



تقييم الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في المنطقة المحاذية لمشروع ري كركوك

مهند عيسى خضر^{1*}، صبار عبدالله صالح²، عمر صباح ابراهيم³^{1,2} قسم علوم الأرض التطبيقية، كلية العلوم، جامعة تكريت، تكريت، العراق.³ قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

المخلص

تقع منطقة الدراسة في محافظة كركوك على امتداد المنطقة المحاذية لجانب مشروع ري كركوك ابتداءً من سدة الدبس وصولاً الى نهاية قضاء طوز خورماتو وبمساحة تقدر بحوالي (220 كم²) بين خطي طول (41°00'00" و 46°50'00") ودائرتي عرض (38°50'00" و 39°40'00"). تراوحت اعماق ومناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة ما بين 4 و 36 متراً و 178-262 متراً على التوالي. تم جمع (15) نموذجاً مائياً من مياه الآبار في منطقة الدراسة، وتم إجراء الفحوصات الفيزيائية والكيميائية عليها، وهي قيم الأس الهيدروجيني (pH) التي تراوحت ما بين (6.5 و 8.5)، وقيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) ما بين (429 و 1732 ppm)، وتراوحت قيم التوصيلة الكهربائية (EC) ما بين (2706 و 671 µs/cm)، فيما كانت قيم تراكيز الأيونات الرئيسية الموجبة وهي أيون الكالسيوم (Ca+2) ما بين (313.60-85.38 ppm)، وأيون الصوديوم (+Na) ما بين (43.18 و 205.43 ppm)، وأيون المغنيسيوم (Mg+2) ما بين (142.18 و 29.34 ppm)، وأيون البوتاسيوم (K+) ما بين (27.99 - ppm) و (8.28 ppm). كما تراوحت قيم تراكيز الأيونات الرئيسية السالبة وهي أيون الكبريتات (SO4-2) ما بين (680 و 19 ppm)، وأيون الكلوريد (-Cl) ما بين (692 و 63 ppm)، وأيون البيكربونات (-HCO3) ما بين (220.66 و 77.76 ppm). أما المكونات الثانوية، وهي أيون النترات (-NO3) فتراوحت تراكيزها ما بين (8.66 و 4.16 ppm)، وايون الفوسفات (PO4-3) ما بين (2.15 و 0.78 ppm). أما فيما يخص تصنيف المياه فقد استخدم في هذه الدراسة تصنيف بايير (1944)، وتصنيف ستيف (Stiff) وتصنيف Gibbs حيث صنفت المياه حسب تصنيف بايير (1944) على إنها مياه قلووية أرضية مع الكبريتات السائدة أو كلوريد المياه القلوية الأرضية مع زيادة جزء القلوويات. وبالنسبة لتصنيف ستيف (Stiff) يتبين أن أيون الكالسيوم وأيون المغنيسيوم في مقدمة تراكيز المكونات الموجبة الرئيسية، في حين ان أيون الكلوريد وأيون الكبريتات هما السائدان بالنسبة لتراكيز المكونات السالبة الرئيسية.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 15-ابريل-2024

تاريخ المراجعة: 17-مايو-2024

تاريخ القبول: 21-يونيو-2024

تاريخ النشر الالكتروني: 01-يوليو-2025

الكلمات المفتاحية:

مشروع ري كركوك

هيدروكيميائية

مياه جوفية

الأيونات الرئيسية الموجبة

المراسلة:

الاسم: مهند عيسى خضر

Email: Mohanaddroesh@tu.edu.iq

Assessment of the Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Vicinity of Kirkuk Irrigation Project

Mohanad Essi Khudher ^{1*} , Sabbar Abdullah Saleh ² , Omar Sabah Ibrahim ³ 

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

³ Department of Earth Sciences, College of Science, Kirkuk University, Kirkuk, Iraq.

Article information

Received: 15- Apr -2024

Revised: 17- May -2024

Accepted: 21- June -2024

Available online: 01- Jul – 2025

Keywords:

Kirkuk irrigation project
Hydrochemical
Groundwater
Cation Major Ions

Correspondence:

Name: Mohanad Essa Khudhur

Email:

