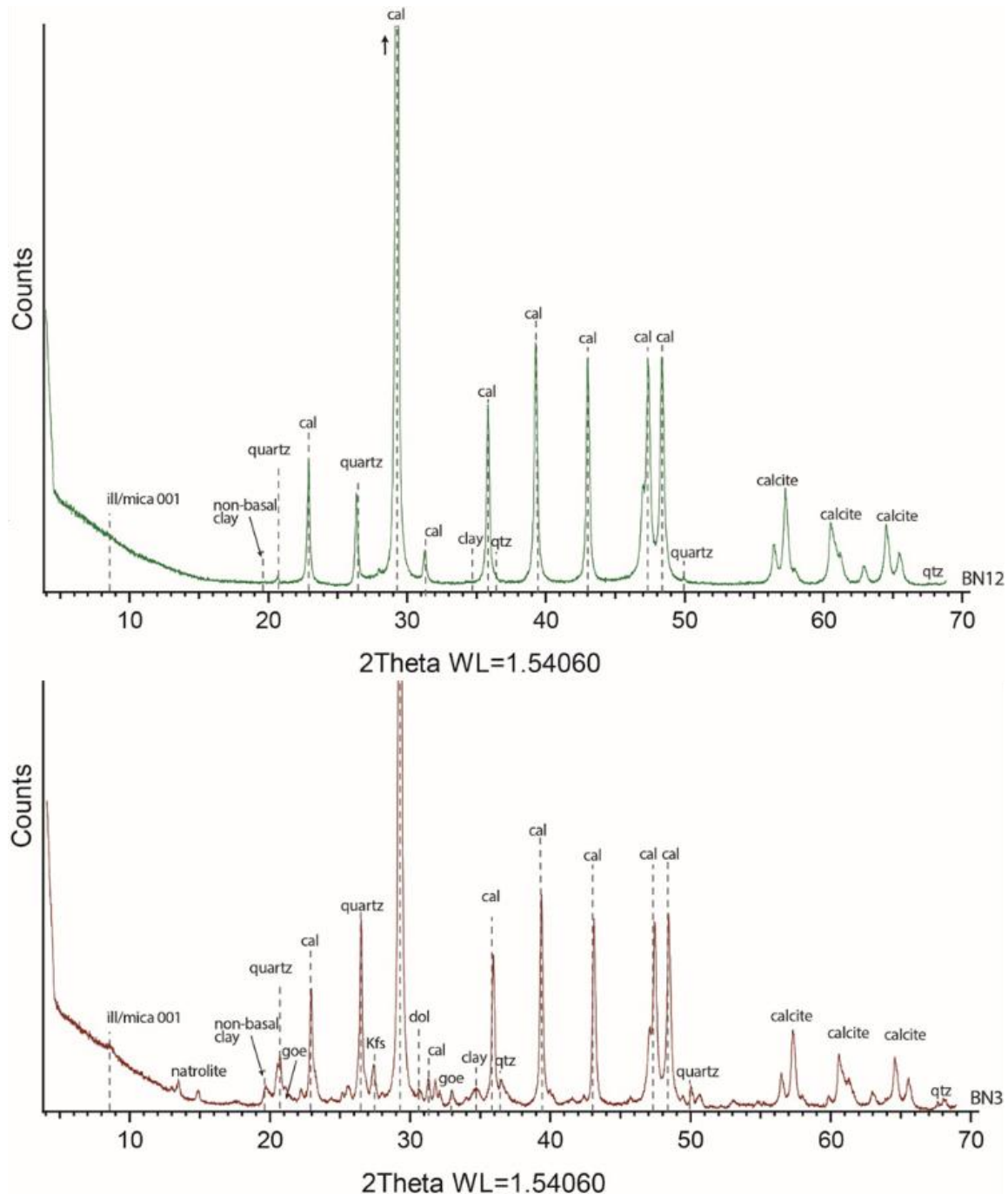


Fig. 4. X-ray diffractograms of selected B3 and B12 samples from Barzinja section illustrating the presence of illite (mica), quartz, calcite (Cal), natrolite, K-feldspar (Kfs), dolomite (dol) and goethite (goe) mineral phases.

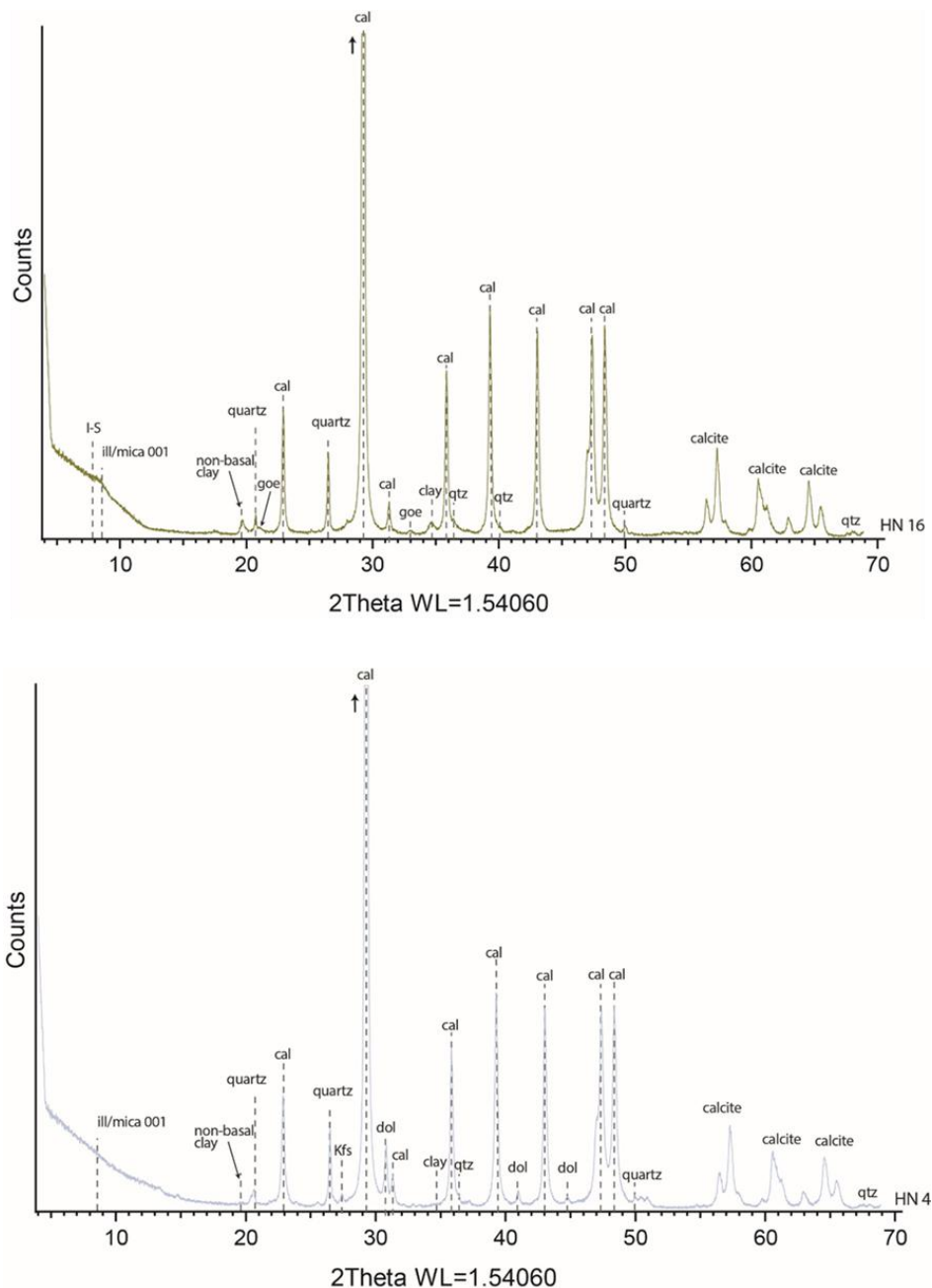


Fig. 5. X-ray diffractograms of selected HN4 and HN16 samples from Halabja section illustrating the presence of illite (mica), quartz, calcite (Cal), K-feldspar (Kfs), and dolomite (dol) mineral phases.

The sedimentary rocks that were formed in marine and lacustrine environments include some apatite, bones, teeth, scales, and feces, which were among the phosphatic organic waste that had accumulated and calcified there during diagenesis (Ptáček, 2016).

Clay mineral types provide information on the weathering conditions in the sedimentary basin and the dominant climate at the time of sedimentation (Chamley, 1989). Climate, tectonic events, pressure-temperature modulatory processes, and geochemical interactions are all linked to fractionation in clay minerals (Weaver, 1989).

Dominance of illite-mica reflects the dry and hot conditions prevailing during deposition of the Naokelekan Formation (Chamley, 1989). The dry condition in the Naokelekan Formation is promoted by relatively high amounts of dolomite in some of the studied samples. Dolomite is a common mineral that formed in hot and dry conditions (Warren, 2000; Al-Tae et al., 2024).

The limited and evaporative environmental deposition is reflected in the common calcite. In addition to weathering from older sedimentary rocks, the presence of both quartz and

feldspars with conjugated traces of natrolite indicates the contribution of felsic igneous rocks. This could be related to a provenance dominated by felsic rocks from the Arabian Shield and/or the Zagros ophiolites and related igneous rocks.

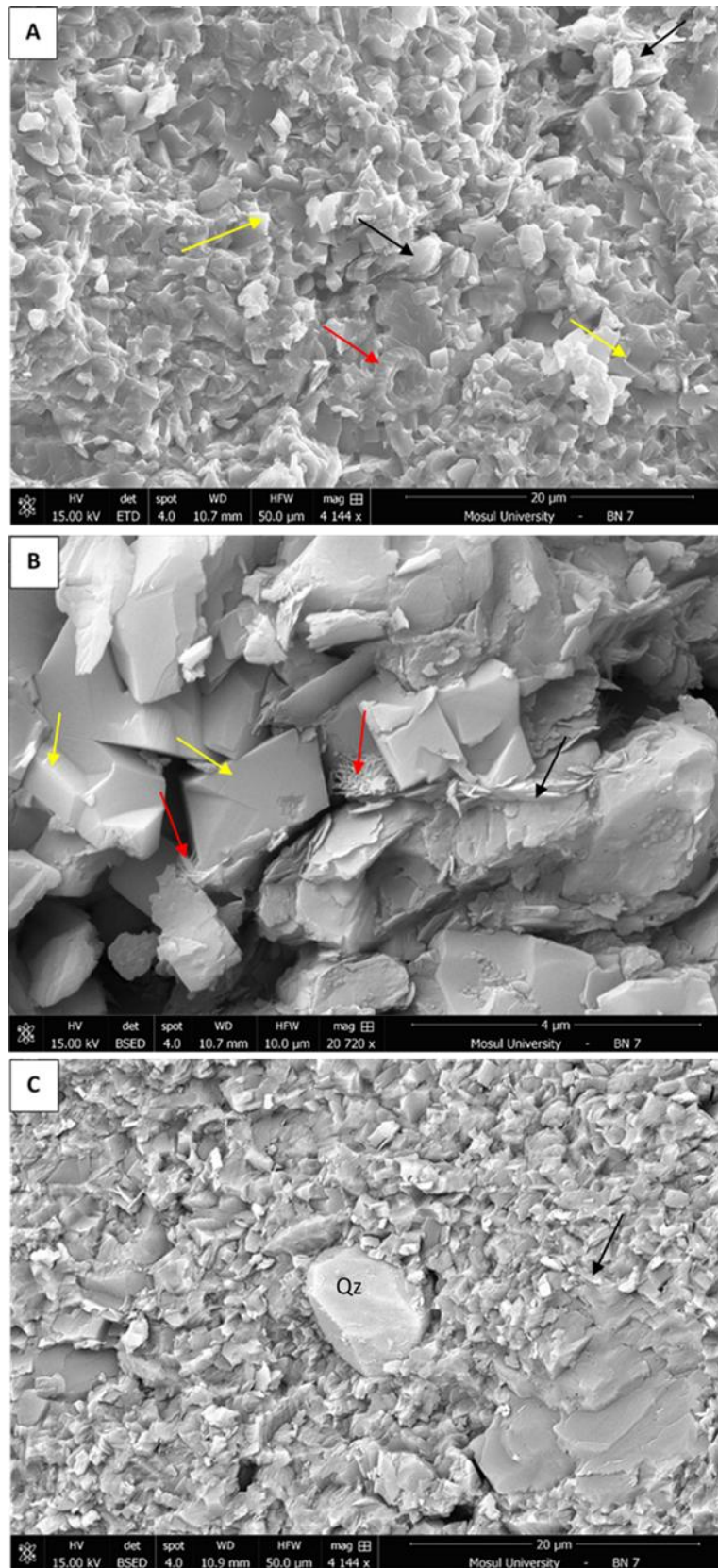


Fig. 6. Scanning electron microscopic images showing: A- calcite filling shell of coccolith (red arrow), scattered calcite grains (yellow arrows) and fibrous illite (black arrow). B- columnar and euhedral calcite (yellow arrows) and star-shaped calcite (red arrows). C- rhombohedral quartz (Qz) and grains of calcite (black arrow). Naokelekan Formation, sample BN7 of Barzinja section.

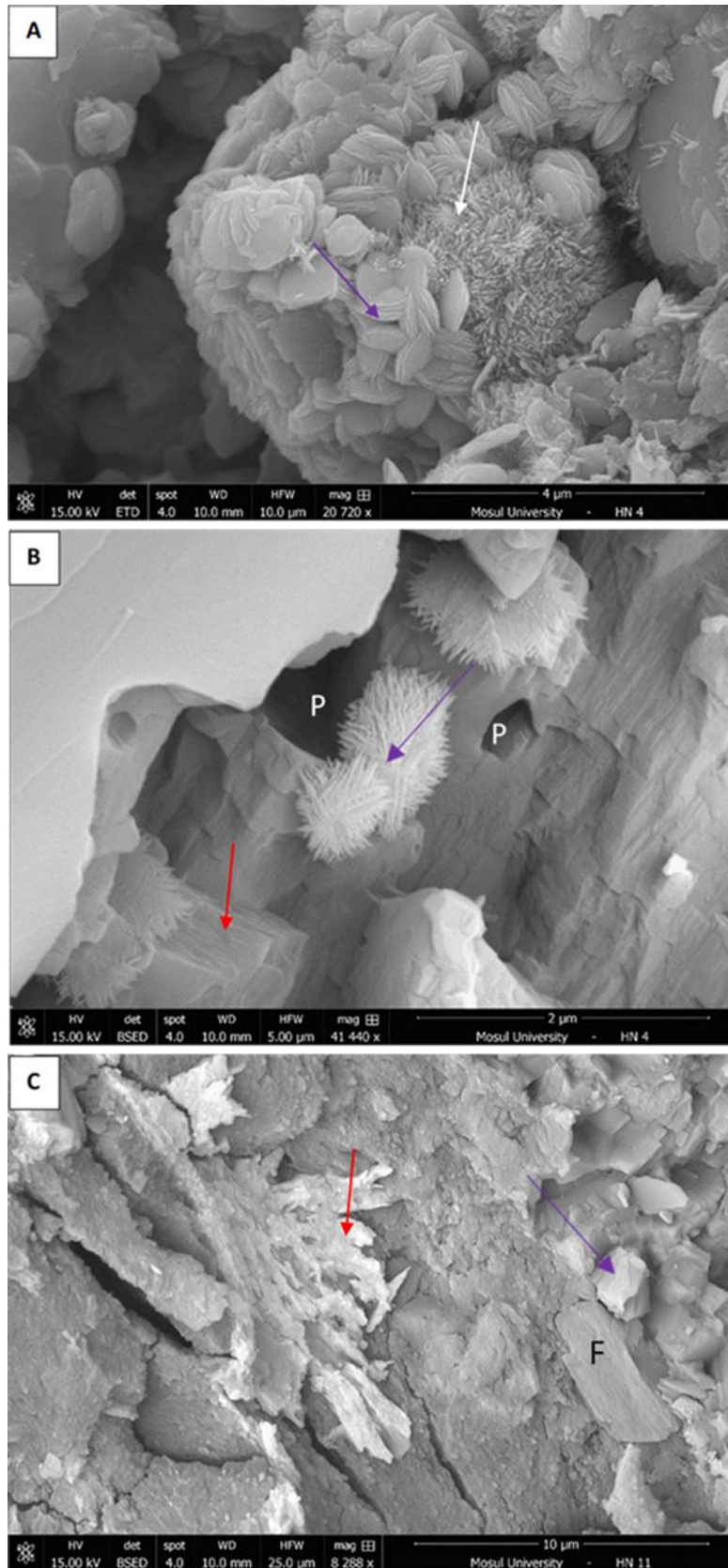


Fig. 7. Scanning electron microscopic images showing: A- Disc- shaped calcite (violet arrow), and star-shaped calcite (white arrow). B- columnar calcite (red arrow), star-shaped (violet arrow) and pores (P). C- radial calcite (red arrow), scattered calcite grains and feldspar (F), samples HN4 and 11, from the Naokelekan Formation at Halabja section.

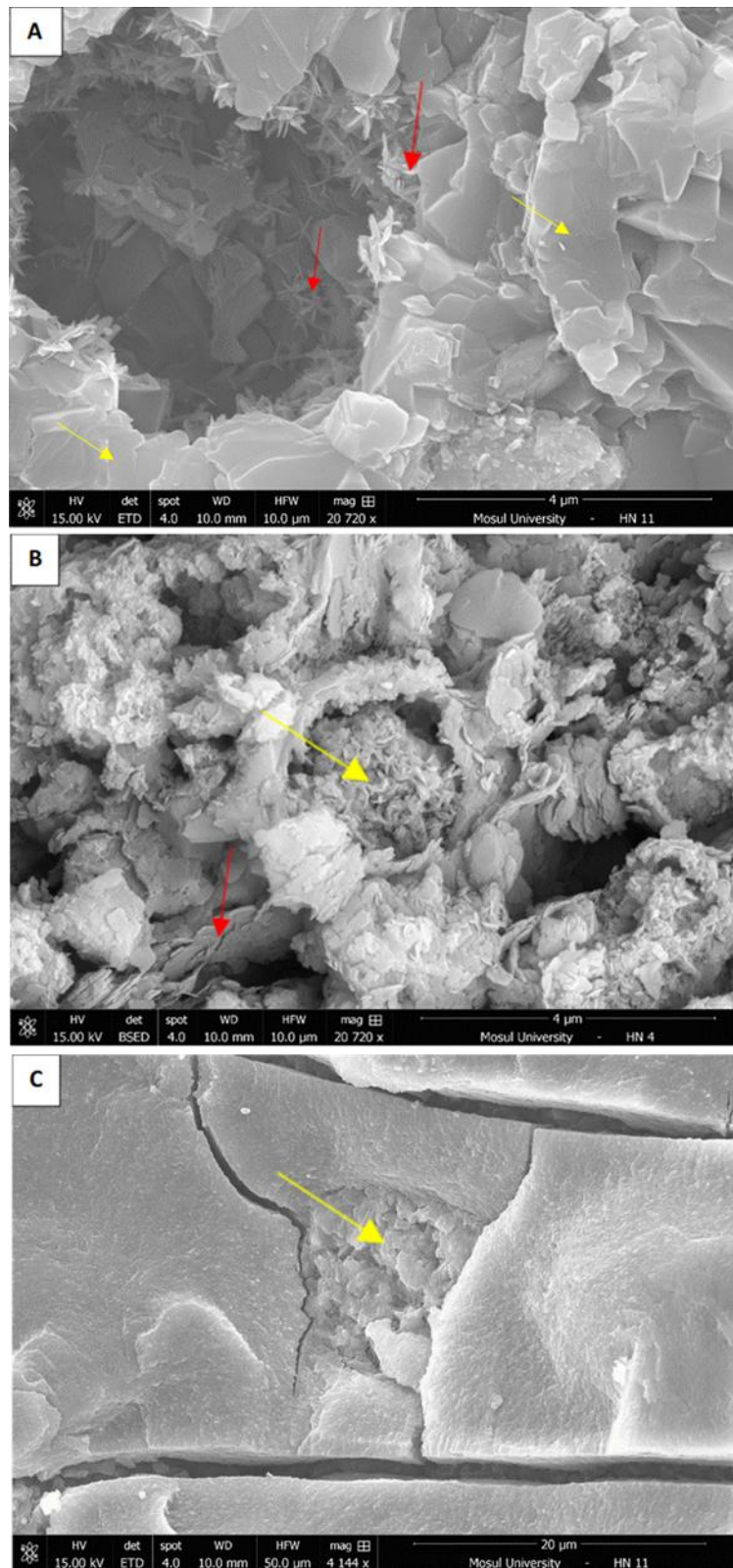


Fig. 8. Scanning electron microscopic images showing: A- star-shaped calcite (red arrows), and bladed calcite (yellow arrows). B- Illite in fibrous (yellow arrow) and platy (red arrow) forms. C- platy illite (yellow arrow) filling pores in fractured limestone, samples HN4 and 11, from Naokelekan Formation at Halabja section.