Mohanaddroesh@tu.edu.iq

ABSTRACT

The study area is located in Kirkuk Governorate along the area adjacent to both sides of the Kirkuk irrigation project, starting from Debs Dam to the end of Tuz Khurmatu district, with an area of about 220 km². It is situated between longitudes (46°50'00" and 41°00'00") and latitudes (38°50'00" and 39°40'00"). The depths and groundwater levels in the study area (Debs and Tuz Khurmatu) range between 4-36 m and 178-262 m, respectively. Fifteen water samples are collected from well waters in the study area, and their physical and chemical tests are carried out. The pH values range between 6.5-8.5, total dissolved solids (TDS) values between 1732-429 ppm, and the values of the electrical conductivity (EC) range between 671– 2706 µs/cm. The values of the major cation's concentrations: calcium ion (Ca²⁺) between (313.60-85.38 ppm), sodium ion (Na⁺) between (43.18–205.43 ppm), magnesium ion (Mg²⁺) between (142.18–29.34 ppm) and potassium ion (K⁺) between (27.99–8.28 ppm). The values of the concentrations of the major anions: sulfate ion (SO₄²⁻) range from (680-19 ppm), chloride ion (Cl⁻) between (692–63 ppm), and bicarbonate ion (HCO³⁻) between (220.66– 77.76 ppm). As for the secondary components concentrations: nitrate ion (NO₃⁻) ranges between (8.66–4.16 ppm) and phosphate ion (PO₄³⁻) between (2.15–0.78 ppm). As for water classification, the Piper (1944) and Stiff and Gibbs classifications are used in this study. According to Piper's (1944) classification, the waters are classified as alkaline earth waters with predominant sulphates or chlorides, or alkaline earth waters with an increased alkali fraction. As for the Stiff classification, it turns out that the ion (Ca²⁺) and the ion (Mg²⁺) are the dominant major cations, while the chloride ion and the sulfate ion are the dominant major anions.

DOI: [10.33899/earth.2024.148833.1270](https://doi.org/10.33899/earth.2024.148833.1270), ©Authors, 2025, 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

تُعَدُّ المياه الجوفية أحد المصادر الأساسية في العديد من البلدان حول العالم لتوفير المياه للمدن والمناطق الحضرية للاستخدامات المنزلية والزراعية والصناعية نظرًا لنقص المياه السطحية وكميات الأمطار. لذلك، يجب الحفاظ على جودة وكمية المياه الجوفية. كانت الكثير من المناطق في كركوك تعتمد على الأمطار في الزراعة، إلا أن ندرة مياه الأمطار في الآونة الأخيرة أدت إلى الاعتماد على المياه الجوفية بشكل كبير للري (Dhahir, 2023). كما وأن أي دراسة لتقييم مصادر المياه الجوفية، فإن نوعية المياه (خصائصها الكيميائية والفيزيائية) لا تقل أهمية عن كمية تلك المياه (Al-, 2014). (Abaechi

تتحكم العديد من العوامل في التركيب الكيميائي والمعدني للمياه السطحية والمياه الجوفية، ومن هذه العوامل نوعية المياه نفسها ومصدرها والمناخ، والطوبوغرافيا. تجتمع هذه العوامل معًا لإنتاج أنواع متنوعة من المياه التي تتغير مكانيًا وزمنيًا (Güler et al., 2002). وبالتالي، يمكن العثور على تباين كبير حتى في نفس المنطقة، خاصة في المناطق التي تحتوي على صخور ذات تركيبات وقابلية ذوبان مختلفة. كما وأن التقارير تشير إلى أن الحروب القادمة سوف تكون بسبب المياه، لأن الماء بالرغم من كونه ضروريًا للحياة، فقد يكون السبب في القضاء عليها إذا كان ملوثًا (WHO, 2017).

تؤثر جودة المياه الجوفية بشكل كبير على آثار الأنشطة البشرية التي تسبب تلوثاً لسطح الأرض لأن معظم المياه الجوفية تنشأ من خلال إعادة شحن مياه الأمطار المتسربة من السطح (WHO, 1996).

الهدف من الدراسة هو إجراء تقييم هايدروكيميائي لنوعية المياه الجوفية وتصنيف نوعية هذه المياه.

موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة شمالي العراق في محافظة كركوك على طول المنطقة المحاذية لمشروع ري كركوك ابتداءً من مدينة الدبس وصولاً الى حدود قضاء طوز خورماتو مع قضاء سليمان بيك بين خطي طول ($41^{\circ}00'00''$ و $46^{\circ}50'00''$) ودائرتي عرض ($38^{\circ}50'00''$ و $39^{\circ}40'00''$) (شكل 1).



شكل 1. خريطة موقعه مبين عليها مواقع الابار المدروسة ومسار مشروع ري كركوك وموقع سدة الدبس.

جيولوجية منطقة الدراسة

تم تحديد جيولوجية منطقة الدراسة بالاعتماد 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 الكتونين بسمكه الكبير. تعود فترة تكوينه إلى المايوسين الأوسط

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 الى المايوسين الأعلى

تكوين مقدادية: Mukdadiya Formation

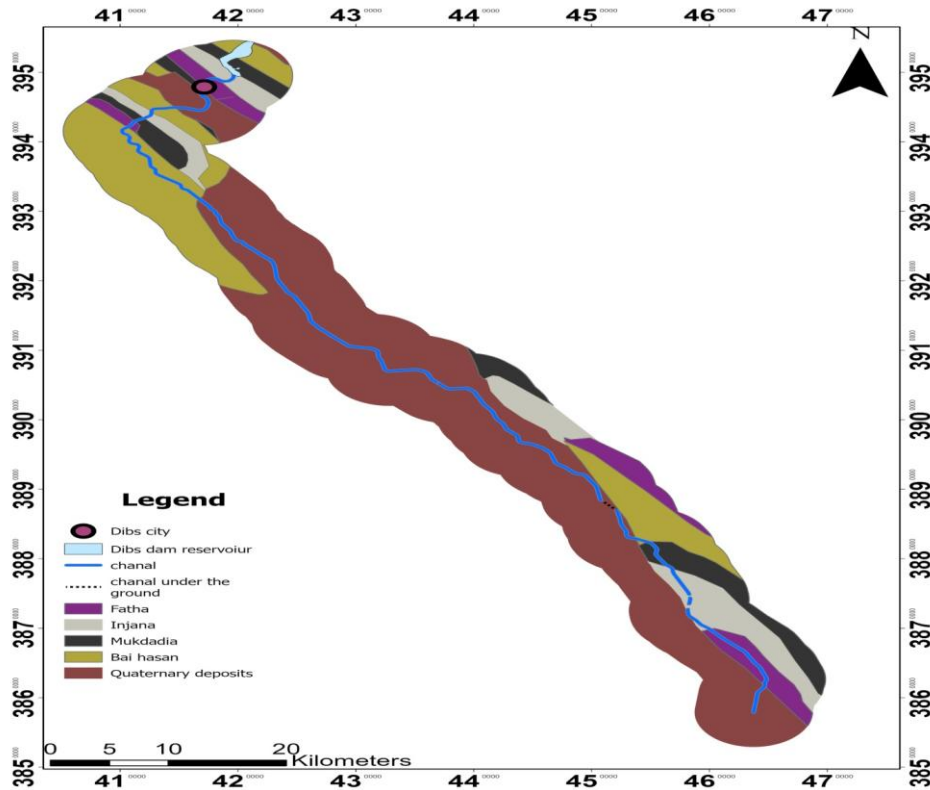
يبدأ تكوين مقدادية عادةً بالحجر الرملي الحصوي. يتميز بطبقات سميكة من الحجر الرملي والطين الرملي بكونها سمة مميزة لهذا التكوين. يمكن ملاحظة نقصان في حجم الحبيبات جزئياً على طول محور منطقة الترسيب الرئيسية (Buday, 1980). عمر التكوين يعود إلى أواخر العصر الميوسين

تكوين باي حسن: Bai Hassan Formation

يتألف تكوين باي حسن 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

ترسبات العصر الرباعي: Quaternary Sediments

تتألف ترسبات العصر الرباعي 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، نظرًا لتشابه تركيبهما الصخري وغياب الأحافير في كلتا الودعتين. سمك الرواسب الرباعية متغير ويغطي معظم مساحة منطقة الدراسة. عمر هذه الرواسب يمتد من البليستوسين إلى الهولوسين.



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

المواد وطرائق العمل

تم اجراء جولات استطلاعية، ففي الجولة الأولى تم التعرف على جيولوجية المنطقة بصورة عامة، اما الجولة الثانية، فقد تم خلالها تحديد مواقع الابار المنتخبة للدراسة. وفي الجولة الثالثة بدأت عملية النمذجة من الابار التي تم تحديدها مسبقا. تم جمع عينات المياه الجوفية من 15 موقعا (بئراً) والمبينة مواقعها في الشكل (1). تمت عملية جمع

النماذج من الآبار بقناني بلاستيكية ذات سعة (1) لتر من كل بئر، أي أن مجموع العينات المأخوذة هي (15) عينة. وقبل اخذ العينات من الآبار تم غسل القنينة بماء البئر بشكل جيد قبل ملئها ومن ثم أخذ العينة بعد تشغيل المضخة لمدة لا تقل عن (25) دقيقة لغرض التأكد بأن المياه التي تم اخذها تمثل مياه الخزان الجوفي، ويتم ملؤها ببطء لتجنب حدوث عكوره أو فقاعات، مع تثبيت أسم صاحب البئر ورقم البئر وتاريخ أخذ النموذج وجهة الحفر، ومن ثم حفظ العينات في حاوية باردة وبعيدا عن اشعة الشمس لكيلا تطرأ عليها أي تغيرات نوعية ومن ثم نقلها إلى المختبر. تم اجراء القياسات الفيزيائية والتحليل الكيمائية للعينات المائية التي تم جمعها من آبار منطقة الدراسة في مختبرات قسم الهندسة الكيمائية، كلية الهندسة، جامعة تكريت وفقاً للإجراءات التحليلية القياسية.