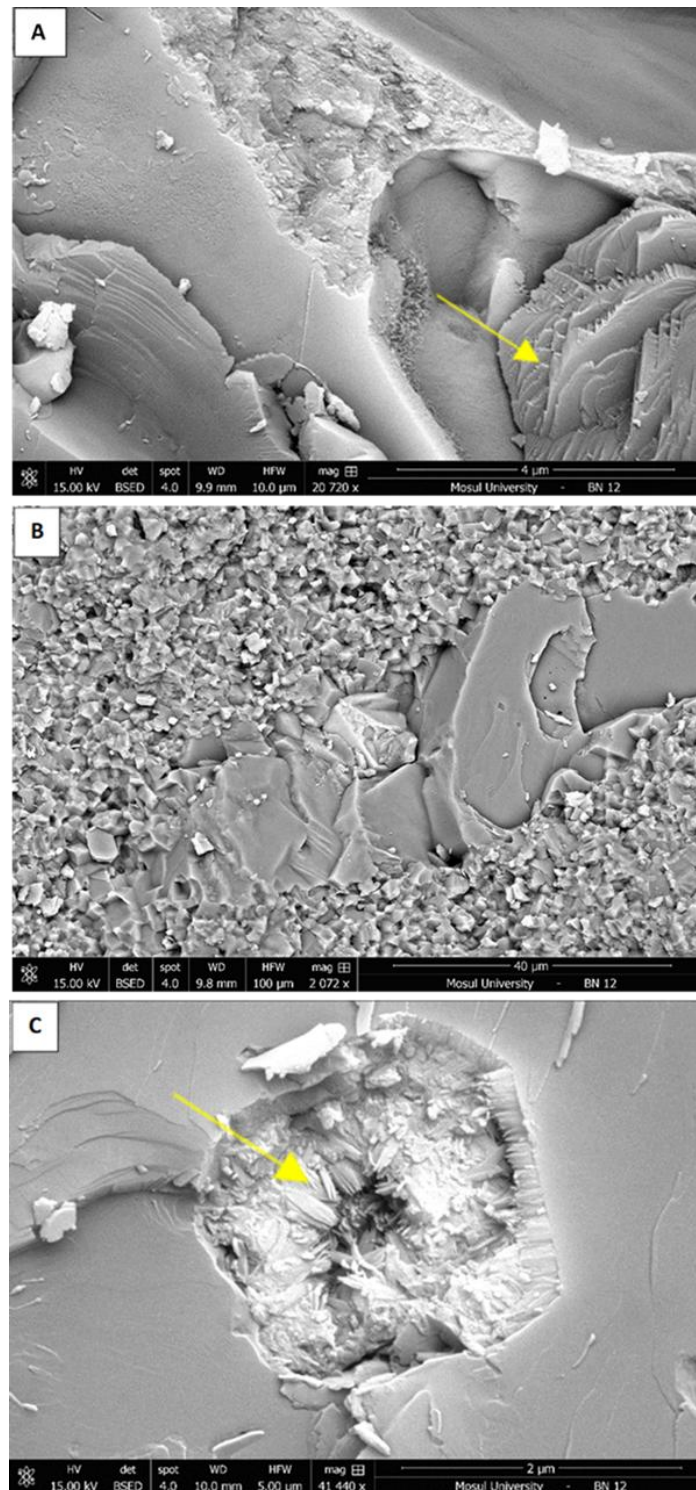


Fig. 9. Scanning electron microscopic images showing: A- bladed platy calcite (yellow arrow). B- microspar and blocky calcite cement. C- fibrous and radial calcite filling pore (yellow arrow). Sample BN12, from the Naokelekan Formation at the Barzinja section.

Conclusion

X-ray diffraction analysis supported by scanning electron microscopy of the limestone and alternated calcareous shale of the Naokelekan Formation has revealed a predominance of calcite, while dolomite is rare. The framework silicates are represented by quartz and feldspars. Some other minerals, such as pyrite, goethite, natrolite, and apatite, are recorded as well. On the other hand, the clay minerals are dominated by illite (mica) and mixed layers of illite-smectite. Predominance of illite (mica) reflects the hot arid paleoclimatic conditions. The presence of calcite in various forms, such as star-shaped, columnar, and euhedral, disc-shaped,

and fibrous calcite, reflects the shallow marine to lagoonal depositional environment, in addition to diagenetic, inorganic mineralization, and biogenic contribution. Framework silicates of quartz and feldspars reflect the detrital contribution due to weathering from acidic igneous sources.

Reference

- Abdula, R.A., 2016. Stratigraphy and lithology of Naokelekan Formation in Iraqi Kurdistan: Review. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 5(8), 45-52.
- Abdula, R.A., 2023. Oil maturity predicts Naokelekan volumes in Kurdistan, *Oil and Gas Journal* 121 (12), 36-43.
- Abdullah, M.A., Chkir Ben, J.N., and Abdullah, S.S., 2025. Controls on groundwater quality: Hydro-morphometric, stratigraphic, structural and isotopic indicators, Al-Jirnaf Valley watershed, Iraq, Carbonates and Evaporites, <https://doi.org/10.1007/s13146-025-01144-7>.
- Al-Auqadi, R.S., Al-Juboury, A.I., Alkhafaji, M.W., Alarifi, N., Makled, W.A., Harry Rowe, Giovanni Zaroni, and Dettman, D.L., 2024. Depositional environments and thermal maturity of the hydrocarbon source rocks in the Devonian–Early Carboniferous Ora Formation from palynological organic petrographic investigations in northern and western Iraq. *Journal of African Earth Science*, Vol. 219, 105400 <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2024.105400>.
- Al-Tae, N.T., Al-Juboury, A.I., Ghafor, I.M., Giovanni, Z., and Rowe, H., 2024. Depositional environment of the late Paleocene-early Eocene Sinjar Formation, Iraq: implications from facies analysis, mineralogical and geochemical proxies. *Heliyon* 10, e25657.
- Balaky, S., 2014. Sequence stratigraphic analyses of Naokelekan Formation (Late Jurassic), Barsarin area, Kurdistan region—Northeast Iraq. *Arabian Journal of Geosciences* 8(8): 5869-5878, [DOI:10.1007/s12517-014-1638-x](https://doi.org/10.1007/s12517-014-1638-x)
- Bellen, R.C., Van, Dunnington, H.V., Wetzel, R., and Morton, D., 1959. *Lexique Stratigraphique International Asia, Iraq*. Intern. Geol. Congr. Comm. Stratigr., 3, Fasc. 10a.
- Buday, T., 1980. *The regional geology of Iraq*. Vol. 1, stratigraphy and paleogeography. Dar Al-Kutub Pub. University of Mosul, Mosul, Iraq, 445 PP.
- Burchette, T.P., 1993. Mishrif Formation (Cenomanian-Turonian) Southern Arabian Gulf, carbonate platform growth along a cratonic basin margin. In: J.A. Simo, R. Scott and J.P. Masse (eds), *Cretaceous Carbonate Platforms*. AAPG Memior, 56, 185–199.
- Chamley, H., 1989. *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin, 623 P.
- Deer, A., Howie, R., Wise, W.S., and Zussman, J., 2004. *Rock Forming Minerals*. Vol. 4 B. Framework Silicates: Silica Minerals, Feldspathoids and the Zeolites, The Geological Society, London, 982 P.
- Dickson, J.A.D., 2022. Insights into the growth morphology of calcite cement. In: Saller, A., Wood, R., and Wright, P., (Eds.), *Carbonate Diagenesis*, Special Issue, *The Depositional Record* 9(3), pp. 403-758. <https://doi.org/10.1002/dep2.210>.
- Fouad, S.F.A., 2015. *Tectonic Map of Iraq*, SCALE 1:000 000, 3rd Edition, 2012. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 11(1), pp. 1-8.
- Hanjo, S., Fischer, A.G., and Garrison, R., 1965. Geopetal pyrite in fine grained limestones, *Jour. Sed. Pet.*, 35(2), 480–488. <https://DOI.org/10.1306/74D712B2-2B21-11D7-8648000102C1865D>.

- Hudson, J.D., 1982. Pyrite in ammonite – bearing shales from the Jurassic of England and Germany, *Sedimentology*, 29 (5), pp. 639-667. <https://DOI.org/10.1111/j.1365-3091.1982.tb00072.x> .
- Kameran, D., Tamar-Agha, M.Y., and Al-Beyati, F.M., 2023. Microfacies analysis and sequence stratigraphy of Oligocene formations within Bai Hassan oil field, Northern Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 64(12), 6306–6325. <https://doi.org/10.24996/ijs.2023.64.12.19>
- Mahmood, M.A., Abdullah, M.A., and Baider, A.A., 2025. Hydraulic Characteristics of Groundwater of Khanaqin Sub Basin, Diyala Governorate, Northeast of Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science*. <http://dx.doi.org/10.33899/earth.2024.143594.1152>
- Mena, Ch. T. and Abdula, R.A. 2023. Palaeoenvironment conditions during deposition of Sargelu, Naokelekan, and Najmah formations in Zey Gawara Area, Kurdistan Region, Iraq: Implications from major and trace elements proportions. *Iraqi Geological Journal*, 56 (2B), 263-277.
- Murris, R.J., 1980. Middle East—stratigraphic evolution and oil habitat. *AAPG Bull* 64(5), 597–618.
- Numan, N.M.S., 1997. A plate tectonic scenario for the Phanerozoic succession in Iraq. *J Geol. Soc. Iraq* 30(2): pp. 85–110.
- Numan, N.M.S., 2000. Major Cretaceous tectonic events in Iraq. *Rafidain Jour Sci* 11(3), pp. 32–54.
- Omar, N., McCann, T., Al-Juboury, A.I., Franz, S.O., Zaroni, G., and Rowe, H., 2023. A comparative study of the paleoclimate, paleosalinity and paleoredox conditions of Lower Jurassic-Lower Cretaceous sediments in northeastern Iraq, *Marine and Petroleum Geology*. <https://DOI.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106430> .
- Ptáček, P., 2016. Introduction to Apatites, In: Ptáček, P., (ed.) *Apatites and their Synthetic Analogues - Synthesis, Structure, Properties and Applications*. Pp. 1-59. Intech Open, <DOI:10.5772/62208>
- Rasool, R.H., Sarmad A., Al-Juboury, A.I., Rowe, H., and Zaroni, G., 2024. Mineralogical implications of the middle to upper Jurassic succession at Sargelu village in Sulaymaniyah city northeastern Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 24 (2), 212-230.
- Salae, A.T.S., 2001. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Jurassic Succession—Northeastern Iraq. M.Sc. Thesis, Univ. of Baghdad, 95 PP.
- Tobia, F.H., Al-Jaleel, H.S., and Ahmad, I.N., 2019. Provenance and depositional environment of the Middle-Late Jurassic shales, northern Iraq. *Geosciences Journal*. 23, 747–765.
- Warren, J., 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, 52(1–3), 1-81.
- Weaver, C.E., 1989. *Clays, Muds, and Shales. Development in Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, 819 P.
- Yang, G., Li, F., Zhang, W., Guo, X., and Zhang, S., 2023. Formation mechanism of disc-shaped calcite: A case study on *Arthrobacter* sp. MF-2. *RSC Adv.*, 13, 7524.
- Zhu, L., Zhao, Q., Zheng, X., and Xie, Y., 2006. Formation of star-shaped calcite crystals with Mg²⁺ inorganic mineralizer without organic template. *Journal of Solid-State Chemistry*, 179 (4), pp. 1247-1252.



Engineering Site Classification for Hilla City's Nadir Highway Project, Iraq: A Novel Correlation of Shear Wave Velocity and N-SPT Value

Abdul-Kareem H. Al-Rubaiee¹ , Mohanad R. Al-Owaidi^{2*} 

^{1,2} Department of Applied Geology, College of Science, University of Babylon, Babylon, Iraq.

Article information

Received: 18- Oct -2024

Revised: 05- Jan -2025

Accepted: 22- Apr -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Shear Wave Velocity,
SPT-N values,
Hilla Soil,
Empirical Equation,
MASW,

Correspondence:

Name: Mohanad R. Al-Owaidi

Email:

sci.mohanad.rasim@uobabylon.edu.iq

ABSTRACT

Assessing earthquake risks is crucial. The risks come due to the great destruction caused by earthquakes, which depend heavily on the movement of tectonic plates. One technique for determining earthquake movement characteristics in a specific area is studying the shear wave velocity (V_s). This study uses an empirical equation tailored for clayey silt soils to explore the relationship between shear wave velocity (V_s) and Standard Penetration Test (SPT) N-values. Subsurface soil investigations are performed at the Nadir Highway intersection site in Hilla City. SPT-N values are obtained from four borehole wells alongside corresponding shear wave velocity measurements from Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). An empirical equation is developed through regression analyses of the collected data to relate the SPT-N values to V_s , facilitating the estimation of shear wave velocity based on SPT results. V_s -measured values are then employed to estimate the V_s -expected value at the site or at sites closely resembling it in terms of N-values in cases where V_s measurements are unavailable. Based on the Iraqi Seismic Code 303 and the estimated V_s value, the site is classified as class D (hard soil). This classification provides insights into the potential seismic behavior of the site and can be used to inform earthquake hazard mitigation strategies.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56109](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56109), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

تصنيف الموقع الهندسي لمشروع مجسر نادر في مدينة الحلة، العراق: علاقة جديدة بين سرعة موجة القص وقيمة N-SPT

عبد الكريم ربيع¹، مهند العويدي^{2*}

^{1,2} قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة بابل، بابل، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
إن تقييم مخاطر الزلازل أمر بالغ الأهمية. تأتي المخاطر بسبب الدمار الكبير الذي تسببه الزلازل، وهذا يعتمد بشكل كبير على حركة الصفائح التكتونية. يتم تحديد خصائص حركة الزلازل في منطقة معينة من خلال سرعة موجة القص (Vs). تستخدم هذه الدراسة معادلة تجريبية مصممة خصيصاً للتربة الغرينية لاستكشاف العلاقة بين سرعة موجة القص (Vs) وقيم اختبار الاختراق القياسي (SPT). أجريت تحريات للتربة تحت السطحية في موقع تقاطع جسر نادر في مدينة الحلة. تم الحصول على قيم SPT-N من أربع آبار حفر جنباً إلى جنب مع قياسات سرعة موجة القص المقابلة من تحليل متعدد القنوات للموجات السطحية (MASW). تم تطوير معادلة تجريبية من خلال تحليل الانحدار للبيانات المجمعة لربط قيم SPT-N بـ Vs، مما يسهل تقدير سرعة موجة القص بناءً على نتائج SPT. تم بعد ذلك استخدام قيم Vs المقاسة لتقدير قيمة Vs المتوقعة في الموقع أو في المواقع المشابهة من حيث قيم N في الحالات التي لا تتوفر فيها قياسات Vs. بناءً على قانون الزلازل العراقي 303 وقيمة Vs المقدرة، تم تصنيف الموقع على أنه من الصنف D (تربة صلبة). يوفر هذا التصنيف رؤى حول السلوك الزلزالي المحتمل للموقع ويمكن استخدامه لإعلام استراتيجيات التخفيف من مخاطر الزلازل.	<p>تاريخ الاستلام: 18- أكتوبر - 2024</p> <p>تاريخ المراجعة: 05- يناير - 2025</p> <p>تاريخ القبول: 22- ابريل - 2025</p> <p>تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية: سرعة موجة القص، قيم SPT-N، تربة الحلة، المعادلة التجريبية، MASW</p> <p>المراسلة: الاسم: مهند العويدي</p> <p>Email: sci.mohanad.rasim@uobabylon.edu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56109](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56109), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

Soil shear wave velocity (Vs) plays a crucial role in designing geotechnical structures subjected to dynamic loads, which is frequently used to classify seismic site categories (Iraqi Meteorological Organization and Seismology, 2013). Vs measurement is applicable in both laboratory and on-site settings. There are two main categories of tests used to determine soil properties. In situ methods encompass the analysis of surface waves using multichannel surface wave test analysis (MASW), recording suspensions, conducting seismic cross-hole tests, and performing seismic refraction tests. On the other hand, laboratory tests, which require undisturbed samples, can include the resonance column test, the ultrasonic pulse test, and the piezometric bender element test (Kramer, 1996; Al-Nuaiemy et al., 2018; Al-Awsi et al., 2021; Mohammed et al., 2025).

The Standard Penetration Test (SPT) is widely employed for field testing due to its readily available equipment and ease of application. The number of SPT hits, denoted as N-SPT, can be correlated with shear wave velocity (Vs), identifying and confirming a relationship that has been supported and validated by multiple sources in the literature. This correlation enhances the reliability and convenience of the SPT method in field testing. In the early stages of laboratory research, efforts were made to develop correlations. With the increasing prevalence

of field measurements of V_s and data availability, these connections have been further studied and refined. Additionally, the number of blows (N) in a Standard Penetration Test SPT is easily accessible at many geotechnical investigation sites. Establishing a dependable empirical correlation between V_s and N could prove immensely advantageous (Fauzi et al., 2014).

While laboratory tests generally provide higher-quality samples than 'undisturbed' soil samples, the impact of sample disturbance can be significant, especially in sandy soil layers, depending on the type of test being conducted (Al-Rubaiee and Hussein, 2022). Fortunately, on-site utilization of the dynamic SPT method allows for effective management and control of these issues. Developed in the late 1920s, this test has gained widespread use in various countries, including North America, Japan, and the United Kingdom. Its extensive use over the years has established the Standard Penetration Test (SPT) as a well-accepted practice in geotechnical engineering. The widespread application of the SPT has generated substantial data and numerous SPT-based correlations for sandy soils (Coduto, 2001). In these correlations, the SPT blow count (N -value) serves as a parameter for the in-situ characterization of field sediments. However, there are instances where a standard penetration test may not be feasible or accurate in assessing soil conditions influenced by factors such as depth and soil type. For example, soils with large-sized grains like gravel and rock can present challenges in obtaining reliable results through a penetration test. In such scenarios, alternative testing methods or specialized equipment may be required to accurately assess the soil's properties and characteristics.

The presence of even a few small rock crumbs can sometimes lead to unrealistically high and incorrect N values. Consequently, the correlation between SPT- N and V_s reflects an indirect relationship between the initial strength and stiffness of soils. This relationship has been extensively investigated in the past decades (Maibam et al., 2017). The composition of soil significantly affects the extent of the impact of earthquakes. Site classification and site-specific ground response analysis are two methods for evaluating ground motion characteristics. In either method, the shear wave velocity (V_s) emerges as the most crucial factor representing the resistance of the soil layers (Boore et al., 2011; Anbazhagan et al., 2016).

The in-situ shear wave velocity profile is typically obtained through wave propagation tests using geophysical methods. However, conducting these tests in all locations can be highly economical. The number of blows (N) in a standard penetration test SPT is sufficient and convenient for many geotechnical investigation sites. Based on this, the empirical relationship between V_s and N , as proposed by Kirar et al. (2016), proves to be reliable and beneficial. The empirical regression equation boasts three advantages: convenience, efficiency, and economy. Despite the acceptability and convincing nature of the empirical relationship between SPT- N and V_s , which shows remarkable global agreement, it is region-specific and not universally applicable. Therefore, a thorough validation process is necessary before its use (Maibam et al., 2017).

Sitharam and Anbazhagan (2007) conducted a Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) seismic survey at approximately 38 sites located close to existing Standard Penetration Test (SPT) drilling sites. They used these data to establish a correlation between shear wave velocity and corrected N values in Delhi City. In a similar vein, Hanumantharao and Ramana (2008) measured shear wave velocity using Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) for 80 sites at a depth of 20–32 m developing correlations between the values of V_s and N . Contrary to these studies, Iraqi Meteorological Organization and Seismology (2013) noted that geological age and soil type do not predict V_s , while the uncorrected SPT- N value remains most significant. In a more recent study, Hasan et al. (2020) applied an empirical equation likely suitable for clay soils, primarily focusing on the interconnection between V_s and SPT- N . A complementary investigation was carried out in the subsoil of a tower construction located in Erbil City. The investigation involved obtaining SPT- N values from three wells and their corresponding MASW measurements. The main objectives of the research

are to establish a relationship between shear wave velocity and the number of standard penetration blows and to determine the site classification conditions in the study area. Rahman et al. (2016) employed a velocity of V_s to 30 m depth for seismic site characterization to estimate the local amplification factor for seismic waves throughout an earthquake using multichannel analysis of surface waves (MSAW) in Chittagong City, Bangladesh. From the results, the Holocene sediments in the city were classified as C, D, and E according to the NEHRP program. Anbazhagan et al. (2012) studied the relationship between SPT-N value and shear modulus using the MASW technique to estimate V_s and calculate layer densities. They established a relationship with a high regression coefficient and a low standard error.

Hilla City, situated at the center of Iraq, lies within the alluvial plain area, 100 km south of Baghdad. The study area, referred to as the Nadir intersection site in Al-Hilla City, is a flat region with a maximum elevation of 28 meters above sea level. Located in the center of Babylon Governorate, it spans between longitudes $44^{\circ}25'00''$ and $44^{\circ}25'20''$ E and between latitudes $32^{\circ}36'40''$ and $32^{\circ}26'53''$ N, covering an approximate area of 100 km². The investigation of the Nadir bridge site in Al-Hilla City entailed drilling four boreholes (Shelby and SPT) to appropriate depths until reaching firm soil for the precise location of the study area (Fig. 1).

The study aims to relate the number of SPT strokes, referred to as N-SPT, to the shear wave velocity (V_s) to establish a Novel Correlation of Shear Wave Velocity and N-SPT Value. The objective of this research is to conduct a comprehensive analysis of the geophysical and geotechnical data at the intersection of Nadir Highway in the city of Hilla.

Geology and Seismicity of the Study Area

Babylon Governorate is situated within the Pleistocene physiographic region, positioned between the Tigris and Euphrates rivers. This region is characterized by its geological instability, primarily due to the tectonic divisions that influence the area in Iraq. The shelf regions in Babylon are particularly known for their instability, which is a consequence of the ongoing tectonic activity affecting the region. This geological context underscores the importance of understanding the seismic and soil characteristics of the area for effective earthquake risk assessment and mitigation (Buday and Jassim, 1987; Al-Rubaiee and Al-Owaidi, 2022a).

The study area is marked by the presence of Quaternary sediments, which are prominently visible on the surface. These sediment deposits have accumulated through historical floodplain contributions from the Tigris and Euphrates rivers. Over time, these riverine deposits have played a significant role in shaping the landscape and resulting in the distinctive geological and geomorphological features observed in the region nowadays (Al-Rubaiee and Al-Owaidi, 2022b). Additionally, the region features deposits from shallow depressions formed and accumulated by floods, contributing to the geological diversity of the area (Euphrates Company Study, 1999). Notably, the lower part of the sedimentary plain, including the study area, contains Sabkha soils characterized by salt surfaces (Jedi and Al-Khalidy, 2023).