الدقة Precision

وهي عملية إحصائية تبين اختبار مدى ملائمة وقرب النتائج من قيمها الفعلية، ويمكن أن تقاس بوساطة التوازن الأيوني (Ionic Balance) بوحدة (epm) باعتبار أن تراكيز العناصر الثانوية قليلة وغير مؤثرة عند الاعتماد عليها في التفسيرات الخاصة بالصفات الهيدروكيميائية، إذ يتم ذلك بقياس الفرق النسبي (Relative Difference) ويقصد به الفرق الحاصل في مجموع الأيونات الرئيسية السالبة والموجبة على المجموع الكلي لتلك الأيونات (Hem, 1985) وكما يأتي:

$$\%E = \frac{\sum r. Cat - r. Ani}{\sum r. Cat + r. Ani} * 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$A = 100 - \%E$$

إذ أن، $\%E$: النسبة المئوية للخطأ؛ $\sum r. Cat$: مجموع تراكيز الأيونات الموجبة بوحدة (epm)؛ $\sum r. Ani$: مجموع تراكيز الأيونات السالبة بوحدة (epm)؛ A : دقة التحليل.

يوضح الجدول (1) نتائج حساب الدقة للنماذج المدروسة.

وبالاعتماد على قيمة (A) يؤخذ القبول أو الرفض للتحليل وكما يلي (Hem, 1989) (جدول 2):

- 1- إذا كانت قيمة $A = 95-100$ وتعني دقة عالية ويمكن اعتماد التحليل.
- 2- إذا كانت قيمة $A = 90-94$ تعني هذه استخدام التحليل بحذر.
- 3- إذا كانت قيمة $A > 90$ فهذا يعني لا يمكن استخدام نتائج التحليل.

يبين الجدول (1) النسبة المئوية للخطأ ودقة التحليل للمياه الجوفية والسطحية في منطقة الدراسة.

جدول 1: النسبة المئوية للخطأ وصحة نتائج التحاليل الكيمائية لمياه الآبار في منطقة الدراسة.

No. of Sample	E (%)	A	Destines (m)
1	3	97	230
2	4.8	95.2	1.991
3	4.5	95.5	2.149
4	5.5	94.5	1.687
5	3.5	96.5	1.413
6	4.8	95.2	1.733
7	4.7	95.3	2.133
8	4.3	95.7	1.465
9	5.5	94.5	1.691
10	3.3	96.7	606
11	5.4	94.6	271.1
12	4.8	95.2	2971
13	3.6	96.4	432
14	4.6	95.4	48
15	4.9	95.1	606

وعند مقارنة النسبة المئوية للخطأ مع الجدول (2) وجد إن النماذج المائية في منطقة الدراسة تقع ضمن الحدود المسموح بها لصحة التحاليل، وبذلك يمكن الاعتماد عليها في التفسيرات الهيدروكيميائية.

جدول 2: تصنيف الصحة للتحاليل الكيميائية

النتيجة	صحة التحليل	A الصحة	E الخطأ النسبي
أكيد	Certain	$A \geq 95\%$	$E \leq 5\%$
محتمل أكيد	Probable certain	$90\% \leq A \leq 95\%$	$10\% \geq E \geq 5\%$
غير أكيد	Uncertain	$90\% < A$	$E > 10\%$

النتائج والمناقشة

من أجل فهم هيدروكيميائية المياه الجوفية في المنطقة المدروسة وتقييمها للأغراض والاستخدامات المختلفة، تم إجراء تحاليل لعينات المياه الجوفية من الآبار المنتخبة. وقد تمت مناقشتها بالملاحظات التالية وفق المعايير المختلفة.

الصفات الفيزيائية للمياه الجوفية

الأس الهيدروجيني (pH)

يمثل الأس الهيدروجيني للمحلول قيمة عددية لوغارتمية مقلوبة لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول والمراد قياس دالته الحامضية أو القاعدية (Boyd, 2000) حيث:

$$pH = -\log [H^+]$$

تكون قيمة الأس الهيدروجيني للمياه النقية متعادلة عندما $[OH^-] = [H^+]$ ، أي إن $pH = 7$.

تتراوح قيم الأس الهيدروجيني للمياه الجوفية في الطبيعة عموماً ما بين (6.5-8.5) مع احتمالية وجود قيم أقل من (6.5) لبعض مياه الينابيع الحارة (Boyd, 2000).

وتراوحت قيم الـ (pH) في نماذج مياه الآبار قيد الدراسة ما بين (7.82 – 8.02) (جدول 3).

المواد الصلبة الذائبة الكلية (Total Dissolved Solid (TDS)

تعرف المواد الصلبة الذائبة الكلية على إنها الكمية الكلية للمواد المتبقية من عملية التبخر للنموذج المائي حينما يصل لدرجة الجفاف (Hem, 1985)، وقد وصفها (Boyd, 2000) بأنها المواد التي تمر من خلال ورقة الترشيح (0.2 μm) أو من خلال المسامات الدقيقة.

تراوحت قيم (TDS) في نماذج مياه الآبار في منطقة الدراسة ما بين (429 ppm – 1732 ppm)، وقد لوحظ وجود تفاوت كبير في تراكيز الـ TDS ويعود السبب في ذلك إلى عدة عوامل وهي تباين ليجولوجية المنطقة، وكذلك الانحدار وطوبوغرافية سطح الأرض، والذي انعكس على ملوحة المياه الجوفية، بحيث أعطى هذا المدى الكبير من التفاوت في القيم (جدول 3).

التوصيلية الكهربائية (Electrical Conductivity (EC)

هي مقياس قدرة المياه على توصيل التيار الكهربائي من خلال حاملات الشحنة الأيونية، ترتبط بسهولة التي يتحرك بها التيار عبر الماء بكمية الأيونات المذابة (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) السائدة (Nag and Suchetana, 2016). تراوحت قيم التوصيلية الكهربائية في نماذج مياه الآبار في منطقة الدراسة ما بين (671 $\mu S/cm$ – 2706 $\mu S/cm$)، ويلاحظ زيادة قيم التوصيلية الكهربائية بزيادة كمية الأملاح المذابة (جدول 3). تكون العلاقة بينهما خطية حسب (Liñán Baena et al., 2008).

الجدول 3: قيم الصفات الفيزيائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.

النموذج	pH	TDS Ppm	EC μ mhos/cm
1	7.98	1347	2104
2	7.94	1436	2279
3	7.95	1273	1989
4	7.97	1362	2128
5	8.02	1732	2706
6	7.92	903	1411

1249	799	7.88	7
1295	829	7.94	8
1272	814	7.93	9
1642	1051	7.99	10
1457	932	7.86	11
1179	755	7.89	12
1318	844	7.82	13
879	562	7.85	14
671	429	7.86	15

الأيونات الرئيسية Major Ions

الأيونات الموجبة الرئيسية Major Cations

يكون وجود الأيونات الموجبة الرئيسية في المياه الجوفية على نوعين هما أيونات العناصر القلوية التي تشمل أيوني البوتاسيوم (K^+) والصوديوم (Na^+)، وأيونات العناصر القلوية الأرضية والتي تشمل أيوني الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}).

أيون الكالسيوم Calcium Ion (Ca^{2+})

يعد الكالسيوم أحد الكتيونات الرئيسية في المياه الجوفية، ويأتي أيون الكالسيوم من التجوية الكيميائية للصخور والمعادن الحاوية على هذا الأيون مثل البايروكسين والامفيبول والفلدسبار في الصخور النارية والكالسايت والدولومايت والاراغونايت والجبسوم في الصخور الرسوبية، وتعد المعادن الطينية هي الأخرى مصدراً لهذا الأيون (Todd, 2005)، كما تعد عمليات الدلمة مصدراً للأيون الذي يتحد مع أيون البيكاربونات مكوناً بيكاربونات الكالسيوم المسؤولة عن العسرة المؤقتة (Al-Hamdani, 2009).

تراوحت تراكيز أيون (Ca^{2+}) في آبار المنطقة ما بين (85.38–313.60 ppm)، وإن السبب وراء التباين والزيادة الحاصلة في تركيز هذا الأيون قد يعود لاختراق الآبار تكوين فتحة جزئياً، وبالتالي تأثرت مياهها بالمواد المذابة فيه وهي على الأرجح صخور الجبس (جدول 4).

أيون الصوديوم Sodium Ion (Na^+)

تعد تجوية صخور المتبخرات أهم المصادر لأيون الصوديوم. تتميز أملاح الصوديوم بانحلالها الشديد في المياه ولا تترسب بسهولة ويمكن أن تزال كميات كبيرة من أيون (Na^+) من المياه بفعل عملية التبادل الأيوني (Ionic exchange) (Al-Shammari, 2006)، ويعد الفلدسبار القلوي (Alkali Feldspar) من المصادر الأساسية لأيون الصوديوم (Al-Manami, 2002)، كما يوجد الأيون في معادن المتبخرات مثل الهاليت ($NaCl$).

يقدر وجوده في المياه السطحية بحدود (6.3 ppm)، وفي المياه الجوفية بحدود (30 ppm) (Langmuir, 1997) ويصل في المياه البحرية إلى (10000 ppm) (Ali et al., 2000).

تراوحت تراكيز أيون (Na^+) في آبار منطقة الدراسة ما بين (43.18 ppm – 205.43 ppm)، كما يعود ارتفاع تركيز هذا الأيون في بعض الآبار إلى وجود ترسبات ملحية، حيث تؤدي مياه الري والأمطار المترسقة إلى ارتفاع تركيز هذا الأيون في المياه الجوفية، وخاصة في الآبار القريبة من هذه الترسبات فضلاً عن زيادة تركيز هذا الأيون في داخل القرى، وهذا يعود إلى تأثير الفعاليات البشرية التي تؤدي إلى زيادة تركيز هذا الأيون (جدول 4).