Iraq is situated at the northern edge of the Arabian plate, where it actively converges with the Eurasian plate, creating a tectonically active zone. This region is characterized by significant seismic activity due to the ongoing tectonic interactions. Specifically, the northern part of Iraq experiences high seismicity, reflecting frequent and intense seismic events. In contrast, the central and southern regions of the country experience medium to low seismic activity. However, there has been a notable increase in seismic activity across Iraq in recent years, indicating a trend of heightened tectonic activity throughout the country.

There has been a notable surge in interest in the construction of earthquake-resistant buildings in Iraq in recent times. Although the country is not directly situated in a region with recent earthquake hotspots, seismic research, studies, monitoring, and awareness have garnered significantly increased attention compared to the past two decades (Alsinawi and Al-Qasrani,

2003). Figure 2 illustrates the seismic map of Iraq's regions. The variation of color represented the value of the maximum ground acceleration of seismic zones.

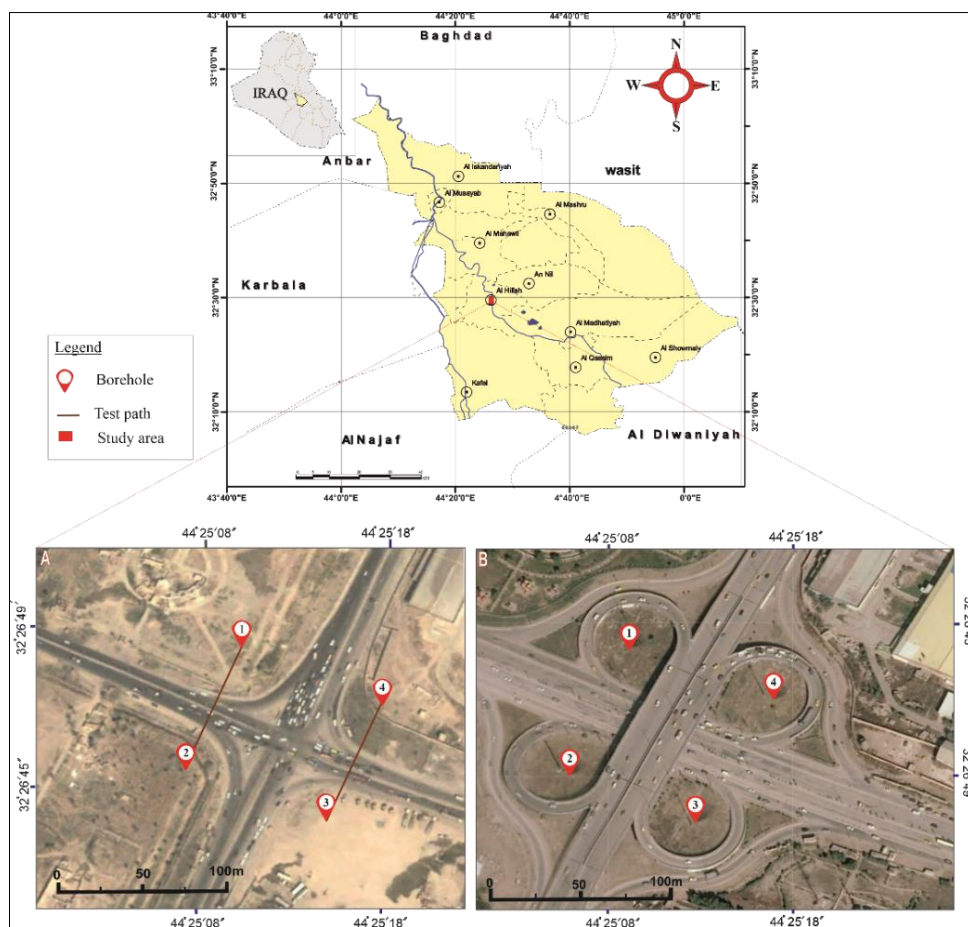


Fig. 1. Site of the study area. A- Before and B- After establishing the Nadir Highway.

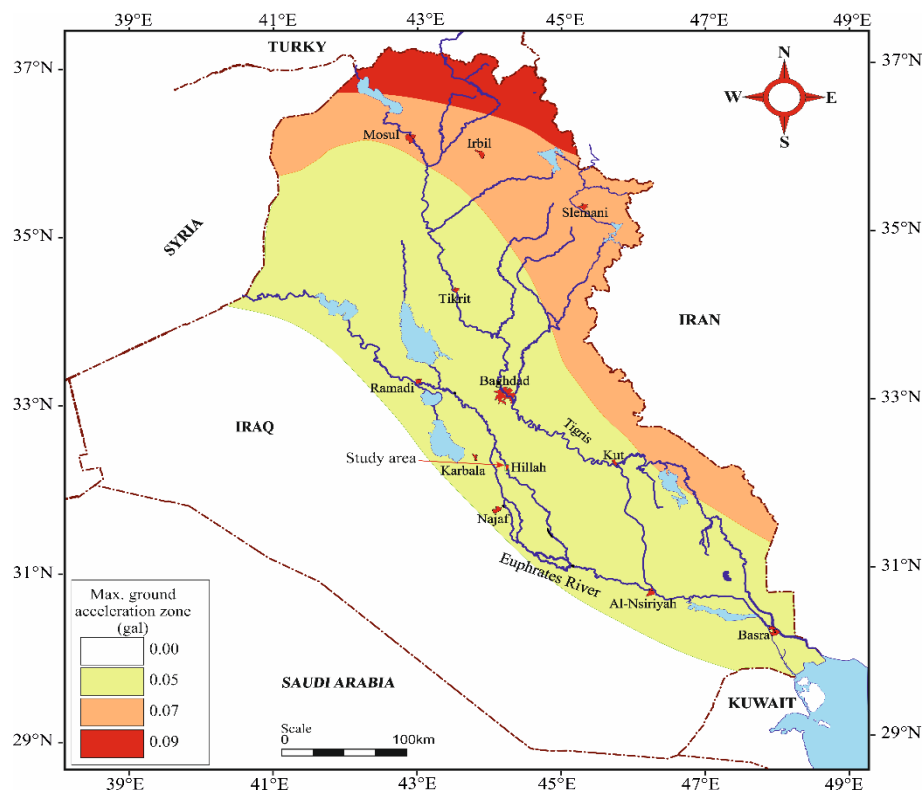


Fig. 2. Seismic zoning map of Iraq (modified after Alsinawi and Al-Qasrani, 2003).

Materials and Methods

Geotechnical Investigation

The consultants set up the borehole sites. All the tests for the disturbed (DS) and undisturbed (US) samples were sent to the Soil Mechanics Laboratory in the Consulting Office of the University of Technology in Baghdad, Department of Building and Construction. The collected samples represented 36 SPT samples, 40 DS samples, and 15 US samples.

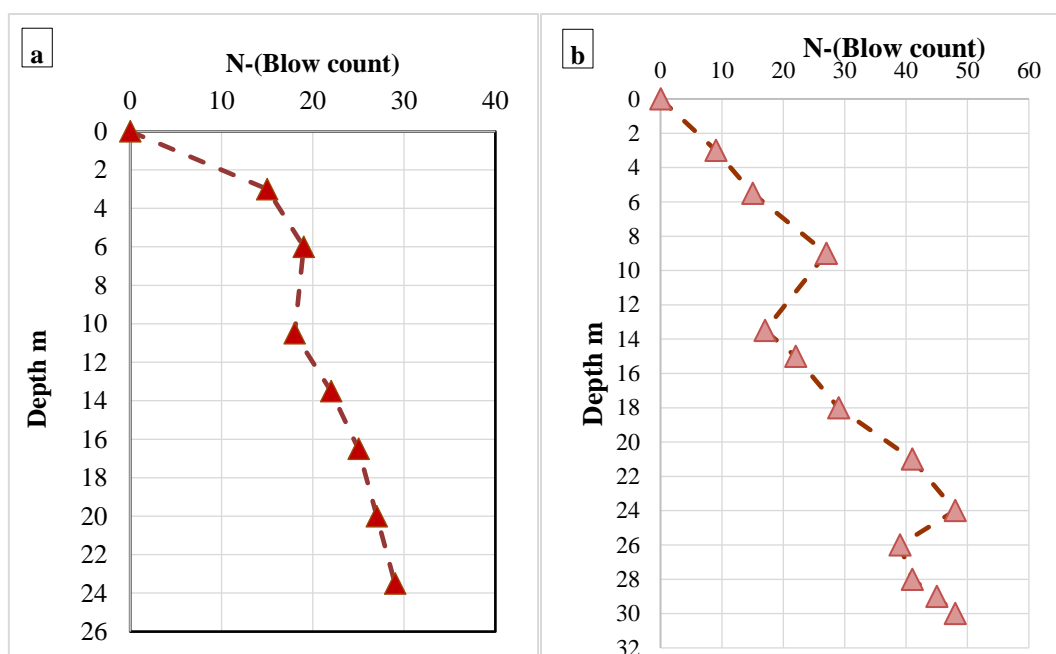
Further examination and testing are needed, according to American specifications, such as visual classification (ASTM D2488, 2017), specific gravity (ASTM D854, 2014), grain size distribution (ASTM D6913, 2017), and Atterberg limits (ASTM D4318, 2017). The collected samples were taken to the laboratory for comprehensive analysis and testing. This process involved determining the natural moisture content and measuring the unit weight of the samples, per the procedures outlined in ASTM Standard D2216 (2019). These tests are essential for understanding the physical properties of the material under investigation, particularly its moisture condition and density, which are critical for further geotechnical or material performance assessments. Due to the lack of changes in the soil and the similarity of its profile, borehole 2 is selected as an ideal borehole with coordinates as shown in Table 1, which shows the geotechnical and index properties of the soil in the study area.

Table 1: Coordinates of drilling boreholes in the study area.

Borehole	Latitude	Longitude
1	32°26'49.13"	44°25'9.50"
2	32°26'46.08"	44°25'7.42"
3	32°26'44.60"	44°25'10.87"
4	32°26'48.00"	44°25'12.87"

The standard penetration tests were performed along the excavation with a penetration length ranging from 1.5 m to 2 m. The standard penetration test methods and equipment are accomplished following (ASTM D1586, 1984).

Soil resistance is represented by the N-SPT value, which is determined by calculating the number of hammer blows required to cause a 3*6" penetration of the split spoon at the tip into the soil. The N-SPT value is the total number of blows for the last 2*6" penetration. Variations of N-values with depth for four boreholes in the project are presented in Figure 3.



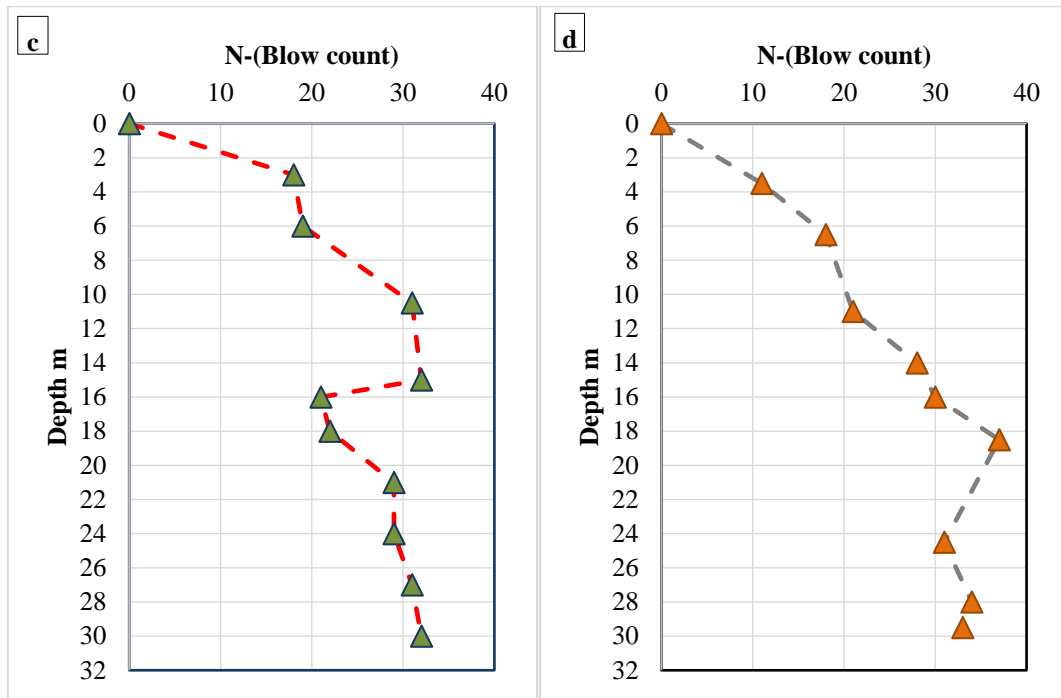


Fig. 3. Variation of standard penetration test (N) with depth for all boreholes of the project. a- BH. 1, b- BH. 2, c- BH. 3 and d- BH. 4

Geophysical Investigation

1. Multichannel analysis of surface wave method

The research proposes a specific relationship between V_s and SPT-N based on the geotechnical report of soil investigations, which includes field and laboratory tests conducted in four boreholes at the Nadir Highway project site in Hilla City. A geophysical field survey was undertaken in collaboration with a team from the Department of Civil Engineering at the University of Technology in Baghdad. The MASW survey is selected to acquire information about the characteristics and behavior of soil layers situated deeper than 30 meters beneath the ground level.

2. Used Instrumentation and its Accessories

This research utilized a digital multichannel seismograph, specifically the Terraloc Mark 6. It has 24 channels, allowing for multichannel data acquisition. It is a device with high accuracy in seismic recordings at shallow depths, depending on its specifications.

After completing the measurement process, the survey results can be shown directly in the field through the seismometer screen, and the data can be transferred from the seismograph to a personal computer through the serial port. One type of ground geophone for shear wave (S) recording is used for the MASW panel method (Fig. 4) (ABEM Instrument, 2009).



Fig. 4. Geophone (S) used in the MASW method.

In the field, the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method, a modern geophysical technique introduced by Park et al. (1999), is employed. It estimates the V_s velocity profile without intruding on or breaking the measured surface, making it a safe and convenient approach. The MASW is cost-effective and time-effective for estimating shear wave velocity. The survey utilized geophones (S-geophones) to capture destructive Rayleigh waves. The shear wave velocity is derived from the inversion of the Rayleigh waves' dispersion curves. The MASW method is considered one of the modern geophysical methods used in geoenvironmental investigations for engineering projects in the 0–30-meter range in depth. It is represented by two methods: the active method and the passive method. It is important to use a shear-velocity geophone with a frequency of 4.5 Hz for the active method. The survey setup included 24 geophones planted in a straight path on the surface at equal spaced 4 meters apart covering a path length of 96 meters to detect ground vibrations. As shown in Figure 5, the distance between adjacent geophones was denoted as X . In contrast, the distance between the source sledgehammer, weighing 10 kg (strike plate), and the first geophone (offset) is 4 m.

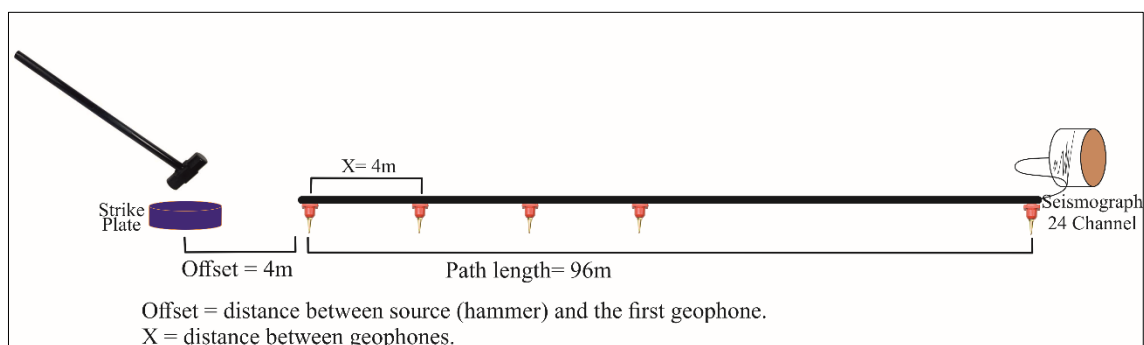


Fig. 5. Diffusion geometry of recording the MASW method.

Mechanical energy waves in three directions are artificially induced by striking the hammer on a strike plate and recorded by a seismograph.

The geophone converts this energy into an electrical signal, then transmits the signal as a wave to the seismograph. Subsequently, the recorded data are processed in the office (Saify and Al-Khalidy, 2023). For the MASW method, Reflex 2D Quick software is utilized to calculate shear velocity and layer thickness to obtain the research results.

The strike plate is positioned adjacent to the first geophone attached to the cable. This plate undergoes three strikes with a hammer to increase the signal-to-noise ratio. Following each strike, the geophone transfers and converts the mechanical energy into an electrical signal. This signal, in the form of a wave, is then transmitted to the seismograph. Subsequently, the

office work for processing all the readings is completed according to the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method.

Results and Discussion

N-SPT and Vs. relationship with depths

Taking an example from the soil profile data for borehole 2 in Figures 1 and 2, the graphs illustrate the Vs (shear wave velocity) profile and the N-SPT (Standard Penetration Test) profile in situ. The Vs profiles were consistently recorded at 1-meter intervals. In contrast, N-SPT values were recorded in coarse sampling periods at various depths, aligned with the expected soil type, and with a distance of 1 meter or more. They choose the appropriate Vs value to correlate with each N-SPT value for statistical regression (Fig. 6).

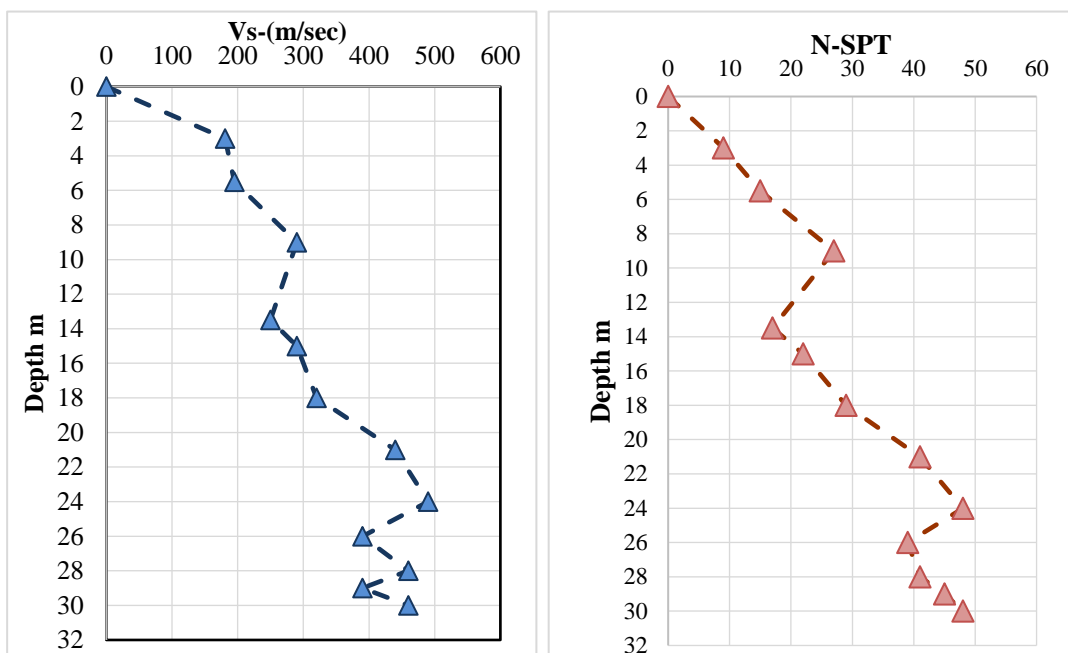


Fig. 6. Variation of N-SPT and Vs versus depths for BH. 2 in the site.

Proposed Empirical Equation for VS and N-SPT

The study used 40 data pairs (N-SPT and Vs) to assess all holes. To develop correlations, a simple regression analysis is conducted on the existing database. The study also proposed new relationships between uncorrected Vs (m/sec) and the corresponding N-SPT (Fig. 7).

The following relationships with their correlation coefficients (r) are proposed between Vs (m/s) and N-SPT values, with an R2 value of 0.8969.

$$Vs = 29.711N^{0.7195} \quad (1)$$

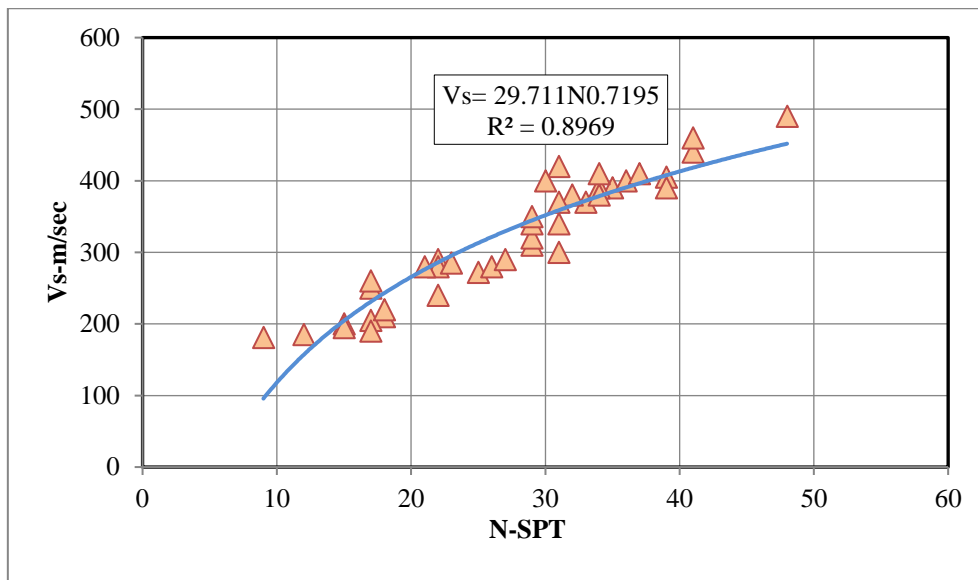


Fig. 7. Correlation between N-SPT and Vs.

Relationship Between Measured Versus Predicted Shear Wave Velocities

In Figure 8, a comparison is presented between the measured shear wave velocity (V_s) and the predicted shear wave velocity, V_s , as per Equation (1).

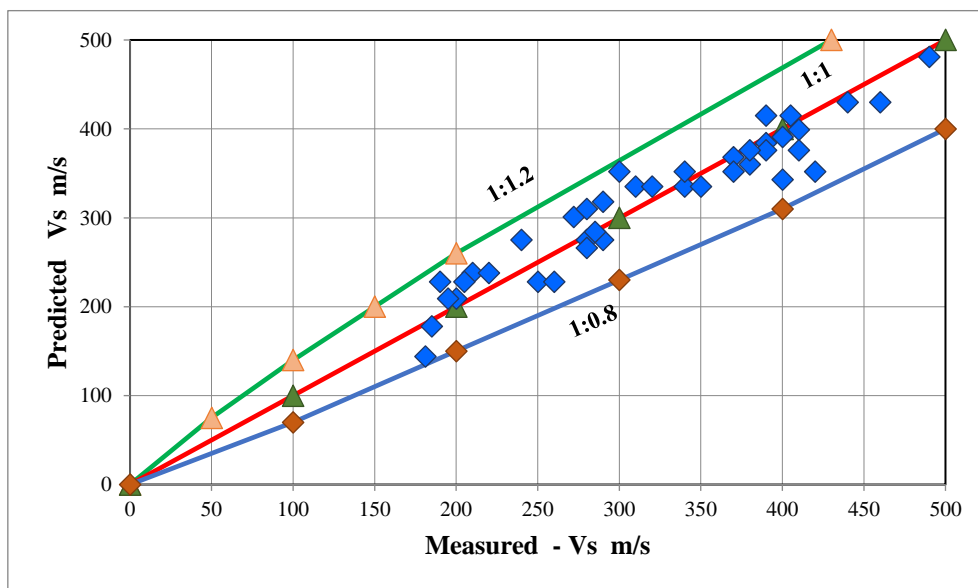


Fig. 8. Measured versus predicted shear wave velocities.

The data points plotted between the lines (each with a slope indicated in Figure 8) closely align with the 1:1 slope (red line), 1:1.2 (green line), and 1:0.8 (blue line). The shear velocity values depicted on the graph are consistently less than 500 m/sec.

Seismic site soil classification methods

Site soil and ground type conditions are important in determining the Seismic Design Category, and it is classified based on Iraqi and international standards, as shown in Table 2.

Several specialized techniques can be employed to accurately assess the soil type at a site from a seismic perspective. One of the methods recognized in the field is outlined in the Iraqi seismic code (PISC, 2013), which provides a systematic approach to classify soil based on its seismic properties. This classification relies on calculating the average shear wave velocity (V_{s30}) within the upper 30 meters of the soil profile. By measuring the velocity at which seismic shear waves propagate through this soil layer, engineers can make informed predictions about

the site's soil type and its potential seismic response. The V_{s30} parameter serves as a key indicator in this method, as it correlates with soil stiffness and helps in categorizing the site according to seismic hazard assessments.

Table 2: Index and geotechnical properties of soils in BH 2.

Location of specimen		Sample type	Index properties			Nature water content	Dry unit weight KN/m ³	Specific gravity	Particle size distribution				SPT
BH.	Depth m		LL	PL	PI				Clay	Silt	Sand	Gravel	
			%						%				
	1.5	DS	33	20	13	15		2.66	36	37	20	7	
	2.5	US	57	24	33	25	16.1	2.69	54	41	5	0	
	3.0	SPT	40	16	24	24							9
	3.5	DS	39	16	23	28		2.67	42	33	25	0	
	4.5	US			NP	9	17.93	2.64	2	1	97	0	
	5.5	SPT			NP	26							15
	7.5	SPT	60	22	38	22		2.69	56	32	12	0	27
	8.0	DS	61	21	40	24							
	9.0	US	59	21	38	25	15.80	2.71					
	10.0	DS	34	19	15	24		2.66	35	19	46	0	
	11.5	SPT	46	20	26	26							18
BH 2	12.0	DS	45	21	24	35		2.67	32	51	17	0	
	13.5	US	34	20	14	31	14.97	2.65	37	21	42	0	
	15	SPT	44	21	23	27		2.67	30	56	14	0	23
	16.5	DS	-	-	NP	25		2.64	8	9	83	0	
	18.0	SPT	-	-	NP	22							29
	19.5	DS	-	-	NP	26		2.64	9	9	82	0	
	21.0	SPT	-	-	NP	21							42
	22.5	DS	60	19	41	16		2.68	51	13	36	0	
	24	SPT	60	18	42	13							49
	25.5	DS	61	18	43	15		2.68	49	13	38	0	
	27.0	SPT	60	19	41	19							40
	28.5	DS	43	23	20	18		2.68	41	20	39	0	
	30.0	SPT	43	22	21	22							42

This code estimates the average Vs-wave velocity in the top 30 meters of soil using equation (2). The resulting classification based on this estimation is outlined in Table 3.

$$V_{s, 30} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (2)$$

Where: H : total depth of soil less than or equal to 30 m. h_i , v_i : thickness and velocity of S-wave of the i^{th} layer, in a total of N found in the upper 30 m.

Table 3: Iraqi and International standards and ground types.

No.	International and Iraqi Standards	Ground type	References
1	Preliminary draft of Iraqi Seismic Code, 303	(A, B, C, D, E, F)	PISC (2013)
2	Federal Emergency Management Agency	(A, B, C, D, E, F)	FEMA (2010)

Seismic site soil classification for the Nadir Highway project

Per the Iraqi Seismic Code submitted to the Central Organization for Standardization and Quality Control in 2013, the classification of soil types for the Nadir Highway project can be established by analyzing the average S-wave velocity. The corresponding data is tabulated in Table 4.

To obtain these data, a series of geophysical surveys was carried out in Hilla City, yielding S-wave velocity measurements extending to depths of up to 30 meters. The results of these explorations are detailed in Table 5, offering valuable insights into the area's subsurface conditions and seismic characteristics. These S-wave velocity values are crucial for assessing soil behavior and seismic site response in geotechnical engineering applications.

Table 4: Site soil classification (after PISC, 2013).

Site class definition	Vs	N or Nch	Su
A- Hard rock	>1500 m/s	---	---
B- Rock	760-1500 m/s	---	---
C- Very dense soil or soft rock	370-760 m/s	> 50	> 100 kPa
D- Hard soil	180-370 m/s	15-50	50-100 kPa
	< 180 m/s	< 15	< 50 kPa
E- Soft clayey soil	- Each side section thickness greater than 3m for soil - profile of the following characteristics: Plasticity Index PI > 20. Water content W ≥ 40% Undrained shear strength S_u < 25 kPa		
F- Soil types that require a special field assessment	Soil is exposed to the possibility of collapse. Silt and/ or clayey soil of high organic content. Clayey soil has a very high plasticity index. Very thick clayey soil of weak/ medium strength.		

Table 5: Seismic site soil classification for the Nadir highway project.

Site	Total depth of Geophysical Explorations (m)	Vs (m/s)	PISC, 2013
Nadir highway project	30	290	Class D

Conclusions

A new relationship between the values of N-SPT and Vs is found to calculate the predicted Vs indirectly, which can be used in the future for practical purposes. The shear wave velocity is calculated for thirty meters from the ground surface and soil layers at the study site.

Estimating Vs₃₀ from recorded borehole logs can aid in assessing seismic risks in areas without geophysical measurements.

The current and proposed empirical equations are primarily influenced by the study area's geotechnical conditions, the quantity and type of processed data, and the methods used for geotechnical investigations and geophysical surveys. The relationship proposed in this study can be cautiously applied. However, its reliability increases significantly with comprehensive geotechnical and geophysical data, particularly around Hilla City.

The N-value and shear wave velocity (Vs) analysis for the subsurface layers provides insights into the site's response to seismic activity. For weak ground motions, the peak ground acceleration (PGA) values are unlikely to pose significant risks as indicated by the N-values shown in Figure 3. However, stronger ground motions could result in more notable impacts.

There is a potential risk of secondary soil phenomena, such as soil liquefaction, occurring at depths of 3.5 to 5 meters. This hazard requires careful attention from design engineers to prevent adverse effects. The observed decrease in N-values with depth reflects changes in soil lithology, which play a key role in predicting the site's behavior under varying seismic conditions.

Acknowledgments

The authors would like to thank and appreciate the workers at the National Center for Construction Laboratories in Babylon Governorate for their assistance in completing the research.

Conflict of Interest

The authors confirm that the manuscript has been read and approved by all named authors and that no other persons have satisfied the criteria for authorship but are not listed. We further confirm that all have approved the order of authors listed in our manuscript.

References

ABEM Instrument, 2009. Reference manual for ABEM Terraloc MK6. Sundberg, Sweden.

- Al-Awsi, M.D., Khurshid, S.Z., and Ahmed, M.T., 2021. Ultrasonic method as a tool for geotechnical parameters estimation at proposed engineering site/ Western Iraq". *Journal of Physics: Conference Series*, 1818(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1818/1/012010>
- Al-Nuaimy, A., Al-Juraisy, B., and Al-Mafraji, M., 2018. The use of the seismic refraction tomography survey method and the multi-channel analysis technique of surface waves in the geotechnical assessment of the Al-Amal Apartments Site in Kirkuk, Northern Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science*, 18(2), pp. 89-104. <https://doi.org/10.33899/earth.2018.159260>
- Al-Rubaiee, A.H. and Hussein, M.L., 2022. Effect of adding cement dust waste on the geotechnical properties behavior of selected gypseous soil in Al-Najaf City. *Iraqi Geological Journal*, 55(2A), pp. 165-181. <https://doi.org/10.46717/igj.55.2A.12Ms-2022-07-28>
- Al-Rubaiee, A.K. and Al-Owaidi, M.R., 2022a. Assessment of heavy metal contamination in urban soils of selected areas in Hilla City, Babylon, Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 63(4), pp. 1627–1641. <https://doi.org/10.24996/ijs.2022.63.4.21>
- Al-Rubaiee, A.K. and Al-Owaidi, M.R., 2022b. Effect of Open Dump on Geotechnical Properties and Heavy Metal Concentrations of Soil in North of Hilla City, Babylon Governorate, Iraq. *Pollution*, 9(3), pp. 1015-1027. <https://doi.org/10.22059/POLL.2023.353885.1758>
- Alsinawi, S.A. and Al-Qasrani, Z.O., 2003. Earthquake Hazards Considerations for Iraq, Fourth International Conference of Earthquake Engineering and Seismology, 12-14 May, Tehran, Islamic Republic of Iran.
- Anbazhagan, P., Bajaj, K., Reddy, G.R., Phanikanth, V.S., and Yadav, D.N., 2016. Quantitative Assessment of Shear Wave Velocity Correlations in the Shallow Bedrock Sites. *Indian Geotechnical Journal*, 46, pp. 381–397. <https://doi.org/10.1007/s40098-016-0181-y>
- Anbazhagan, P., Parihar, A. and Rashmi, H.N., 2012. Review of correlations between SPT N and shear modulus: A new correlation applicable to any region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 36, pp. 52–69. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.01.005>
- ASTM D2216, 2019. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D2488, 2017. Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures), ASTM International. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D4318, 2017. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D6913, 2017. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. West Conshohocken, PA: ASTM International
- ASTM D854, 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM, D1586, 1984. Standard test method for penetration test and split-barrel sampling of soils. Annual book of ASTM standard, D1586, Vol. 04.08.
- Boore, D.M., Thompson, E.M. and Cadet, H., 2011. Regional Correlations of VS30 and Velocities Averaged Over Depths Less Than and Greater Than 30 Meters. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(6), pp. 3046–3059. <https://doi.org/10.1785/0120110071>

- Buday, T. and Jassim, S., 1987. The Regional Geology of Iraq, Vol. 2. Tectonism, Magmatism and Metamorphism. University of Mosul.
- Coduto, D.P., 2001. Foundation Design: Principles and Practice, 2nd ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Euphrates Company Study, 1999. Euphrates General Company for Studies and Designs of Irrigation Projects. Branch of Study of Reducing Groundwater Levels in Hilla City.
- Fauzi, A., Irsyam, M., and Fauzi, U.J., 2014. Empirical correlation of shear wave velocity and n-spt value for Jakarta. International Journal of GEOMATE, 7(1), pp. 980-984. <https://doi.org/10.21660/2014.13.3263>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2010. Earthquake-Resistant Design Concepts, an Introduction to the NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Hanumantharao, C. and Ramana, G.V., 2008. Dynamics soil properties for microzonation of Delhi, India. Journal of Earth System Science, 117(S2), pp. 719–730. <https://doi.org/10.1007/s12040-008-0066-2>
- Hasan, A.M., Mawlood, Y.I., Ahmed, A.A. and Ibrahim, H.H., 2020. Correlation of Shear Wave Velocity With SPT-N For a Tower-Building Site at Erbil City. Journal of Duhok University, 32(2), pp. 235-245. <https://doi.org/10.26682/csjuod.2020.23.2.19>
- Iraqi Meteorological Organization and Seismology, 2013. Retrieved December, from <http://meteoseism.gov.iq/index.php?name=Pages&op=page&pid=168>
- Jedi, Z. and Al-Khalidy, A., 2023. Comparing the Results of Geotechnical Tests with the Well Seismic Survey to Find the Dynamic Modulus of Elasticity for the Surface Soil Sections in Hilla City. Iraqi Geological Journal, 56(1), pp. 228–233. <https://doi.org/10.46717/igj.56.1E.17ms-2023-5-27>
- Kirar, B., Maheshwari, B.K., and Muley, P., 2016. Correlation Between Shear Wave Velocity (Vs) and SPT Resistance (N) for Roorkee Region. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 2, 9. <https://doi.org/10.1007/s40891-016-0047-5>
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Maibam, U., Hooda, O.K., Sharma, P.S., Mohanty, A.K., Singh, S.V. and Upadhyay, R.C., 2017. Expression of HSP70 genes in skin of zebu (Tharparkar) and crossbred (Karan Fries) cattle during different seasons under tropical climatic conditions. Journal of Thermal Biology, 63, pp. 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.11.007>
- Mohammed A., Al-Mufarji, M., Al-Heety, A., Othman, B. and Abdelrahman, K., 2025. Determination of elastic moduli for the geotechnical site characterization using compressional and shear seismic refraction tomography at the proposed site for Baba Gur-Gur University, Northeastern Kirkuk, Iraq. Iraqi National Journal of Earth Science, 25(1), pp. 304-326. <https://doi.org/10.33899/earth.2024.146087.1221>
- Park, C. B., Miller, R. D. and Xia, J., 1999. Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64(3), pp. 800-808. <https://doi.org/10.1190/1.1444590>
- Preliminary Draft of Iraqi Seismic Code, 303 (PISC), 2013. Central Organization for Standardization and Quality Control (COSQC). Ministry of Construction and Housing.
- Rahman, M.D.Z., Siddiqua, S. and Kamal, A.S.M., 2016. Shear wave velocity estimation of the near-surface materials of Chittagong City, Bangladesh for seismic site characterization. Journal of Applied Geophysics, 134, pp. 210-225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.09.006>

- Saify, Z.M.J. and Al-Khalidy, A.A.L., 2023. Engineering, Geophysical Investigation of a Multistory Building, at Hilla, Iraq, Utilizing the MASW Method. *Iraqi Geological Journal*, 56(1), pp. 217–227. <https://doi.org/10.46717/igj.56.1E.16ms-2023-5-26>
- Sitharam, T.G. and Anbazhagan, P., 2007. Seismic hazard analysis for the Bangalore region. *Natural Hazards*, 40, pp. 261–278. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-0012-z>



Biostratigraphic Analysis of Middle to Late Eocene Palynomorphs from the Upper Gercus Formation, Dohuk Area, Northern Iraq

Ali H. Al-Atrushe ^{1*} , Maha A.M. Al-Hasson ² 

^{1,2} Department of Geology and Petroleum, College of Science, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 25- Jan -2025

Revised: 27- Mar -2025

Accepted: 16- June -2025

Available online: 01-Apr -2026

Keywords:

Middle - late Eocene,
reworked Spores – Pollen,
Gercus Formation,

Correspondence:

Name: Ali H. Al-Atrushe

Email:

ali.24scp86@student.uomosul.edu.iq

ABSTRACT

The current study focuses on the palynological study of the upper part of the Gercus Formation of (Middle to Late Eocene) age in northern Iraq. Fifteen samples were collected from the studied outcrops. The studied section is about 57 meters. Twelve species belonging to eleven genera of spores and pollen grains are identified as follows: *Sphagnum triangularum*, *Polypodiaciesporites retirugatus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Monoporites annulatus*, *Perfotricolpites nigerianus*, *Tricolpites cf. brevicolpus*, *Retitricolporites irregularis*, *Psilatricolporites crassus*, *Psilatricolporites cryptoporus*, *Gemmastephanocolporites brevicolpites*, *Pinus sp.*, and *Cycas sp.* Based on the stratigraphic distribution of the identified palynomorph species, three palynological zones have been recognized, arranged in ascending order from the lowest (oldest) to the uppermost (youngest) part of the section as follows:

1- *Monoporites annulatus*-*Gemmastephanocolporites brevicolpites* interval Biozone (M1)

2- *Gemmastephanocolporites brevicolpites* Range Biozone (M2)

3- *Perfotricolpites nigerianus* Range Biozone (L)

These biozones are correlated and compared with other studies outside Iraq. The biostratigraphic analysis conducted in the present study indicates that the Gercus Formation is of Middle to early Late Eocene age.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60903](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60903), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

التحليل الحيوي الطبقي لأنواع الباليينومورف من منتصف إلى أواخر عصر الإيوسين من تكوين جركس العلوي، منطقة دهوك، شمال العراق

علي حسين محمد الاتروشي^{1*} ، مهى عبد الحميد مصطفى الحسون²

^{1,2} قسم علوم الارض والنفط ، كلية العلوم ، جامعة الموصل ، الموصل ، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
تركزت الدراسة الحالية على تصنيف حبوب اللقاح للجزء العلوي من تكوين جركس (الإيوسين الاوسط - المتأخر) في شمالي العراق. تم جمع خمسة عشر نموذجاً من المقطع المختار من محافظه دهوك والذي يبلغ سمكه حوالي 57 متراً. تم تشخيص اثني عشر نوعاً وهي تنتمي إلى أحد عشر جنساً من الأبواغ وحبوب اللقاح على النحو التالي	تاريخ الاستلام: 25- يناير - 2025
Sphagnum triangularum ، Polypodiaciesporites retrugatus ، Verrucatosporites usmensi ، Monoporites annulatus ، Perfortricolpites nigerianus ، Tricolpites cf. brevicolpus ، Retitricolporites irregalis ، Psilatricolporites crassus ، Psilatricolporites cryptoporus ، Gemmastephanocolporites brevicolpites.sp Pinus ، Cycas sp.	تاريخ المراجعة: 27- مارس - 2025
استناداً إلى الامتدادات العامودية الحياتية للأنواع المحددة، تم تحديد ثلاثة انطقة حياتية لل بالينوسبورومورفات ، من الأسفل (الأقدم) إلى الأعلى (الأحدث) من المقطع:	تاريخ القبول: 16- يونيو - 2025
1-Monoporites annulatus-Gemmastephanocolporites brevicolpites (M1) النطاق الحياتي	تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل - 2026
2- Gemmastephanocolporites brevicolpites (M2) النطاق الحياتي	الكلمات المفتاحية:
3- Perfortricolpites nigerianus(L) النطاق الحياتي	منتصف إلى أواخر العصر الإيوسيني، الأبواغ وحبوب اللقاح المعاد تشكيلها، تكوين الجركس،
الانطقة الحياتية المحددة تمت مضاهاتها ومقارنتها مع الانطقة المكافئة لها عالمياً أخرى خارج العراق. حددت دراسة الانطقة الحياتية عمر من الإيوسين الأوسط إلى المتأخر لتكوين جركس في الدراسة الحالية.	المراسلة: الاسم: علي حسين محمد الاتروشي Email: ali.24scp86@student.uomosul.edu.iq

DOI: [10.33899/injes.v26i2.60903](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.60903), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

This study primarily deals with the identification and determination of biozonations in pollen and spores from the upper part of the Gercus Formation. The study samples have been collected from the surface section within the High Folded Zone, within Dohuk Governorate, Kurdistan region (N-Iraq). The studies of the Gercus Formation represent a significant geological interval, renowned for its diverse sedimentary sequences and paleontological content. Despite extensive studies on its sedimentology, stratigraphy, and fossil assemblages, the microfossil record, particularly that of pollen and spores, was absent in Iraq. The type locality of the Gercus Formation is situated at the Gercus area, approximately 12.5 miles north of Midyat in Turkey. A supplementary type section was established by Wetzel in Bellen *et al.* (1959) in the Duhok area, Iraq. The lithology of the Formation predominantly consists of red and purple shale, mudstone, and sandy, gritty marl, with occasional pebbles. (Bellen *et al.*, 1959). The rock successions of the Gercus Formation crop out in northern and northeastern Iraq. The location of the geological sections is chosen based on the presence of outcrops of the

Gercus Formation, as well as the presence of evidence of plant leaves in the studied area. The main aim of this study is to identify and classify the pollen and spores in the upper part of the Gercus Formation, as important Molasses deposits in the Kurdistan foreland basin. Another target oriented towards the biozonation of the identified species with international standard biozones, which have not been recorded before in this unit. The correlation of the study result with the international biozone was also delineated, demonstrated, and calibrated with other studies worldwide to determine. Furthermore, the study aims to clarify and provide a detailed field description of the diagnostic lithological and stratigraphic characteristics of the Gercus Formation.