أيون المغنيسيوم Magnesium Ion (Mg^{2+})

يوجد أيون المغنيسيوم في المعادن القلوية الأرضية، كذلك يوجد بمقدار أقل من الصوديوم والكالسيوم في الصخور النارية وخاصة في معدن الأولفين البايروكسين والامفيبول والمايكا، وفي الصخور الرسوبية يوجد المغنيسيوم متداخلاً مع الكربونات، مثل: معدن المغنسايت والهيدرومغنسايت ومعدن البروسايت المتكون من هيدروكسيد المغنيسيوم (Helstrup et al., 2007).

تراوحت تراكيز أيون (Mg^{+2}) في آبار منطقة الدراسة ما بين (29.34–142.18 ppm)، اذ ترتفع التراكيز في بعض الآبار، فيما نلاحظ انخفاضها في ابار اخرى، ويعود السبب في ذلك الى نوعية الطبقات الحاوية لهذه المياه في التكوينات الحاملة لها (جدول 4).

أيون البوتاسيوم (K^{+}) Potassium Ion

يعد البوتاسيوم من الفلزات القلوية والأقل وفرة من الصوديوم، ويأتي من التجوية الكيميائية للمعادن الحاوية على البوتاسيوم مثل: الفلدسبار والأورثوكليس والمايكروكلين، ويوجد في صخور المتبخرات مثل معدن السلفايت ويوجد أيضا بنسبة اقل من الصوديوم

تراوحت تراكيز أيون (K^{+}) في آبار منطقة الدراسة ما بين (8.28–27.99 ppm)، اذ لوحظ وجود تباين في نسبة أيون البوتاسيوم، ويعود السبب الى التجوية الكيميائية الحاصلة في منطقة الدراسة وكذلك مصدره من الصخور الملحية. (جدول 4).

الجدول 4: قيم الأيونات الموجبة الرئيسية Major Cations للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.

النموذج	Na^{+} (ppm)	Ca^{++} (ppm)	Mg^{++} (ppm)	K^{+} (ppm)
1	186.91	281.90	138.30	20.51
2	205.43	306	141.88	26.52
3	86.42	313.60	130.29	17.71
4	112.59	279.83	140.60	18.89
5	176.91	302	142.18	27.99
6	51.35	180.09	91.63	8.281
7	77.65	170.12	78.53	12.42
8	87.80	182.93	96.52	15.14
9	73.51	114.62	73.70	11.03
10	135.49	198.55	105.66	18.17
11	58.76	113.07	74.57	8.93
12	72.79	106.47	68.40	10.39
13	103.80	240.37	114.07	20.21
14	43.18	85.387	29.34	12.27
15	46.11	110.74	38.41	9.08

الأيونات السالبة الرئيسية Major Anions

وتشمل دراسة أيونات الكبريتات والكلوريد والبيكاربونات:

أيون الكبريتات (SO_4^{-2}) Sulphate Ion

يوجد أيون الكبريتات في المياه الجوفية بسبب تفكك وذوبان صخور المتبخرات (Evaporites) مثل الجبس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)، والانهيدرايت ($CaSO_4$).

إن أغلب مركبات الكبريتات لها قابلية الذوبان في مياه الأمطار والسقي، وزيادة تلك المياه تعمل على غسل الترب وزيادة المذابات في مياهها أو المياه التي يعاد ضخها، مما يعمل على زيادة المواد المذابة وبمرور الزمن يزداد تأثير العملية ويؤثر على المياه الجوفية (Al-Janabi, 2008).

تراوحت تراكيز أيون (SO_4^{-2}) في آبار منطقة الدراسة ما بين (194–680 ppm) (جدول 5).

أيون الكلوريد (Cl^{-}) Chloride Ion

وهو الأيون الذي تكون معظم أملاحه سريعة الذوبان بالمياه الجوفية، لذلك فإنه من أكثر الأيونات شيوعاً وتركزاً في المياه الجوفية، ويتوفر بكثرة في الصخور الرسوبية كصخور المتبخرات، وفي معادن الصخور النارية مثل الاباتايت (Hem, 1985)، يكون الكلوريد أملاحاً سهلة الذوبان ولا يمتز الأيون بسهولة من المعادن الطينية ويعد متحركاً جداً في الغلاف المائي (Hussein, 2006). تراوحت تراكيز الأيون (Cl^{-}) في آبار المنطقة ما بين (63–692 ppm) (جدول 5).

أيون البيكربونات (HCO_3^-) Bicarbonate Ion

يعد أيون البيكربونات أحد الأيونات الرئيسية في المياه الطبيعية، وإن أحد مصادره في المياه يعود إلى تفكك حامض الكربونيك (H_2CO_3) الذي يتكون من ذوبان غاز (CO_2) من الجو أو من بعض الكائنات الحية (كالأسماك أو البكتيريا) في الماء، حيث أن هذه القيمة من الأس الهيدروجيني هي النقطة التي تتحول فيها كل (H_2CO_3) إلى (HCO_3^-) وتحت هذه القيمة يتحول كل (CO_3^{2-}) إلى بيكربونات أيضا (Appelo and Postma, 1999). تراوحت تراكيز أيون (HCO_3^-) (في آبار منطقة الدراسة ما بين (73.44 ppm–220.66) (جدول 5).