Geological Setting and Stratigraphy

From Geographic point of view, the studied area located within Dohuk Governorate, in Besre with GPS reading (36°52'01.8"N 43°03'36.4" E) and (36°51'34.2"N 43°03'44.6" E) in, Kurdistan region, Northern Iraq (Fig. 1). From structural point of view, the measured and sampled section is located at the Bekhair anticline, which is entirely asymmetrical double plunging fold, located within the High folded zone (Fouad, 2015), (Fig. 1) It represents the molasse deposits within Kurdistan foreland basin (Lawa, 2004, Lawa, 2018). Bekhair extends about 72 Km from Zawita/Besari area (the southeastern plunge) to Deraboon village near the Iraqi Syrian-Turkish border (the northwest plunge). The Gercus succession of northern Iraq was developed in a passive marginal basin, and belongs to the middle-late Eocene sequence, which is a part of the middle Paleocene-Eocene Megasequence AP10 (Sharland et al.,2001) cited in (Hussain, 2012). The Mid-Late Eocene sequence is represented by the Dammam, Ratga, Avanah, Jaddala, Pila Spi, and Gercus formations (Jassim and Goff, 2006). (Fig. 2).

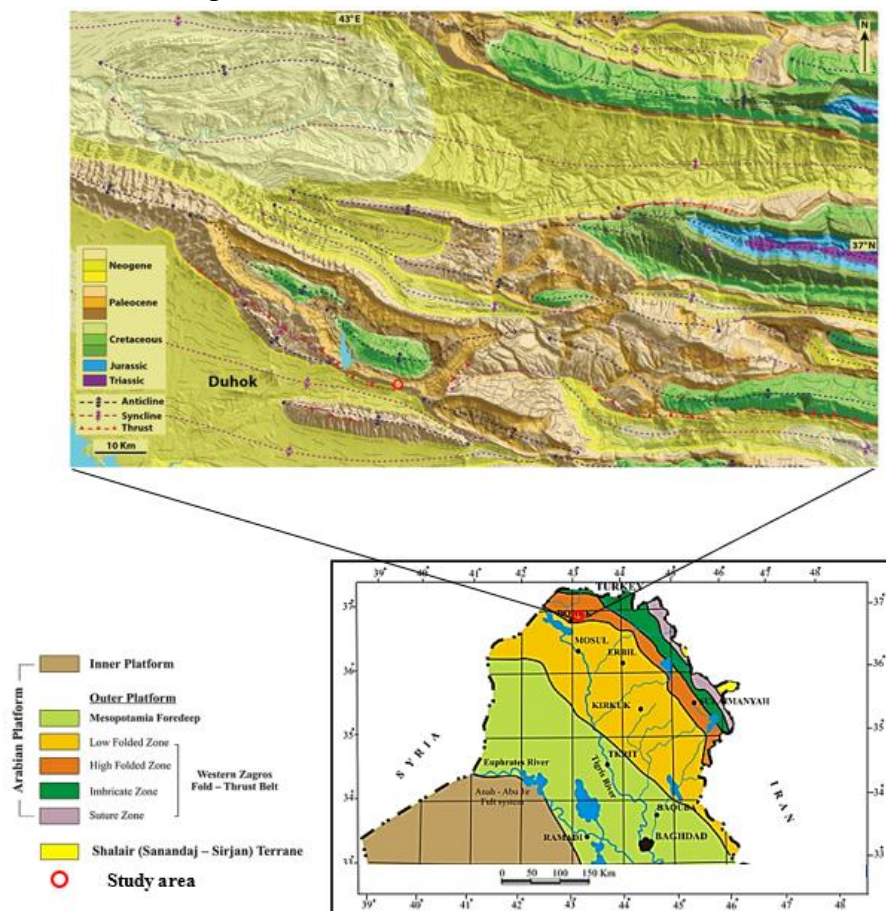


Fig. 1. Tectonic divisions of Iraq (after Fouad,2015). with a geological map showing the studied section, from (Doski, 2022).

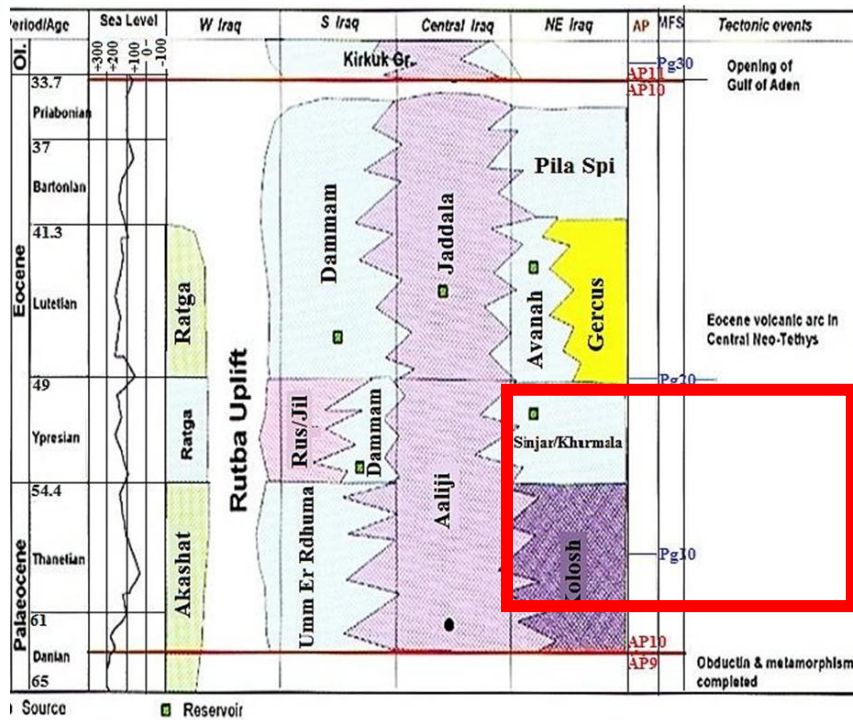


Fig. 2. Stratigraphic correlation of the formations of Megasequence AP10 (Jassim and Goff, 2006).

The studied section

The lithology of the formation in the studied area consists of a combination of clastic, carbonate, and evaporite sequences, particularly prominent in the middle and upper parts. However, in this specific section, the formation is mainly composed of interbedded clastic sediments and carbonate rocks, as illustrated in Fig. 3. Various sedimentary features are present, along with plant leaves and leaf impressions, which are commonly found within the carbonate rocks. Fifteen samples were collected from the outcrop of the upper part of the Gercus Formation, whose thickness is about 57 meters (Fig. 3).

Previous Studies

The previous palynological studies of the Gercus Formation are very rare in Iraq and neighboring areas, so the present study is the first palynological study to focus on the identification of pollen and spores within the studied section, in addition to determining the age of the Gercus Formation according to pollen and spores. The Gercus Formation has been subjected to several geological studies focusing on sedimentology, stratigraphy, and geochemistry; some of these studies are summarized as follows:

- ❖ Ameen (2006) studied the sequence stratigraphy of the Gercus Formation in the Suleimani area.
- ❖ Al-Hameedi (2007) studied the rock successions of the Gercus Formation in the Shaikhan area.
- ❖ Al-Aany (2010) studied facies analysis and sedimentological Model of Gercus Formation succession in selected locations, northern Iraq.
- ❖ Malak (2011) studied sedimentological and stratigraphical successions of the Paleocene-Eocene deposits from selected areas, North Iraq.
- ❖ Hussain (2012) studied facies analysis and the sedimentary environment of the Gercus Formation in northern Iraq.

- ❖ Awad and Alsultan (2020) carried out a stratigraphic analysis of the Gercus Formation in the Dohuk area, highlighting its lithological characteristics and vertical distribution.
- ❖ Ammar et al. (2025) studied the mineralogy of the Gercus Formation in Darbandi Basara Anticline, Sulaymaniyah Area, northeastern Iraq.

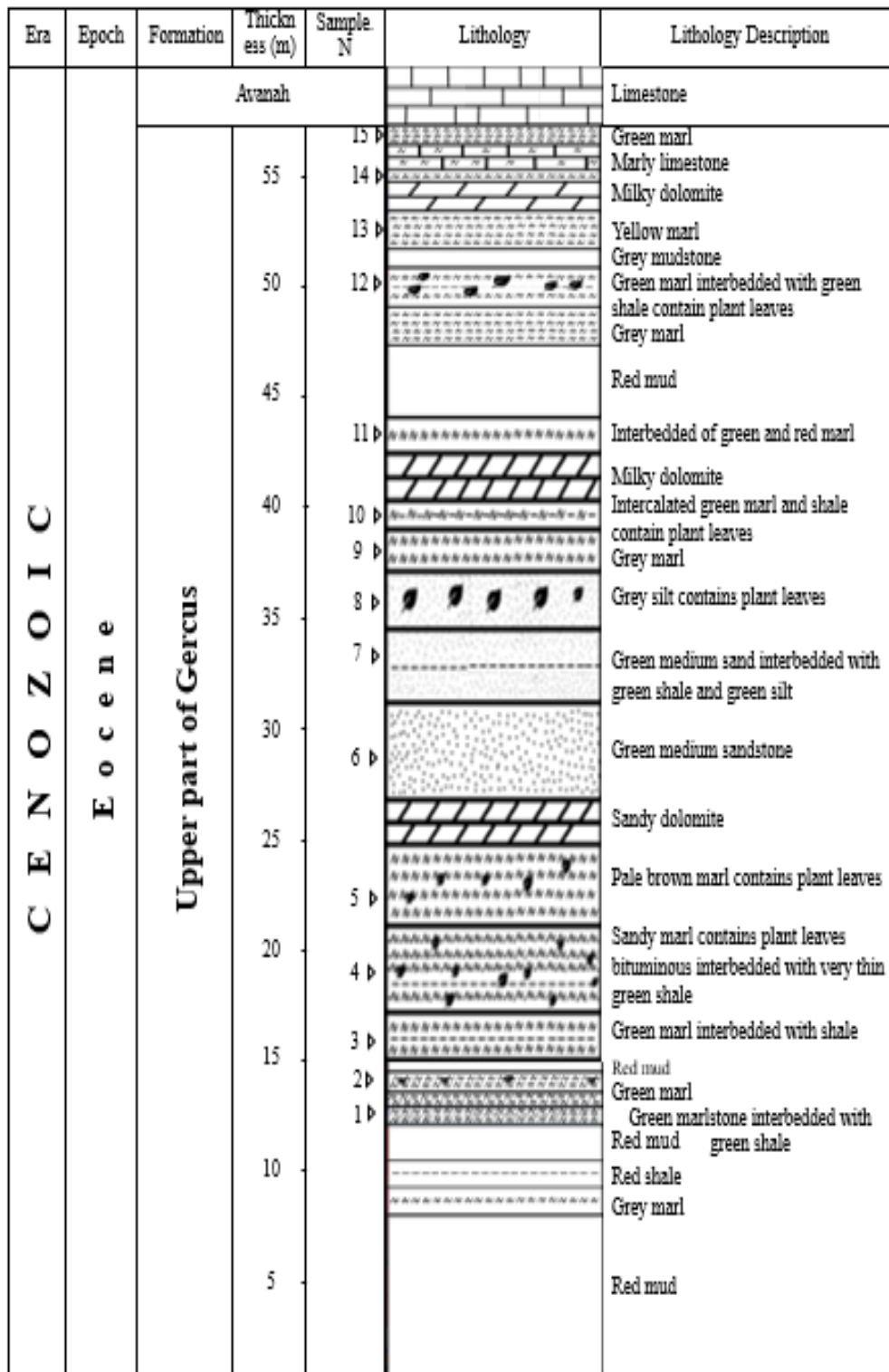


Fig. 3. Lithological section of the upper part of the Gercus Formation at the Besere section.

Materials and Methods

Fifteen samples were collected from the upper part of the Gercus Formation, which is approximately 57 meters thick. Standard palynological methods are implemented following Faegri and Iversen (1989) and Traverse (2007) for the study purpose. About 10–20 grams of sediment or rock per interval were treated with 10% HCl to remove carbonates, followed by 40% HF to eliminate silicates, and thoroughly rinsed. For samples rich in organic matter, 10% KOH was used to remove humic substances, while oxidizing agents were avoided to preserve palynomorphs. Residues were sieved through a 15 µm mesh and purified using zinc bromide (ZnBr₂, specific gravity 2.0). Final residues were mounted in glycerin jelly and examined under a transmitted light microscope (Olympus BH-2) at 400x–1000x magnification. Photomicrographs were taken with a Canon camera. All work was conducted at Hassan Jan Private Laboratory, Ankara, Turkey.

Results

A total of fifteen samples from the studied section are analyzed to investigate the spores and pollen grains. A total of twelve species, representing eleven genera, are identified, as summarized in Table 1. These twelve species are carefully selected based on their significance and preservation within the samples. The identification is based on the Smith and Butterworth (1967) and Potonié (1970) classifications. This research provides the first palynological record of Middle Eocene to Late Eocene spores and pollen grains within the studied section. The identified reworked Middle to Late Eocene spores and pollen grains identified include:

- 1- *Sphagnum triangularum* (Mamczar) Frederiksen, 1980.
- 2- *Polypodiaciesporites retirugatus* Kedves, 1961.
- 3- *Verrucosporites usmenis* (van Hammen) Germeraad et al., 1968.
- 4- *Monoporites annulatus* van der Hammen, 1954.
- 5- *Perfotricolpites nigerianus* Takahashi and Jux, 1989.
- 6- *Tricolpites cf. brevicolpus* Couper, 1960.
- 7- *Retitricolporites irregularis* Van der Hammen and Wijmstra 1964.
- 8- *Psilatricolporites crassus* Van der Hammen and Wijmstra, 1964.
- 9- *Psilatricolporites cryptoporus* Boltenhagen, 1976.
- 10- *Gemmastephanocolporites brevicolpites* Jan du Chêne et al., 1978.
- 11- *Pinus* sp.
- 12- *Cycas* sp. Bouchal et al., 2024.

Table 1: The taxonomic classification of the species studied. (Smith and Butterworth 1967, Potonié, 1970)

Anteturma	Turma	Subturma	Infraturma	Species
Proximegerminantes	Triletes	Azonotriletes	Laevigati	<i>Sphagnum triangularum</i>
		Cingulati	Muornati	<i>Polypodiaciesporites retirugatus</i>
	Monoletes	Azonomonoletes	Sculptatomoletl	<i>Verrucosporites usmensis</i>
Varigerminantes	Poroses	Monoporines	Wetzelioideae	<i>Monoporites annulatus</i>
	Plicates	Tricolpate		<i>Perfotricolpites nigerianus</i>
				<i>Tricolpites cf. brevicolpus</i>
		Tricolporates		<i>Psilatricolporites cryptoporus</i>
				<i>Retitricolporites irregularis</i>
		<i>Psilatricolporites crassus</i>		

	Stephanocolporatae	<i>Gemmastephanocolporites brevicolpites</i>
Saccites	Disaccites	<i>Pinus sp</i>
Monosulcates		<i>Cycas sp.</i>
	Quasilaevigati	

Biostratigraphy

A total of fifteen samples were analyzed. Twelve species of sporomorphs (pollen grains and spores) belonging to eleven genera are identified. Based on the stratigraphic distribution of the identified species as shown in Figure 4, three palynological zones are established, labeled M1, M2, and L. The M1 and M2 zones correspond to the Middle Eocene, while the L Zone represents the Late Eocene. The palynozones are established based on the stratigraphic distribution of marker sporomorph species. To further confirm the age and support the biozonation, these biozones are compared with previously published palynological studies. The palynozones correlated with their equivalent palynozones proposed by Ikegwuonu et al. (2020) from southeastern Nigeria and with the tropical palynozones described by Germeraad et al. (1968). These comparisons help reinforce the age assignment of the biozones within the Gercus Formation as summarized in Table 2.

Three Palynozones are recognized in this study as follows:

1-Monoporites annulatus - Gemmastephanocolporites brevicolpites interval Biozone (M1)

Definition:

The base of this zone was defined by the disappearance of Early Eocene index species. This biozone begins with the first appearance of the Middle Eocene index taxa *Monoporites annulatus*. (Fig. 4), while the top of the zone is marked by the first appearance of *Gemmastephanocolporites brevicolpites*. Furthermore, the zones show the abundance occurrences of *Psilatricolporites crassus*.

Assemblage: *Psilatricolporites crassus*, *Pinus sp.*, *Tricolpites cf. brevicolpus*, *Psilatricolporites cryptoporus*, *Cycas sp.*, *Monoporites annulatus*.

Range of zone: from sample 1 to sample 5

Discussion:

The *Monoporites annulatus* were first described from Middle Eocene sediments in tropical areas Germeraad *et al.*, 1968. The *Gemmastephanocolporites brevicolpites* were described from the Middle Eocene in the Niger Delta Basin, southeastern Nigeria, Ikegwuonu *et al.* (2020).

The present zone (M1) is correlated with the upper part of the *Monoporites annulatus* Zone (Middle Eocene age), that established by Germeraad *et al.* (1968) in tropical areas. This zone also equates to the pollen Zone (P430) by Evamy *et al.* (1978) in the Niger Delta Basin, and compared with the middle part of Zone D by Ikegwuonu *et al.* (2020) in southeastern Nigeria, as shown in the table. (2) studies

Age of Biozone: Middle Eocene

2- *Gemmastephanocolporites brevicolpites* Range Biozone (M2)

Definition:

The base of this zone is defined by the appearance of Middle Eocene index species *Gemmastephanocolporites brevicolpites*. Ikegwuonu *et al.* (2020). And the top of the biozone is defined by the last occurrence of the species *Gemmastephanocolporites brevicolpites*. (Fig. 4)

Assemblage: *Psilatricolporites crassus*, *Polypodiaciesporites retirugatus*, *Psilatricolporites cryptoporus*, *Monoporites annulatus*, *Verrucatosporites usmensis*, *Gemmastephanocolporites brevicolpites*.

Range of Zone: from sample 5 to sample 8

Discussion:

The *Gemmastephanocolporites brevicolpites* was first described from Middle Eocene sediments around southeastern Nigeria Jan du Chêne *et al.*, 1978 and from the Middle Eocene in the Niger Delta Basin, southeastern Nigeria Ikegwonu *et al.*, 2020. The base of this zone was defined by the appearance of Middle Eocene index species *Gemmastephanocolporites brevicolpites*. Additional biostratigraphic support for the base of the zone was delimited by the appearance of *Verrucatosporites usmensis* species within (late Middle Eocene).

The present Range zone (M2) is correlated with the *Verrucatosporites usmensis* Zone within (late Middle Eocene) age, which was established by Germeraad *et al.* (1968) in tropical areas. This zone also equates to the lower part of Zone (P450) by Evamy *et al.* (1978) in the Niger Delta Basin, and compared with the Uppermost of Zone D by Ikegwonu *et al.* (2020) in southeastern Nigeria (Table 2) studies

Age of Biozone: late Middle Eocene.

3- *Perforicolpites nigerianus* Rang Zone (L) (Part)

Definition:

The base of this zone was defined by the appearance of the *Perforicolpites nigerianus* species. The top of the zone is not clearly defined due to a marked reduction in both species abundance and diversity beginning from sample 12 onwards. (Fig. 4)

Assemblage: *Verrucatosporites usmensis*, *Retitricolporites irregularis*, *Sphagnum triangularum*, *Psilatricolporites crassus*, *Monoporites annulatus*, *Cycas sp*, *Perforicolpites nigerianus*.

Range of zone: from sample 8 to sample 12.

Discussion:

The base of the *Perforicolpites nigerianus* Zone was defined by the disappearance of the middle Eocene index *Gemmastephanocolporites brevicolpites* species, and the first appearance of late Eocene *Perforicolpites nigerianus* species in Nigeria, Ikegwonu *et al.* (2020). Furthermore, along with the continued presence of *Verrucatosporites usmensis*. Additionally, the abundance occurrence of *Monoporites annulatus* recorded within this zone in southeastern Nigeria by Ikegwonu *et al.* (2020). The top of the zone is not clearly defined due to a marked reduction in abundance and diversity of the species beginning from sample 12 onwards. (Fig. 4). The present Range Zone (L) is correlated with the lower part of the *Verrucatosporites usmensis* Zone within (Late Eocene age) that was established by Germeraad *et al.* (1968) in tropical areas. This zone also equates to the upper part of Zone P450 (late Eocene age) by Evamy *et al.* (1978) in the Niger Delta Basin, and compared with the lowermost part of Zone E (Late Eocene age) by Ikegwonu *et al.* (2020) in southeastern Nigeria (Table 2) studies

Age of Biozone: early Late Eocene.

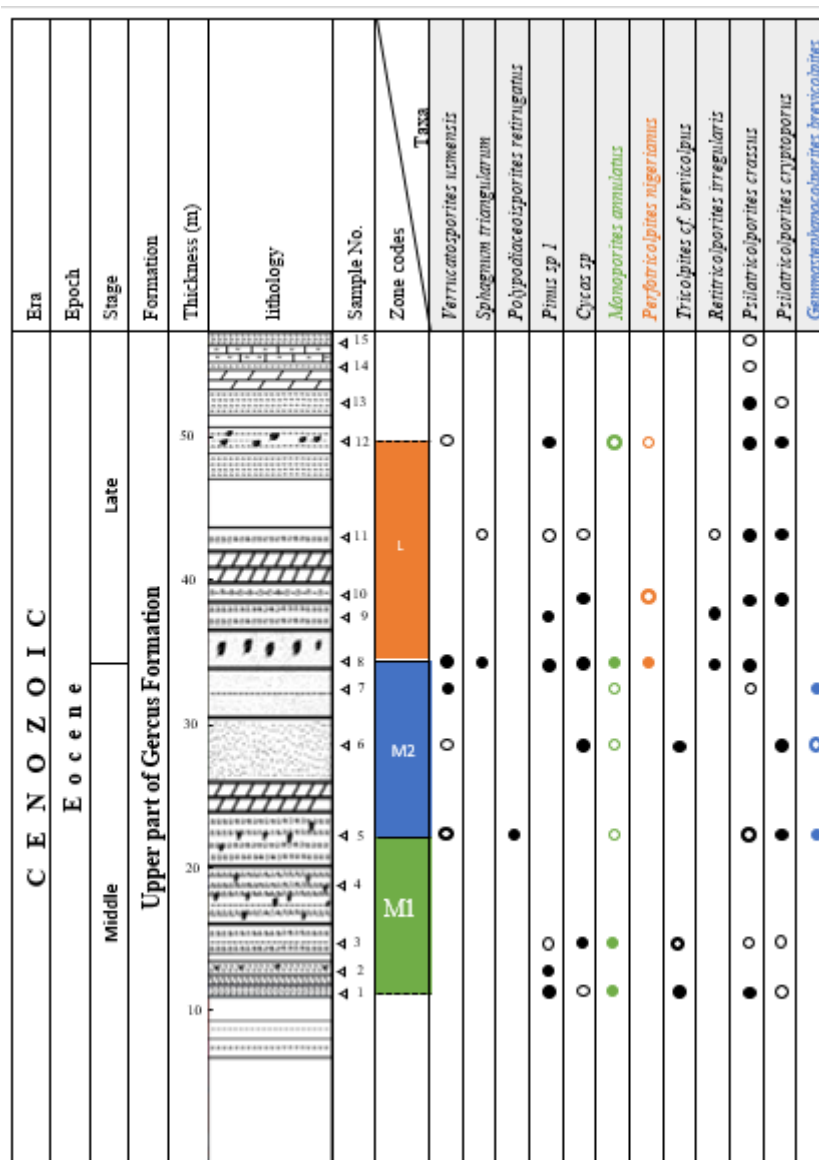


Fig. 4. Biostratigraphic Range chart of selected spores and pollen species in studied section. (Palynomorphs abundance ○ 1-5%, ◐ 5-25%, ● >25%).

Table 2: The correlation chart illustrates the relationship between the biozones and palynological zones identified in the study area.

Era	Epoch	Stage	Formation	Pollen Zone by (Evamy <i>et al.</i> , 1978) (Niger Delta Basin)	Tropical areas (Germeraad <i>et al.</i> , 1968) / Pantropical zone	Palynological assemblage zone (Ikegwuonu <i>et al.</i> , 2020) (southeastern Nigeria)	Palynological zones (this study)
CENOZOIC	Eocene	Late	Not study	P400	<i>Verrucatosporites usmensis</i> Zone	Zone E	Zone L
			Upper part of Gercus				P480
		Middle	Not study	P430	<i>Monoporites annulatus</i> Zone	Zone D	Zone M 1
			Not study	P420			Not study
Early			P300		Zone C	Not study	

Conclusions

The analysis of pollen and spore species in the Upper part of the Gercus Formation, northern Iraq, highlights the potential of these fossils as reliable indicators of Middle to early Late Eocene age. Notable discoveries include *Monoporites annulatus*, whose initial appearance

indicates the middle Eocene, *Gemmastephanocolporites brevicolpites*, which is characteristic of the late middle Eocene, and *Perfotricolpites nigerianus*, whose first occurrence is indicative of the late Eocene. The identification of *Verrucatosporites usmensis* species further corroborates these age assignments. These results underscore the significant role of fossil pollen and spores in stratigraphic correlation and age determination.

References

- Al-Aany, A.G.M., 2010. Facies Analysis and Sedimentological Model of Gercus Formation Succession at Selected Locations from Northern Iraq. M.Sc. Thesis, University of Mosul, 151 P.
- Al-Hameedi, R.I.A., 2007. Facies Analysis and Sedimentary Environments of Late Campanian-Late Eocene Sequences of Sheekhan Fold – Northern Iraq. MSc Thesis, University of Mosul, 191p. (in Arabic)
- Al-Kubaisi, M. Sh. and Shakir, M.M., 2018. Structural analysis for the plunge areas of Bekhair, Brifca, Dohuk and Zawita anticlines, northern Iraq using seismic sections. Iraqi Geological Journal, 51(1), pp. 56–68.
- Ameen, B.M., 2006. Sequence Stratigraphy of Gercus Formation (Middle Eocene) in Sulaimaniya Area, Northeastern Iraq. Indian Journal of Earth Sciences 6(2), pp. 23-32.
- Ammar, R., Algburi, Radhwan, K.H., Alatrosh, Falah Mohammed Ahmed., 2025. Heavy Mineral Study of Gercus Formation in Darbandi Basara Anticline, Sulaymaniyah Area, North-Eastern Iraq. Iraqi National Journal of Earth Science, Vol. 25, No. 2.
- Awad, A.S. and Alsultan, A., 2020. Stratigraphic Analysis of Gercus Formation in Dohuk area, Northern Iraq. Iraqi Journal of Science, Vol. 61, No. 9, pp. 2293-2302.
- Bellen, R.C. van; Dunningtons, H.V.; Wetzel, W. and Morton, D.M., 1959. Lexique Stratigraphique International, Asie, Fasc. 10a, Iraq. Centre Natl.Rech. Scii., Paris, 333 P.
- Doski, J.A.H. and McClay, K., 2022. Tectono-stratigraphic evolution, regional structure and fracture patterns of the Zagros fold-thrust belt in the Duhok region, Kurdistan, northern Iraq. Tectonophysics, 837, 229506. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229506>
- Evamy, B.D., Haremboure, J.P., Kamerling, W.A., Knaap, F., Molloy, A., and Rowlands, P.H., 1978. Hydrocarbon habitat of Tertiary Niger Delta. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 62(1), pp. 1-39.
- Faegri, K. and Iversen, J., 1989. Textbook of pollen analysis (4th ed., revised by K. Faegri, P. E. Kaland, and K. Krzywinski). Chichester: John Wiley and Sons.
- Fouad, S.F., 2015. Tectonic Map of Iraq, scale 1:1000000, 3rd edit, Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11 (1), pp. 1- 7
- Germeraad, J.H., Hopping, C.A., and Muller, J., 1968. Palynology of Tertiary sediments from tropical areas. Review Palaeobotany Palynology, 6: pp. 186-348.
- Hussain, S.H., 2012. Facies Analysis and Sedimentary Environment of Gercus Formation in selected surface section, northern Iraq. Ph.D. Thesis, University of Mosul, 124 P.
- Ikegwonu, O.N., Umeji, O.P., Chiaghanam, O.I., Nwozor, K.K., Ndukwe, O.S., and Chiadikobi, K.C., 2020. Palynomorph assemblage biozonation of Paleogene strata in Bende–Umuahia Area, Niger Delta Basin, southeastern Nigeria. Journal of Palaeogeography, 9(1): 13. <https://doi.org/10.1186/s42501-020-00061-1>

- Jan du Chêne, R.E., Salami, M.B., Reegal, 1978. Palynology and micropaleontology of the Upper Eocene of the Well Nsukwa 1 (Niger Delta, Nigeria). *Comptes Rendus des Séances, Spn Genève, NS Vol. 13 # 1* pp. 5-9.
- Jassim, S.Z. and Goff, J.C., 2006. *Geology of Iraq*. Published by Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno.
- Lawa, F.A., 2004. Sequence stratigraphic analysis of the middle Palaeocene-Middle Eocene in the Sulaimani district (Kurdistan Region). Unpublished PhD Thesis, University of Sulaimani, Kurdistan Region, Iraq, 267 p.
- Lawa, F.A.A., 2018. Late Campanian–Maastrichtian sequence stratigraphy from Kurdistan foreland basin, NE/Iraq. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 8(3), 713–732. <https://doi.org/10.1007/s13202-017-0424-1>
- Malak, Z.A.W., 2011. Sedimentological and Stratigraphical Study of the Paleocene-Eocene succession from selected areas, North Iraq. PhD. Thesis, University of Mosul, 212 P. (in Arabic)
- Potonie, R., 1970. Synopsis of the genera of the dispersed spores. Part 3 [Synopsis der Gattungen der sporae dispersae Iii Teil] Beihefte zum Geologischen Jahrbuch Vol. 39 pp. 1-189
- Smith, A.H.V. and Butterworth, M.A., 1967. Miospores in the coal seams of the Carboniferous of Great Britain. *Special Papers in Palaeontology*, 1, pp. 1–324. The Palaeontological Association.
- Traverse, A., 2007. *Paleopalynology*. 2nd Edition, Springer, Berlin, 816 P.

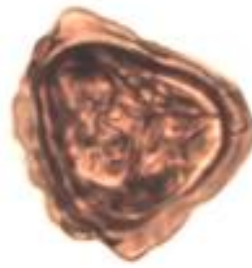
Plate 1

- 1- *Sphagnum triangularum* (Mamczar) Frederiksen, 1980. (G5L1.9;124.2)
- 2- *Polypodiaciesporites retirugatus* Kedves, 1961. (G8L0.7;107.1)
- 3- *Verrucatosporites usmensis* (van der Hammen) Germeraad, et al., 1968. (G8L3.2;123.2)
- 4- *Monoporites annulatus* van der Hammen, 1954. (G8L-0.1;109.5)
- 5- *Perfotricolpites nigerianus* Takahashi and Jux, 1989. (G8L5.4;111.2)
- 6- *Tricolpites cf. brevicolpus* Couper, 1960. (G1L0.5,103.9)
- 7- *Retitricolporites irregularis* Van der Hammen and Wijmstra, 1964. (G8L7.1;102.9)
- 8- *Psilatricolporites crassus* Van der Hammen and Wijmstra, 1964. (G1R8.1,126.1)
- 9- *Psilatricolporites cryptoporus* Boltenhagen, 1976. (G5L0.1;111.1)
- 10- *Gemmastephanocolporites brevicolpites* Jan du Chêne, et al. 1978. (G5L3.1;107.3)
- 11- *Pinus* sp. (G2L1.7,126.8)
- 12- *Cycas* sp. Bouchal, et al., 2024. (G5L11.2;118.9)

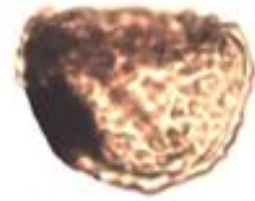
Plate 1



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



Spatio-temporal Assessment and Prediction of Land Surface Temperature (LST) Dynamics of Kirkuk City Using GIS Techniques

Sumaya Falih Hasan¹ , Mustafa Raad Hameed² , Banaz Adib Fatah³ , Muntadher Aidi Shareef^{*4} 

^{1,3,4} Department of Surveying Engineering, Technical College- Kirkuk/ Northern Technical University, Mosul, Iraq.

² School Buildings Department, the General Directorate of Education, Babylon, Iraq.

Article information

Received: 20- Nov -2024

Revised: 15- Feb -2025

Accepted: 19- May -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

LST,
NDVI,
GIS,
Vegetation Cover,

Correspondence:

Name: Muntadher Aidi Shareef

Email:

muntadher.a.shareef@ntu.edu.iq

ABSTRACT

Over the past few decades, the Kirkuk region in Iraq has been seriously threatened by global warming under climate and temperature change scenarios. Over the course of a year, the study examines the spatio-temporal fluctuations in Land Surface Temperature (LST) and how they affect the vegetation cover in Kirkuk, Iraq, for the period from January 1, 2019, to December 31, 2019. Utilizing satellite data and Geographic Information Systems (GIS) techniques, the study analyzed the correlation between LST and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), showing a fair but negative correlation ($R^2 = 0.65$). Additionally, the relationship between NDVI and Kirkuk wheat yield indicated a strong positive correlation ($R^2 = 0.89$). The results reveal that factors such as urban expansion, changes in cropping patterns, and global climate change contribute to the increase in LST. The findings highlight the importance of using remote sensing and GIS tools to assess climatic influences on environmental conditions, which are essential for sustainable land management and agricultural practices in the context of global climate change.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56079](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56079). ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

التقييم المكاني الزمني والتنبؤ بديناميكيات درجة حرارة سطح الأرض في كركوك باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية

سمية فالح حسن¹ ID، مصطفى رعد حميد² ID، بناز ادیب فتاح³ ID، منتظر عیدی شریف⁴ ID*
^{1,3,4} قسم هندسة تقنيات المساحة، الكلية التقنية الهندسية كركوك، الجامعة التقنية الشمالية، الموصل، العراق.
² قسم الابنية المدرسية، مديرية تربية بابل، بابل، العراق.

المخلص	معلومات الارشفة
<p>تعرضت منطقة كركوك في العراق لتهديدات بسبب الاحتباس الحراري والتغيرات المناخية وارتفاع درجات الحرارة على مدى العقود القليلة الماضية. تتناول هذه الدراسة التغيرات الزمانية والمكانية في درجة حرارة سطح الأرض (LST) وكيف تؤثر على الغطاء النباتي في كركوك، العراق، خلال فترة زمنية تمتد من 1 يناير 2019 إلى 31 ديسمبر 2019. باستخدام بيانات الأقمار الصناعية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، تم تحليل العلاقة بين (LST) ومؤشر الفرق النباتي المُطَبَّع (NDVI)، حيث أظهرت النتائج وجود علاقة متوسطة وسلبية ($R^2 = 0.65$) بالإضافة إلى ذلك، أوضحت العلاقة بين (NDVI) وإنتاجية القمح في كركوك وجود ارتباط إيجابي قوي ($R^2 = 0.89$). وتشير النتائج إلى أن عوامل مثل التوسع الحضري، وتغير أنماط الزراعة، والتغيرات المناخية العالمية تسهم في ارتفاع (LST). وتؤكد هذه النتائج على أهمية استخدام أدوات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتقييم تأثيرات المناخ على الظروف البيئية، والتي تعد ضرورية لإدارة الأراضي والزراعة بشكل مستدام في ظل تغير المناخ العالمي.</p>	<p>تاريخ الاستلام: 20- نوفمبر - 2024 تاريخ المراجعة: 15- فبراير - 2025 تاريخ القبول: 19- مايو - 2025 تاريخ النشر الإلكتروني: 01- ابريل - 2026</p> <p>الكلمات المفتاحية: درجة حرارة السطح، مؤشر النباتات، نظم المعلومات الجغرافية، الغطاء النباتي.</p> <p>المراسلة: الاسم: منتظر عيدي شريف Email: muntadher.a.shareef@ntu.edu.iq</p>

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56079](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56079). ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction

The Earth's surface temperature (LST) has risen as a result of global climate change, impacting vegetation regions, land use, land cover, water supplies, and other factors that contribute to a variety of environmental challenges (Mukherjee and Singh, 2020). LST is the term used to describe the temperature of the Earth's surface, including that of exposed soil, vegetation canopy, land use, land cover, etc. (Tahooni et al., 2023). The knowledge of several words that disrupt the energy balance at the surface is crucial for hydrologists, agronomists, and meteorologists (Taheri et al., 2022). Nonetheless, one of the crucial factors that affects the processes of hydrosphere-biosphere-atmosphere interaction is LST (Jia et al., 2022). LST is also utilized in a variety of fields, including vegetation cover, hydrological cycle, evapotranspiration, and climate change (Malik et al., 2019). It is the primary metric that is impacted by land surface features such as soil surface permeability, vegetation cover, land use, and vegetation type (Kabir et al., 2020). Numerous investigations have been carried out to track variations in LST brought on by variations in plant cover and land use. The majority of research has shown that vegetation cover and LST are inversely correlated, meaning that crop cover lowers LST (Kumar et al., 2012). Many scholars now investigate the connection between LST, NDVI, and land cover for land use by GIS and remote sensing techniques (Ahmed, 2014; Hasan et al., 2021; Hason et al., 2020). To track changes in the vegetative zone, a variety of plant cover indicators are available. However, one of the most popular, straightforward, and efficient indices is the NDVI (Lambin and Ehrlich, 1996). Using this indicator, changes in vegetation cover for any given area can be measured. Two sorts of methodologies, such as the standard

methodology and the remote sensing (RS) approach, can be utilized to assess LST (Green et al., 1994). In Shanghai, China, satellite data were utilized to ascertain the correlations between LST and NDVI, GIS and RS tools, which are shown to be useful in identifying the effects of climate change on the environment. The LST has changed significantly as a result of the quick changes in land use and land cover patterns (Sruthi and Aslam, 2015). Similar to Kirkuk in Iraq, where the area's plant cover was greatly impacted by LST increases (Aya and Kadhim, 2024; Mahmood and Ali, 2014). The vegetation cover in Kirkuk, Iraq, was greatly impacted by the rise in LST (Salahalden et al., 2024b).

The objective of the article is to examine the impact of increasing Land Surface Temperature (LST) due to global climate change, and how it affects land use, land cover, vegetation areas, and water resources, which are critical factors contributing to various environmental problems. The study seeks to explore the relationship between LST and vegetation indices such as NDVI, and the use of GIS and RS tools to monitor these relationships. Additionally, the article aims to present the case study of Kirkuk, Iraq, where rising LST has significantly affected vegetation cover, offering insights into the broader consequences of climate change on both local and global scales.

Materials and data acquisition

Study area

The City of Kirkuk is located in the northwest of Iraq. The study area is bordered by the Zagros Mountains to the north, the Hamrin Mountains to the south, the Lesser Zab Mountains to the west, and Al-Sulaymaniyah City to the east. Geographically, Kirkuk City is situated between latitudes 35 13' and 36 29' N and longitudes 44 00' to 44 50' E. The total area of this city is roughly 9,679 km² (Shareef et al., 2020). The distance from Baghdad, the capital of Iraq, is about 250 kilometers (Fig. 1). In the study area, the climate is semiarid and Mediterranean, with chilly winters and hot, dry summers (Jaber et al., 2022). Rainfall is minimal or nonexistent throughout the summer months, with the majority of precipitation falling between December and March (Stathi et al., 2023). Temperature plays a significant role in the climate, with peak temperatures reaching approximately 48 °C during summer and dropping to -1 °C in winter. The city of Kirkuk is located between 340 and 360 meters above sea level on the steep northern portion of the Kirkuk plain (Mohammed et al., 2024). The plain's eastern and northern borders are delineated by the Hamrin structure and the Lesser Zab River, while its western and northern borders are delineated by the Kirkuk structure (sometimes called the Baba Dome) and the Hamrin structure (Salahalden et al., 2024a).

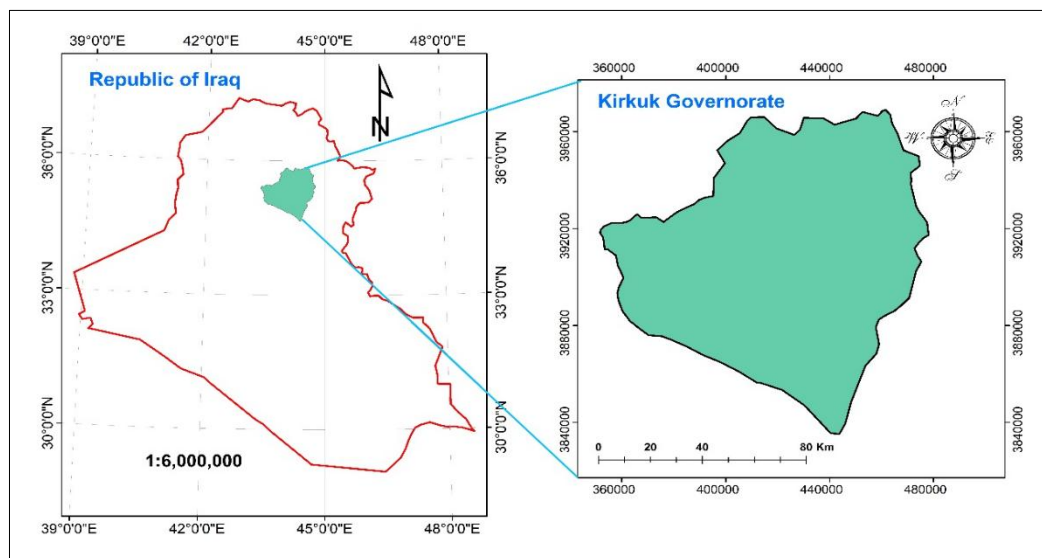


Fig. 1. Study area in Kirkuk City.

Data and pre-processing

Data used

The data used in this study are taken from the Landsat-8 multispectral sensor. Landsat-8 is officially launched on 11 February 2013, and is considered the eighth satellite in the series of Landsat family. It has a two-sensor aboard, including the Operational Land Imager (OLI) and the Thermal Infrared Sensor (TIRS), which are detailed in reference (Shen et al., 2021). The thermal sensor consists of two thermal bands: bands 10 and 11, which are generally used to provide the surface temperature with high accuracy and are collected at 100 meters. The thermal images include radiometric rescaling of the TIRS thermal to be used to extract the surface temperatures. In this study, we have used band 10 to extract the surface temperature; moreover, some of the Landsat-8 categories are illustrated in Table 1. All images were downloaded for free from the USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) with a cloud coverage of less than 2%, for summer and winter seasons.

Table 1. Landsat-8 categories.

		Categories/ resolution (m)
Sensors	OLI (30-60m)	Band 1 to band 7 and band 9 with resolution 30 m, band 8 is 15 m,
	TIRS(100m)	Bands 10 and 11 are 100 m
Altitude	705 Km	
Inclination	98.2	
Orbit	Polar, sun-synchronous	

Methods

In this article, ArcGIS, meteorological data, and ENVI software are used in order to determine the temperature changes in 2019 from January to December. The following flowchart (Figure 2) illustrates the procedure for the methodology.