الجدول 5: قيم الأيونات السالبة الرئيسية Major Anions للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.

النموذج	SO_4^{2-} ppm	Cl^- ppm	HCO_3^- ppm
1	453	692	194.40
2	660	596	161.56
3	680	365	212.00
4	542	468	194.82
5	622	576	220.66
6	388	234	155.00
7	412	255	73.44
8	510	238	133.92
9	322	149	168.48
10	610	290	151.20
11	304	146	159.84
12	298	148	164.16
13	456	489	77.76
14	194	63	138.24
15	258	89	123.62

المكونات الثانوية Minor Contents

أيون النترات (NO_3^-) Nitrate Ion

يعد أيون النترات أحد أهم أشكال النيتروجين في المياه الجوفية (Manii, 2009) وكما هو معروف، فإن النايتروجين عنصر مهم في الدورة البايوجيوكيميائية ويوجد في المواد العضوية (Al-Manami, 2002). هناك العديد من مصادر النترات في المياه الجوفية، ومن هذه المصادر مياه الأمطار، ومياه الفضلات الصحية (Sewage)، ونتيجة للعمليات البايولوجية في التربة؛ وكذلك نتيجة للنشاط الزراعي (Al-Zaibe, 2000). تراوحت تراكيز أيون (NO_3^-) في آبار منطقة الدراسة بين (4.16 ppm–8.66 ppm) (جدول 6).

أيون الفوسفات (PO_4^{3-}) Phosphate Ion

يوجد الفسفور في حالات تأكسد عديدة بين (P^{+5} - P^{-3}) والشكل الذي يوجد عليه في المياه الطبيعية هو (PO_4^{3-}) (Hem, 1989)، أما الـ Poly phosphate فتنتج من فضلات مساحيق الغسيل أو الفضلات المنزلية ويتحول هذا النوع إلى Orthophosphate (Mckenzie et al., 2001).

تراوحت قيم تراكيز أيون الفوسفات (PO_4^{3-}) في آبار منطقة الدراسة ما بين (0.78 ppm–2.15 ppm)، وإن هذه التراكيز تعد طبيعية ولا يوجد فيها ارتفاع وأن المنطقة المأخوذة منها النماذج هي مناطق زراعية ولا يوجد تأثير للفعاليات البشرية فيها باستثناء استعمال الأسمدة الكيميائية للمزروعات (جدول 6).

الجدول 6: قيم الأيونات السالبة الرئيسية Major Cations للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.

النموذج	NO_3 ppm	PO_4 ppm
1	8.66	1.25
2	8.12	1.02
3	7.88	1.22
4	6.49	1.68
5	8.55	1.48
6	4.322	0.97
7	5.12	1.26
8	5.34	2.15

1.55	5.18	9
1.4	6.42	10
0.88	4.86	11
1.12	5.74	12
0.94	6.48	13
0.78	4.22	14
1.24	4.16	15