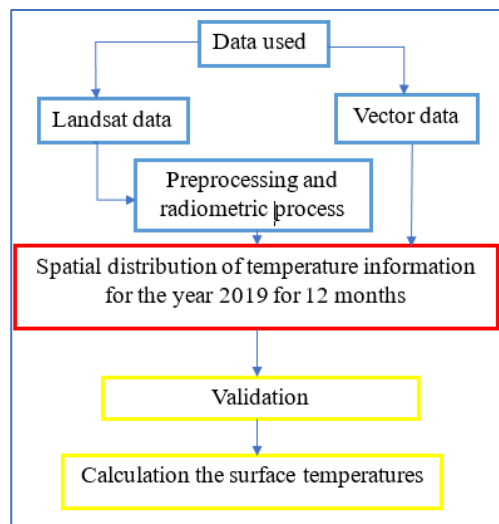


Fig. 2. Overall methodology.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

One of the most often used indices in vegetation remote sensing is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which was created by Rouse et al (1973). It uses the visible (0.45 to 0.67µm) and near-infrared (0.85 to 0.88µm) regions within the electromagnetic spectrum to assess remote sensing data and determine whether the target being detected consists of actual green plants. This index is used for various purposes, particularly those related to other ground characteristics such as the percentage of landscape cover, plant activity or season end, water surface, vegetation density, and biomass (Bagherzadeh et al., 2020).

Therefore, the NDVI is derived by concentrating on satellite bands like red and near-infrared that are most sensitive to vegetation. Next, observe how many of the rays that fall on the plant are absorbed and reflected. The majority of the visible light is generally absorbed by healthy plants. On the other hand, it reflects a lot of the near-infrared. In contrast, poor vegetation reflects a lot of visible light and a little amount of near-infrared light (Roznik et al., 2022). By subtracting the red reflectance values from the near-infrared, the NDVI algorithm divides the result by the sum of the red and near-infrared bands.

$$NDVI = (p_{NIR} - p_{red}) / (p_{NIR} + p_{red}) \tag{1}$$

Where: p_{NIR} is the reflectance or radiance in a near infrared channel (0.78–0.90 μm TM/ETM+ and 0.72–1.1 μm AVHRR) and p_{red} is the reflectance or radiance in a visible channel (0.63–0.69 μm TM/ETM+ and 0.58–0.68 μm AVHRR)(Chen et al., 2016).

When applied to well-vegetated sites, NDVI readings, which are expressed as a ratio with a range of (-1 to +1), take on comparatively high values (0.3–0.6) (Chen et al., 2016). The determined NDVI values are often divided into two categories: non-vegetation (NDVI <0) and vegetation (NDVI >0), which includes deciduous and evergreen monsoon forests (water bodies, barren and rocky land). Consequently, apart from the capacity to distinguish between places that are vegetated and those that are not (e.g., bare soil and roads). Water and other land cover can be distinguished using the NDVI (Bhagat and Sonawane, 2011).

Radiometric Calibration of Landsat-8 data

This section's calibration procedure of Landsat-8 data will be used for the United States Geological Survey Earth Resources Observation and Science USGS EROS center’s deliverables. In addition to the Thermal Infrared Sensor (TIRS), this product often includes the Operational Land Imager (OLI) as multispectral picture data, which is represented by quantizing and scaling digital numbers (DN) (Bhagat and Sonawane, 2011). The products come in 16-bit unsigned integer format, and the product metadata file contains radiometric rescaling coefficients that can be used to rescale them to the Top of Atmosphere (TOA) reflectance and/or radiance (MTL file). The thermal constants that were needed to convert the TIRS data to the at-satellite brightness temperature are also included in the MTL file. Therefore, calibrating picture data to radiance, reflectance, or brightness temperatures is the primary goal of radiometric calibration (Shamsuzzoha et al., 2021) and that, as shown in Figure 3, we will achieve in this section.

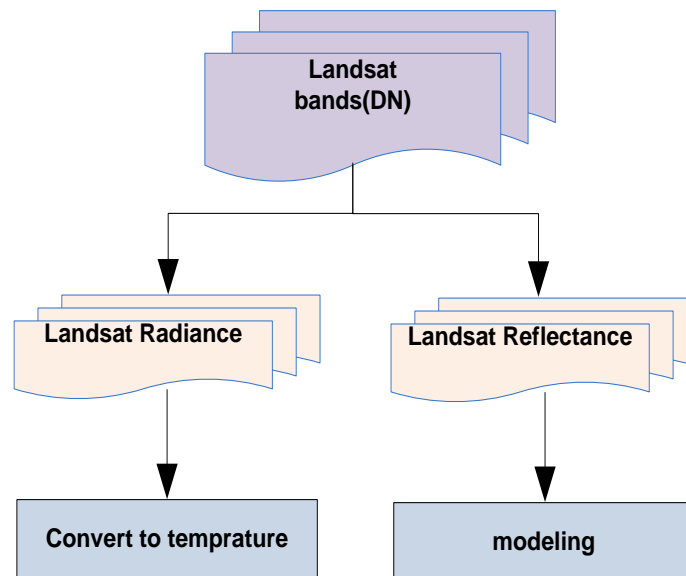


Fig. 3. Transformation from digital number to temperature.

Conversion to TOA Radiance

The energy in the form of a flux or irradiance can interact with a surface area in a certain direction and with a solid angle. This behaviour, which can be emitting, reflecting, transmitting, or receiving, is known as radiation. It is measured at the satellite sensor and is dependent on reflectance. However, for relatively obvious Landsat views, a decline in between-view instability could be accomplished by way of normalization to get solar irradiance by transforming (Markham et al., 2016). Spectral radiance at the sensor's space (L_λ) is certainly determined in [watts/ meter squared * ster * μm] also be computed as TOA spectral radiance directly from OLI as well as TIRS (thermal) band data using equation (2).

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \tag{2}$$

Where: L_λ = spectral radiance computed using TOA measured by {Watts/(m2 * srad * μm)}, and M_L = refers to specific band multiplicative rescaling factor provided in the metadata, A_L = refers to specific band additive rescaling factor provided in image metadata as a form (RADIANCE ADD BAND-x), x = number of the band), Q_{cal} = calibrated and quantized digital number (DN).

This equation significantly depends on rescaling factors (Table 2), which are extracted from the metadata of Landsat-8 images.

Table 2: Spectral Radiance Range in {watts/ (meter squared * ster * μm)}.

Band Number	RADIANCE MULT BAND	RADIANCE ADD BAND
1	1.3325E-02	-66.62635
2	1.3588E-02	-67.94135
3	1.2442E-02	-62.21135
4	1.0538E-02	-52.68921
5	6.3945E-03	-31.97240
6	1.6111E-03	-8.05545
7	5.2408E-04	-2.62042
8	1.1870E-02	-59.35106
9	2.6278E-03	-13.13878
10	3.3420E-04	0.10000
11	3.3420E-04	0.10000

Conversion to Brightness Temperature

Using Plank's law, brightness temperatures -also referred to as blackbody temperatures - can be calculated from the radiances on TOA calculated by satellite TIR sensors. The assumption that the water vapor concentration of the atmosphere is constant for a relatively small area allows the atmospheric conditions to be considered uniform and ignores the influence of the atmosphere on the radiance temperature (Kleynhans et al., 2017). Consequently, the dispersion of the surface temperature fields can be reflected in the at-satellite brightness temperature. The water vapour content is known to fluctuate throughout time due to seasonality and internal variations in atmospheric conditions. It is inappropriate to compare the temperature shown by the satellite brightness temperature over many time periods (Chen et al., 2016). Equation (3) illustrates how TIRS Band data can be transformed from spectral radiance to brightness temperature using the thermal band constants included in the metadata file.

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \tag{3}$$

Where: T_b = brightness temperature from satellite, K_1 = Band-specific thermal conversion constant provided in the metadata, K_2 = Band-specific thermal conversion constant provided in the metadata. However, the temperature constants (K_1 , K_2) are concerned to our data have been extracted from metadata file for thermal bands (band 10 and band 11) given in Table (2).

Table 2: Radiometric rescaling of TIRS thermal constants.

Band Number	K ₁ CONSTANT	K ₂ CONSTANT
10	774.89	1321.08
11	480.89	1201.14

Land Surface Temperature (LST)

The sparse and irregular distribution of weather observatories, the challenges associated with conducting field surveys, and the complicated nature of interpolating station data present obstacles to the continuous monitoring of harsh settings. Because of this, remotely sensed land surface temperature (LST) is very interesting for a range of biological and environmental applications (Abdulrahman et al., 2024). The radiative energy budget of the Earth's surface is determined by this important factor. Since it causes the turbulent heat exchanges and outgoing long-wavelength radiation at the interface between the land and atmosphere, the land surface temperature (LST) is a crucial input for land-surface models that analyse evapotranspiration, estimate soil moisture, and monitor dryness (Amer et al., 2023). Finally, the land surface temperature is calculated using equation (4).

$$LST_{\square} = \frac{T_b}{1 + \left(\lambda + \frac{T_b}{p}\right) * \ln(\epsilon)} \tag{4}$$

Where: The typical value for emissivity (ϵ) is 0.95 (Aya and Kadhim, 2024).

Results and discussion

Earth's surface temperature

The analysis of spatial and temporal variance in Land Surface Temperature (LST) for Kirkuk Governorate during the year 2019 reveals distinct differences between areas with vegetation or water bodies and those with urban or arid land. The Figures below show the results of the present study, which looked at the land surface temperature (LST) in the Kirkuk Governorate over time and space in 2019. It shows that the LST varied a lot between different types of land cover, especially between urban areas, dry lands, and areas with plants and water. These findings align with global studies on the relationship between LST, land use, and land cover, further reinforcing the cooling effects of vegetation and water compared to urbanized and barren landscapes.

In January, as shown in Figure 4, the satellite-derived LST ranged from 4.44°C to 15.34°C, while the measured air temperatures ranged from 13°C to 15.5°C. This indicates that while the satellite data provides a useful estimate of surface temperature, it tends to underestimate the actual conditions on the ground, especially in cooler months. This discrepancy becomes even more pronounced during the hotter months, suggesting potential atmospheric interference and limitations of remote sensing technologies in accurately capturing extreme temperatures.

In February, LST values ranged between 6.11°C and 16.11°C, while the measured temperatures were between 15°C and 17.5°C, maintaining a similar pattern of satellite data underestimating real-world conditions. March shows LST values between 10°C and 16.6°C, while ground temperatures ranged from 19°C to 21.5°C, as shown in Figure 4. As temperatures began to rise in spring, the gap between LST and measured temperatures became more evident, which could be attributed to increasing urban activity, a phenomenon commonly referred to as the Urban Heat Island (UHI) effect.

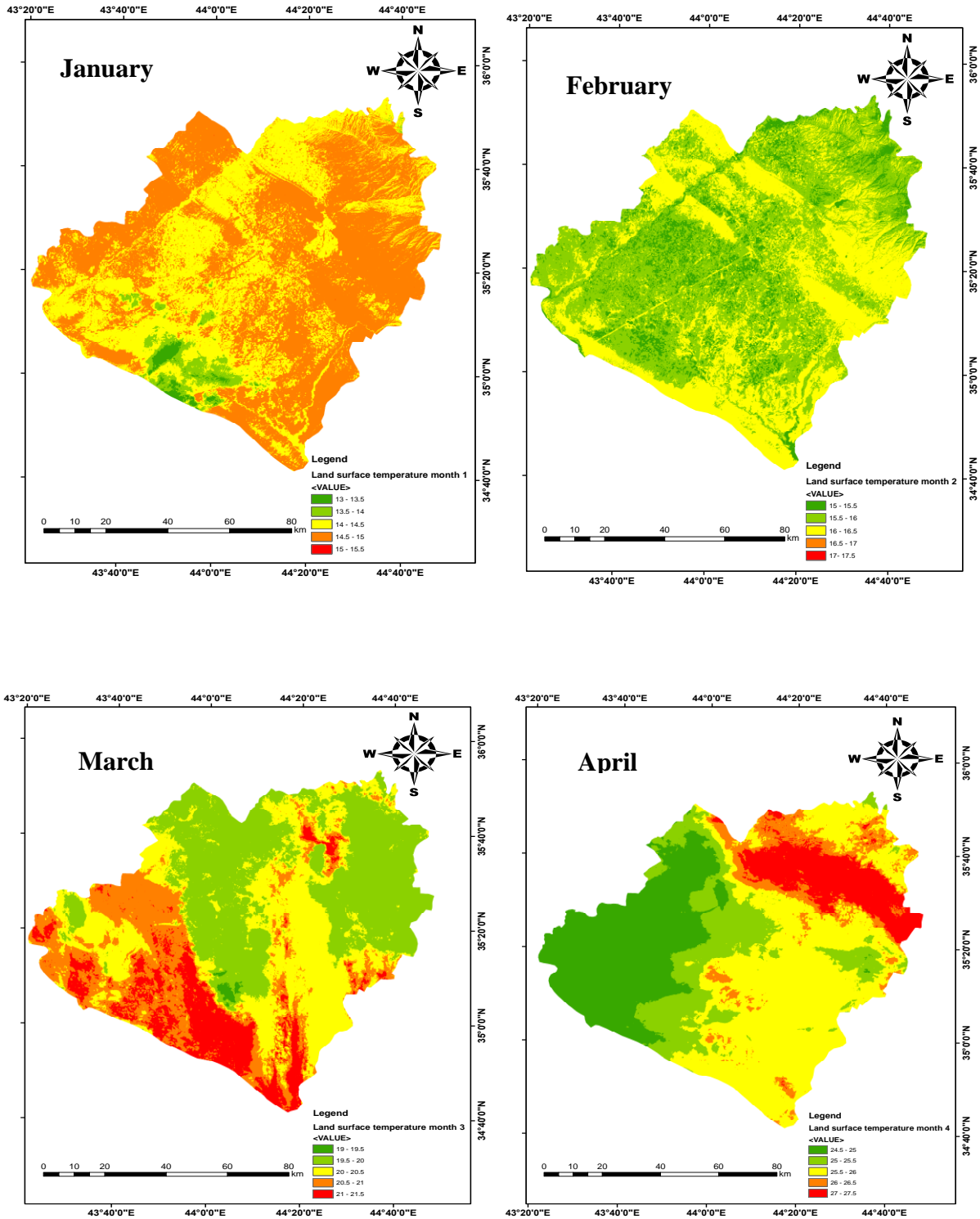


Fig. 4. Distribution of land surface temperature from January to April.

By April, the LST ranged from 17.2 °C to 19.1 °C, while the measured ground temperatures climbed to between 24.5 °C and 27.5 °C. In May, LST varied from 18.3 °C to 21.1 °C, but measured ground temperatures reached as high as 31.5 °C to 34°C. This month is critical as it marks the transition to summer, where the difference between LST and actual

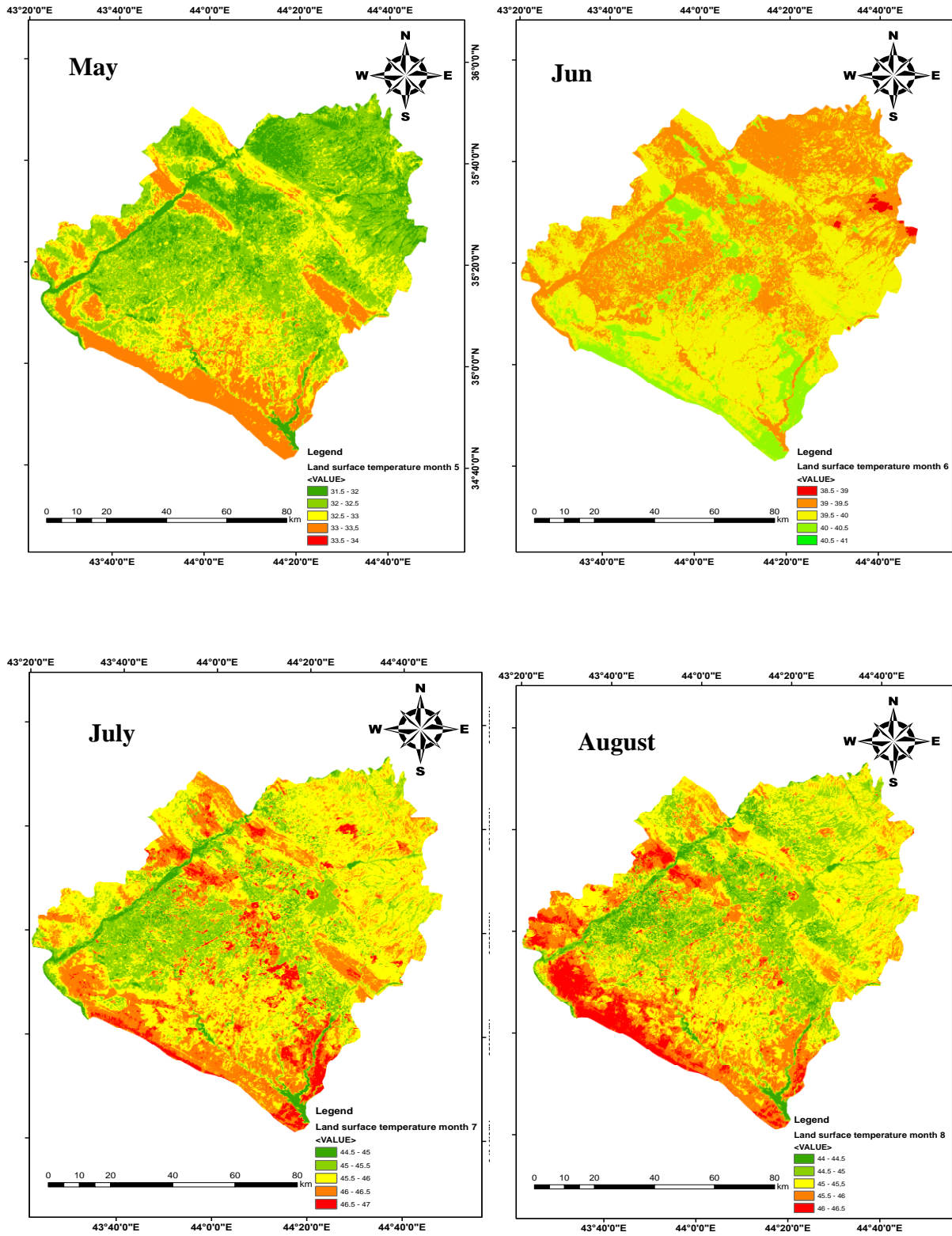


Fig. 5. Distribution of land surface temperature from May to August.

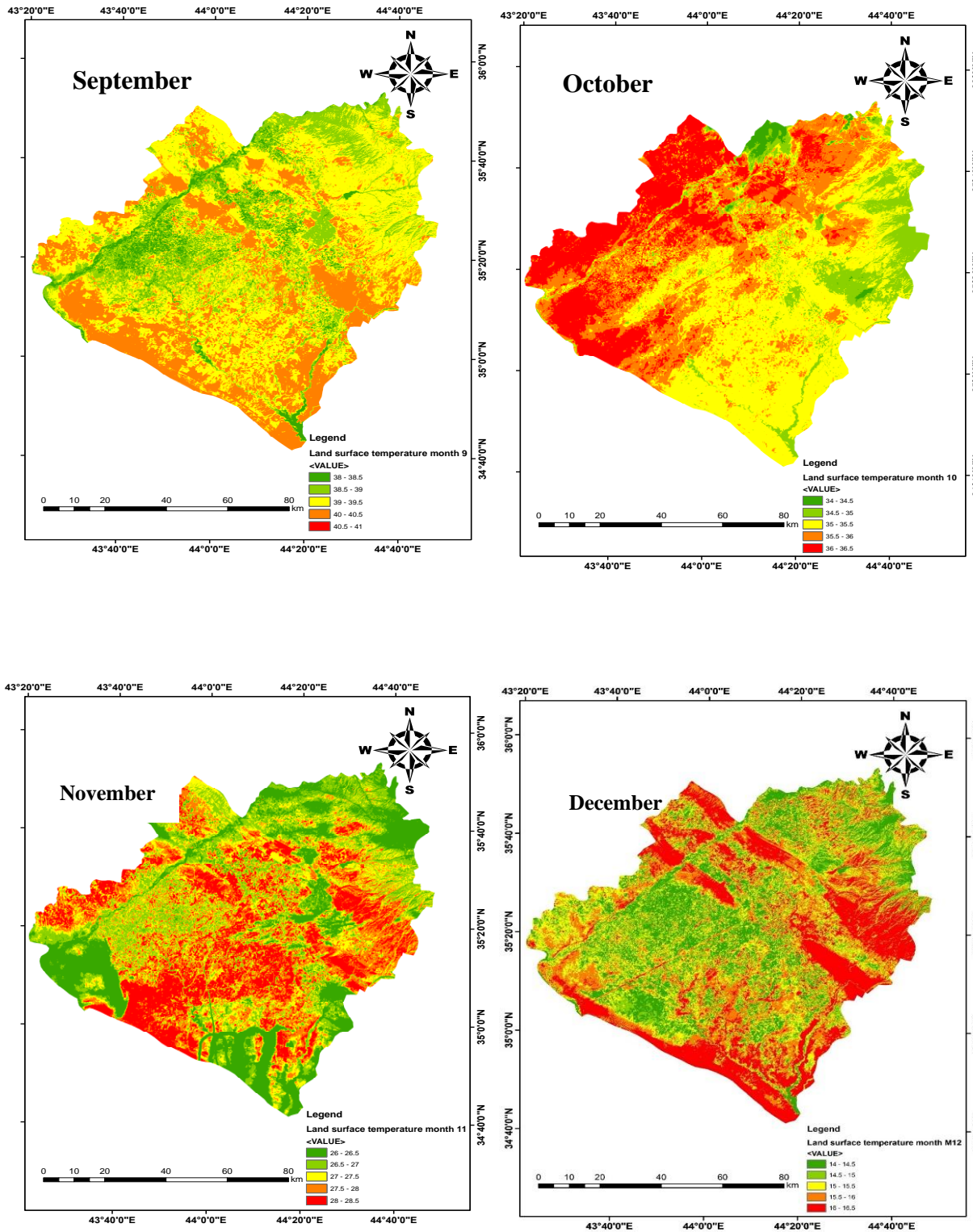


Fig. 6. Distribution of land surface temperature from September to December.

temperatures become even more pronounced (shown in Figure 4). For instance, in June, LST values ranged from 23.8°C to 25°C, while ground temperatures ranged from 38.5°C to 41°C. The highest divergence occurred in July and August, where satellite-derived LST ranged from 26.6°C to 29.4°C, but ground temperatures ranged from 44.5°C to 47°C in July and 44°C to 46.5°C in August (as shown in Figure 5).

In the latter half of the year, LST values begin to decrease, but still underestimate the actual measured temperatures. For instance, in September, the LST ranged from 26.1°C to 25°C, while ground measurements were recorded between 38°C and 41°C. Similarly, in October, LST values dropped to between 22.7°C and 20°C, while ground temperatures remained elevated, between 34°C and 36.5°C. In November and December, the gap between LST and measured temperatures becomes smaller again, with LST in November ranging from 15.5°C to 15°C, compared to measured temperatures of 26°C to 28.5°C. In December, LST values were recorded between 7.2°C and 6.1°C, while ground temperatures ranged from 14°C to 16.5°C, as shown in Figure 6.

The findings also underscore the impact of the UHI in the urban centre of Kirkuk, where higher LST values were recorded compared to surrounding rural areas. The dense built-up areas, concrete surfaces, and lack of greenery contribute to heat retention, exacerbating the UHI effect. In contrast, regions with significant vegetation cover and water bodies showed significantly lower LST values, supporting the cooling effects of evapotranspiration and the role of natural landscapes in temperature regulation.

Table 3: Land surface temperature ranges during the year with different areas.

Date	Land Surface Temperature										Total	%	Average LST
	>15 °C		15-20 °C		20-25 °C		25-30 °C		>30 °C				
	Area (m ²)	%	Area (m ²)	%	Area (m ²)	%	Area (m ²)	%	Area (m ²)	%			
2019/1/1	570	0.04	319627.2	24.46	771611	59.05	214390.4	16.41	511	0.04	1306710	100	22.10
2019/3/4	0	0.00	533633.6	40.84	621326	47.55	150589	11.52	1168	0.09	1306716.6	100	21.08
2019/6/7	3228	0.25	284694	21.79	695205	53.20	305309	23.36	18281	1.40	1306717	100	22.70
2019/8/5	123948	9.49	601129	46.00	455857	34.89	85484	6.54	31873	2.44	1298291	100	20.04
2019/10/3	3.96	0.00	254956	19.51	459033	35.13	523691	40.08	58343	4.46	1296027	100	23.99
2019/12/1	52	0.00	272896	20.88	525128	40.19	393385	30.11	115304	8.82	1306765	100	23.84

In summary, the results show a clear inverse relationship between LST and vegetation cover, with vegetation consistently mitigating surface temperatures. This highlights the importance of urban planning that incorporates green spaces and water features to alleviate the UHI effect. On the other hand, the UHI effect has a significant impact on LST, leading to higher temperatures in cities compared to rural areas. This occurs because urban environments are dominated by heat-absorbing materials like concrete, asphalt, and dense buildings, which retain heat and increase surface temperatures throughout the day and night.

One of the key findings is the inverse relationship between vegetation cover and LST. Areas with more greenery tend to have lower surface temperatures due to the cooling effects of shade and evapotranspiration. Plants release moisture into the air, which helps to lower temperatures and makes urban green spaces essential for reducing the UHI effect. Moreover, there is a strong connection between air temperature and land surface temperature (LST). When LST changes, it directly impacts the air temperature near the ground. The way they relate to each other can be described using either a simple linear equation or a more complex nonlinear equation, depending on various environmental and climate conditions.

Furthermore, the substantial difference between satellite-derived LST and measured temperatures suggests the need for improved remote sensing techniques or ground-based validation to ensure accurate temperature monitoring, particularly in extreme weather conditions. The increasing LST trends in Kirkuk due to global climate change further emphasize the necessity for proactive measures to combat rising temperatures and their environmental impacts. On average, there has been an increase of 1.74 °C in LST in the Indus delta over the past 27-year period, as shown in Table 2.

Variation in NDVI at different times in Kirkuk

The Kirkuk Governorate's NDVI indicator displays the time difference. It demonstrates that the greatest NDVI in 2019 was in January, with 0.725. This is because of the increase in the amount of rain. However, the seventh month of 2019 had the lowest NDVI, at 0.545. The

temporal change in the vegetation area is depicted by these NDVI measurements. In the figure, the brown color denotes water and arid regions with negative NDVI values, whereas the green color indicates positive NDVI values with green flora.

LST effect on vegetation

As seen in Figure (7), the correlation between LST and NDVI is used to evaluate the impact of LST on delta vegetation. With a coefficient of determination of $R^2 = 0.65$ and regression equation (5), it demonstrates a reasonable but unfavourable statistical link between NDVI and LST. Thus, as LST increased, NDVI decreased for the vegetation.

$$LST = -19.04 \times NDVI + 35 \quad (5)$$

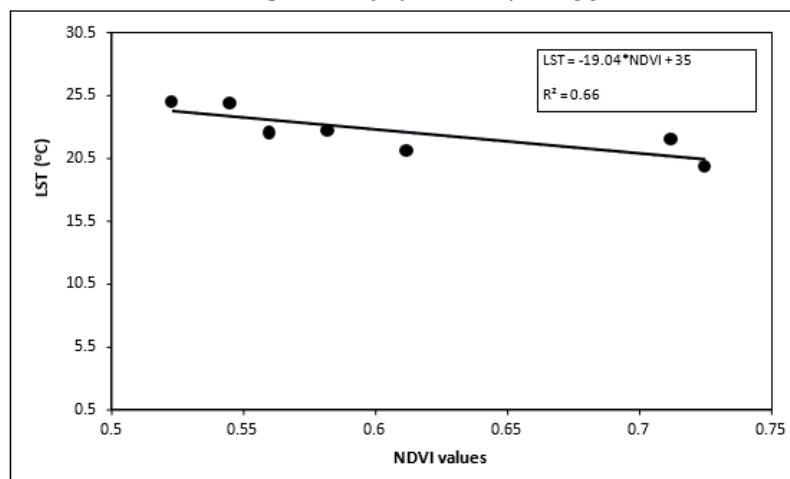


Fig.7. Relationship between NDVI and LST.

Conclusion

1. Land surface temperature (LST) in Kirkuk shows a significant variation throughout 2019, ranging from approximately 4.4°C in winter to over 46°C during peak summer months.
2. There is a clear inverse relationship between vegetation cover (measured by NDVI) and surface temperature, with greener areas exhibiting notably cooler temperatures due to natural shading and evapotranspiration.
3. Urban areas in Kirkuk experience significantly higher surface temperatures compared to rural and vegetated zones, demonstrating the urban heat island effect driven by dense construction and limited greenery.
4. Satellite-derived LST measurements tend to underestimate actual ground temperatures, especially during extreme heat, highlighting the need for complementary ground-based monitoring methods.
5. The increase in LST is influenced by urban expansion, changes in cropping patterns and global climate change, pointing to the importance of sustainable land use and urban planning.
6. The study underscores the need for integrating more green spaces and adopting adaptive land management strategies to mitigate heat effects and promote environmental sustainability in Kirkuk.

References

- Abdulrahman, M.I., Shareef, M.A., and Al-Attar, A.A., 2024. Deep Learning (CNN) For Detecting Road Infrastructure in Old Mosul City Using High-Resolution Aerial Imagery. *Baghdad Science Journal*. <https://doi.org/10.21123/bsj.2024.9449>

- Ahmed, K.A., 2014. Determination of Irrigated Field Units in North Al-Jazeera Irrigation Project Using Remote Sensing Data. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 21, 68-74.
- Amer, A., Al-Hadithi, M., and Shareef, M.A., 2023. Assessment Of Landslide Hazards Using GIS-Based Techniques: An Overview 2000-2020. *NTU Journal of Renewable Energy*, 4, 18-25. DOI:[10.56286/ntujre.v4i1.407](https://doi.org/10.56286/ntujre.v4i1.407)
- Aya, M.R. and Kadhim, A.A., 2024. Land Surface Temperature Estimation from Landsat Thermal Infrared Imagery in Karbala, Iraq. *Iraqi National Journal of Earth Science (INJES)*, DOI:[10.33899/earth.2024.144879.1179](https://doi.org/10.33899/earth.2024.144879.1179)
- Bagherzadeh, A., Hoseini, A.V., and Totmaj, L.H., 2020. The Effects of Climate Change on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Northeast of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 671-683. DOI:[10.1007/s40808-020-00724-x](https://doi.org/10.1007/s40808-020-00724-x)
- Bhagat, V.S., and Sonawane, K.R., 2011. Use of Landsat ETM+ Data for Delineation Of Water Bodies in Hilly Zones. *Journal of Hydroinformatics*, 13, 661-671.
- Chen, W., Zhang, Y., Gao, W., and Zhou, D., 2016. The Investigation of Urbanization and Urban Heat Island in Beijing Based on Remote Sensing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 216, 141-150.
- Green, K., Kempka, D., and Lackey, L., 1994. Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-Cover and Land-Use Change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 331-337.
- Hasan, S.F., Shareef, M.A., and Hassan, N.D., 2021. Speckle Filtering Impact on Land Use/Land Cover Classification Area Using the Combination of Sentinel-1a and Sentinel-2b (A Case Study of Kirkuk City, Iraq). *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 276.
- Hason, M.M., Abbood, I.S., and Aldeen Odaa, S., 2020. Land Cover Reflectance of Iraqi Marshlands Based on Visible Spectral Multiband of Satellite Imagery. *Results In Engineering*, 8, 100167.
- Jaber, H.S., Shareef, M.A., and Merzah, Z.F., 2022. Object-Based Approaches for Land Use-Land Cover Classification Using High Resolution Quick Bird Satellite Imagery (A Case Study: Kerbela, Iraq). *Geodesy And Cartography*, 48, 85–91-85–91.
- Jia, T., Yang, K., Peng, Z., Tang, L., Duan, H., and Luo, Y., 2022. Review on the Change Trend, Attribution Analysis, Retrieval, Simulation, and Prediction of Lake Surface Water Temperature. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 6324-6355. DOI:[10.1109/JSTARS.2022.3188788](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3188788)
- Kabir, E.B., Bashari, H., Bassiri, M., and Mosaddeghi, M.R., 2020. Effects Of Land-Use/Cover Change on Soil Hydraulic Properties and Pore Characteristics in a Semi-Arid Region of Central Iran. *Soil and Tillage Research*, 197, 104478.
- Kleynhans, T., Montanaro, M., Gerace, A., and Kanan, C., 2017. Predicting Top-of-Atmosphere Thermal Radiance Using Merra-2 Atmospheric Data with Deep Learning. *Remote Sensing*, 9, 1133.
- Kumar, K.S., Bhaskar, P.U., and Padmakumari, K., 2012. Estimation Of Land Surface Temperature to Study Urban Heat Island Effect Using Landsat ETM+ Image. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4, 771-778.
- Lambin, E.F., and Ehrlich, D., 1996. The Surface Temperature-Vegetation Index Space for Land Cover and Land-Cover Change Analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 463-487.

- Mahmood, F. and Ali, A., 2014. Using Remote Sensing Techniques to Assess Land Use/Land Cover Change in Laylan Sub-District, Kirkuk Province, Iraq. *Iraqi Journal of Science*, 55, 845-851.
- Malik, M.S., Shukla, J.P., and Mishra, S., 2019. Relationship of LST, NDBI, and NDVI Using Landsat-8 Data in Kandaihimmat Watershed, Hoshangabad, India.
- Markham, B. L., Arvidson, T., Barsi, J. A., Choate, M., Kaita, E., Levy, R., Lubke, M., and Masek, J. G. 2016. Landsat Program. Elsevier Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
- Mohammed, P.A., Al Nuaimy, Q.A., and Shareef, M.A., 2024. Analyzing Soil Physical Properties in Kirkuk City, Iraq, Utilizing A Geographic Information System-Based Inverse Distance-Weighted Technique. *Ecological Engineering and Environmental Technology (EET)*, 25. DOI:[10.12912/27197050/192346](https://doi.org/10.12912/27197050/192346)
- Mukherjee, F., and Singh, D., 2020. Assessing Land Use–Land Cover Change and its Impact on Land Surface Temperature Using Landsat Data: A Comparison of Two Urban Areas in India. *Earth Systems and Environment*, 4, 385-407.
- Roznik, M., Boyd, M., and Porth, L., 2022. Improving Crop Yield Estimation by Applying Higher Resolution Satellite NDVI Imagery and High-Resolution Cropland Masks. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100693.
- Salahalden, V., Shareef, M., and Al Nuaimy, Q., 2024a. Assessment of Deposited Red Clay Soil in Kirkuk City Using Remote Sensing Data and GIS Techniques. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23. DOI:[10.46488/NEPT.2024.v23i02.001](https://doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i02.001)
- Salahalden, V.F., Shareef, M.A., and Al Nuaimy, Q.A., 2024b. Red Clay Soil Physical and Chemical Properties Distribution Using Remote Sensing and GIS Techniques in Kirkuk City, Iraq. *The Iraqi Geological Journal*, 194-220.
- Shamsuzzoha, M., Noguchi, R., and Ahamed, T., 2021. Damaged Area Assessment of Cultivated Agricultural Lands Affected by Cyclone Bulbul in Coastal Region of Bangladesh Using Landsat 8 OLI and TIRS Datasets. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100523.
- Shareef, M., Hassan, N., Hasan, S., and Khenchaf, A., 2020. Integration of Sentinel-1a and Sentinel-2b Data for Land Use and Land Cover Mapping of the Kirkuk Governorate, Iraq. *International Journal of Geoinformatics*, 16.
- Shen, Q., Wang, H., Shum, C., Jiang, L., Hsu, H., Gao, F., and Zhao, Y., 2021. Antarctic-Wide Annual Ice Flow Maps from Landsat 8 Imagery Between 2013 and 2019. *International Journal of Digital Earth*, 14, 597-618.
- Sruthi, S., and Aslam, M.M., 2015. Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data: A Case Study of Raichur District. *Aquatic Procedia*, 4, 1258-1264.
- Stathi, E., Kastridis, A., and Myronidis, D., 2023. Analysis of Hydrometeorological Characteristics and Water Demand in Semi-Arid Mediterranean Catchments Under Water Deficit Conditions. *Climate*, 11, 137. DOI:[10.3390/cli11070137](https://doi.org/10.3390/cli11070137)
- Taheri, M., Mohammadian, A., Ganji, F., Bigdeli, M., and Nasser, M., 2022. Energy-Based Approaches in Estimating Actual Evapotranspiration Focusing on Land Surface Temperature: A Review of Methods, Concepts, and Challenges. *Energies*, 15, 1264.
- Tahooni, A., Kakroodi, A.A., and Kiavarz, M., 2023. Monitoring of Land Surface Albedo and its Impact on Land Surface Temperature (LST) Using Time Series of Remote Sensing Data. *Ecological Informatics*, 75, 102118. DOI:[10.1016/j.ecoinf.2023.102118](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102118)

contents

Mechanism of Hydrothermal Dolomitization in Shallow and Deep Burial Diagenesis: Implication for Hydrocarbon Migration in the Cretaceous Formation, NE-Iraq	
Zana Muhammad, Namam Salih, Alain Preat.....	1
Appraisal of Nitrate Levels in Water Wells in Egyptian Fertilizers Company Headquarter, Ain Sukhna, Northwestern Gulf of Suez, Egypt	
Ahmed A. Asmoay.....	26
Assessment of Air Contamination in Mosul University Campus Using Remote Sensing and GIS Techniques	
Alaa N. Hamdon, Sabah H. Ali , Abdalrahman R. Qubaa , Hikmat S. Al-Daghistan	36
Study of Geotechnical Characteristics for The Deposits of The Samarra Dam Reservoir and The Upper Tigris Tharthar Arm Area and Their Engineering Suitability	
Amany Mahmood, Abdulsalam Mehdi Salih	52
Riverbank Erosion Using GIS and Remote Sensing Along the Greater Zab River in Iraq	
Rahel Hamad.....	68
Estimating Digital Clay Texture of Mesopotamian Models From 2D Images Using Deep Learning to Render Full- Immersive Virtual Reality (VR)	
Ali Salim Rasheed.....	88
Permeability Estimation Using HFU Method Enhanced by Bootstrap Forest AI-Approach for FZI Prediction in Mishrif Reservoir, Southern Iraq	
Layth H. Abd Ali , Sameera Hamd-Allah	102
Earthquake Distributions in Sulaimaniyah, North of Iraq	
Suad Mohammed Ali, Hanan Abdulqader Darweesh, Iman Malallah Jaafar.....	115
Integrated Geospatial Analysis of Geomorphometric Characteristics in the Hasab Watershed's Drainage Network, Iraqi Southern Desert	
Bashar F. MaarooF , Hashim H. Kareem , Jaffar H. Al-Zubaydi , Manal Sh. Al-Kubaisi , Ban AL- Hasani , Mawada Abdellatif , Iacopo Carnacina	124
Neural Network and Empirical Models of Mamuniyat Reservoir Permeability Prediction, Murzuq Basin-Libya	
Bahia M. Ben Ghawar , Fathi M. Salloum, Mahmud A. Al Tarhouni.....	143
Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Estimate the Groundwater Quality Index in Telkaif, Iraq	
Alaa Jassim Mohammed Al-Taie, Raghed Yousif Ghazal, Mohammed Hazim Sabry Al-Mashhadany.....	156
Slope Stability Analysis with Rainfall and Earthquake Effects on Limestone Formations: A Case Study in Gorontalo Outer Ring Road Section, Indonesia	
M. N Baruadi , Hendra Pachri, Ilham Alimuddin.....	169
Integrating Remote Sensing Techniques and Geographic Information Systems to Assess the Environmental Impacts of Urban Sprawl on Agricultural Lands: A Case Study from Suq Al-Shuyoukh City, South of Iraq	
Hamid D. Hani.....	181
Geotechnical Evaluation of Soil in Taza District, Southeast of Kirkuk, Iraq: Correlation Between Chemical and Some Physical Properties	
Mohammed S. Ahmed, Burkan S. Othman, Fouad A. Al-jalabi.....	196
Study of the Physical and Chemical Properties of Phosphogypsum Used in the Manufacture of Gypsum Board and Plaster	
Nour I. Al-Nuaimi, Kotayba T. Al-Youzbakey.....	213

Dynamics of Land Use and Land Cover Changes and Their Impact on Surface Temperature in Domkal Block, West Bengal,

India

Woheul Islam, Md. Mustaqim, Hasib Hasan.....225

Mineralogical Components of the Upper Jurassic Naokelekan Formation from Northeastern Iraq

Sumaya Asghar Samad, Hasan A. Ali Al-Jumaily , Ali Ismail Al-Juboury , Harry Rowe, Giovanni Zanoni, Rebwar H. Rasool,

Arkan O. Sharazwri..... 245

Engineering Site Classification for Hilla City's Nadir Highway Project, Iraq: A Novel Correlation of Shear Wave Velocity and N-SPT Value

Abdul-Kareem H. Al-Rubaiee, Mohanad R. AOwaidi.....260

Biostratigraphic Analysis of Middle to Late Eocene Palynomorphs from The Upper Gercus Formation, Dohuk Area, Northern Iraq

Ali H. Al-Atrushe , Maha A.M. Al-Hasson.....275

Spatio-temporal Assessment and Prediction of Land Surface Temperature (LST) Dynamics of Kirkuk City Using GIS Techniques

Sumaya Falih Hasan, Mustafa Raad Hameed, Banaz Adib Fatah, Muntadher Aidi Shareef.....287

Editor-in- Chief

Prof. Dr. Rayan Ghazi Thannoun

Managing Editor

Assistant Prof. Dr. Azealdeen Salih Al-Jawadi

Editorial Board

Prof. Dr. Majid Majdi Al- Mutwali

Prof. Dr. Moez Ben Fadhel (Tunisia)

Prof. Dr. Haji Rahab (Algeria)

Prof. Dr. Sherif Farouk (Egypt)

Prof. Dr. Ezzadin N. Baban

Prof. Dr. Basem Sayed Nabawy (Egypt)

Prof. Dr. Alain Preat (Belgium)

Prof. Dr. Masdouq M. Al-Taj (Jordan)

Prof. Dr. Sawsan Hameed Faisal Al-Hazaa

Prof. Dr. Sattar Gabar Rasheej Al-khafagi

Prof. Dr. Rafee Ibraheem Al Hamedi

Assistant Prof. Dr. Aahed Younis Al-Mallah

Assistant Prof. Dr. Mohammed Fawzy Omer

Assistant Prof. Dr. Namam Mohammed Saleh

Assistant Prof. Dr. Omar Abdullah Ismail

Assistant Prof. Dr. Falah Abdul M. Al-Maamari

Dr. Haitham I. Hamid

Assistant Prof. Dr. Saddam Essa Al-khatony

Assistant Professor Dr. Mehdi Rahnama (Iran)

Assistant Professor Dr. Rashid Pourmirzaei (Iran)

Assistant Professor Dr. Bashar Aziz Mahmoud

Managing the Electronic System of the Magazine

Assistant Prof. Dr. Saddam Essa Al-Khatony

Technical Affairs, Coordination, and Publication

Myasar Samir Mahmoud Al-Siraj

Management Coordinator: Saja Salim Abd AL-Hade

Published by: College of Science / University of Mosul

p-ISSN: 1682-3222

e-ISSN: 2664-2816

E-mail: injes@uomosul.edu.iq

Website: <http://www.iasj.net>

<https://earth.uomosul.edu.iq/>

Mobile: 009647701610916