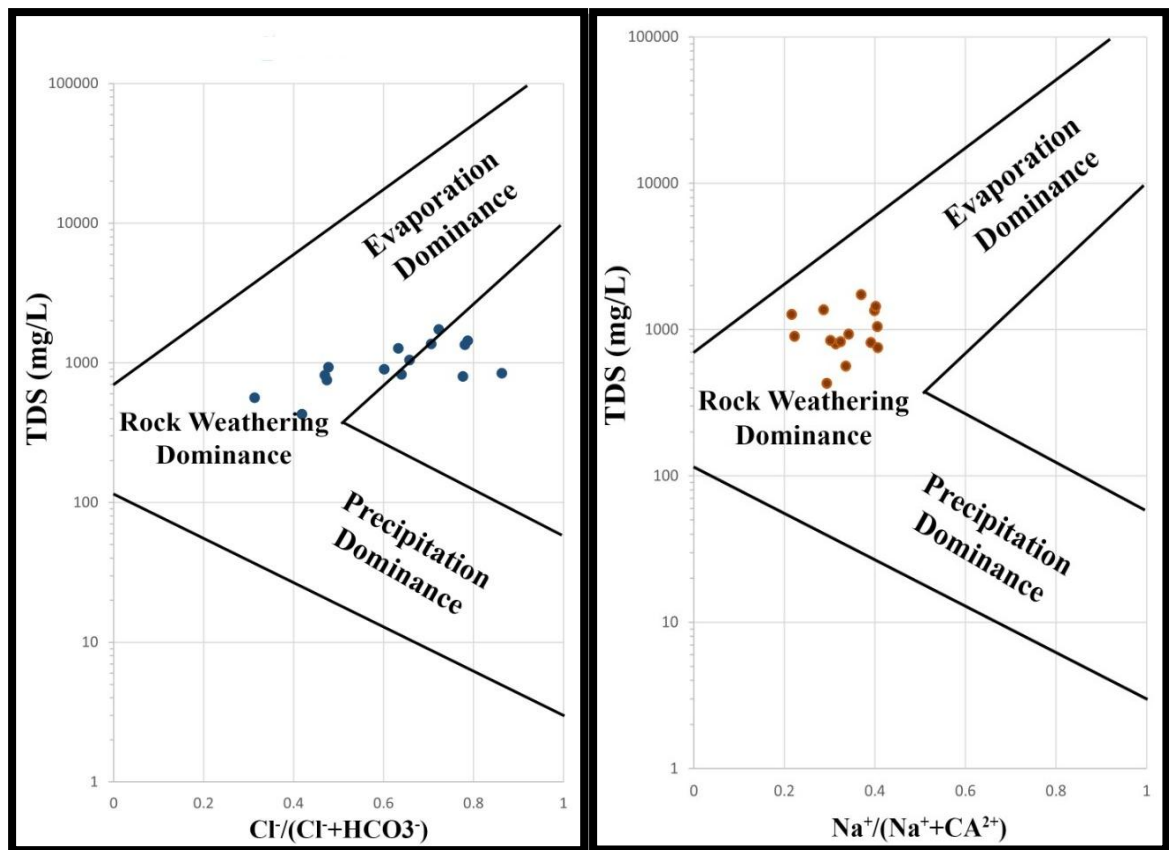
تصنيف المياه Water Classification

يستخدم عدد كبير من التصنيفات والعلاقات والطرائق البيانية بغية معالجة نتائج التحاليل الكيميائية للمياه وترتيبها وتنظيمها وهيئتها للتفسير المتكامل. وتكمن أهمية تصنيف المياه في تحديد مصادر المكونات المذابة في الماء وبالتالي تحديد نوعية المياه، والتطور في صفات الماء وخاصة المياه الجوفية عند مرورها خلال منطقة ما وتحديد العوامل الجيوكيميائية.

وقد استخدمت في هذه الدراسة عدة تصنيفات ومنها تصنيف (Gibbs)، تصنيف باير (1944)، وتصنيف ستيف (Stiff).

تصنيف (Gibbs)

يعد هذا التصنيف مهماً للتعرف على العوامل الطبيعية المؤثرة على كيميائية المياه. هذه العوامل كما أكدها راتري وآخرون (2021) وتشمل التبخر، والتفاعل بين الماء والصخور، وهطول الأمطار (Umar, 2024) (الشكل 3).

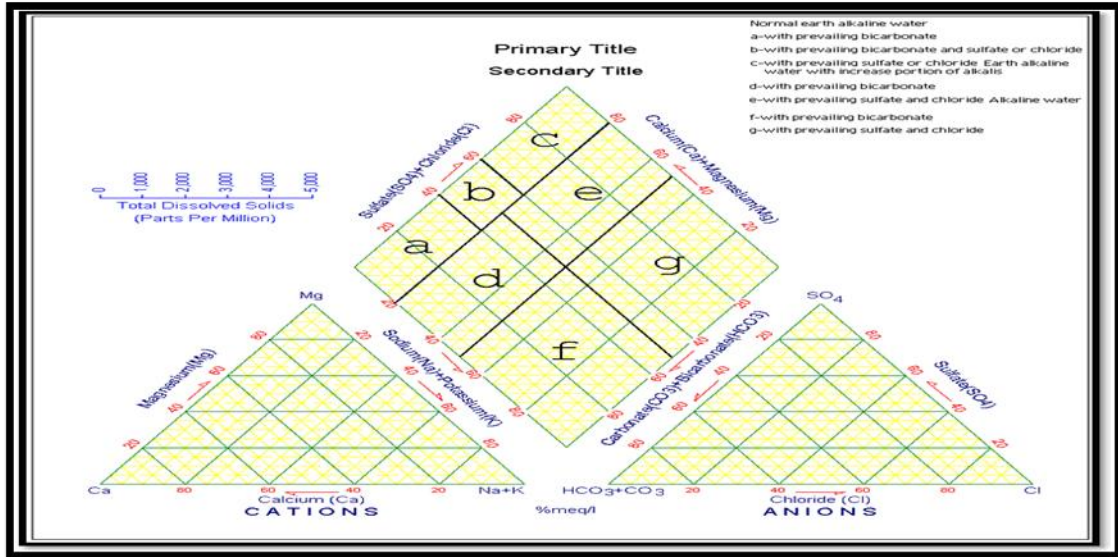


شكل 3. مخطط Gibbs يوضح العوامل الطبيعية المؤثرة على كيمياء المياه الجوفية في ابار المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

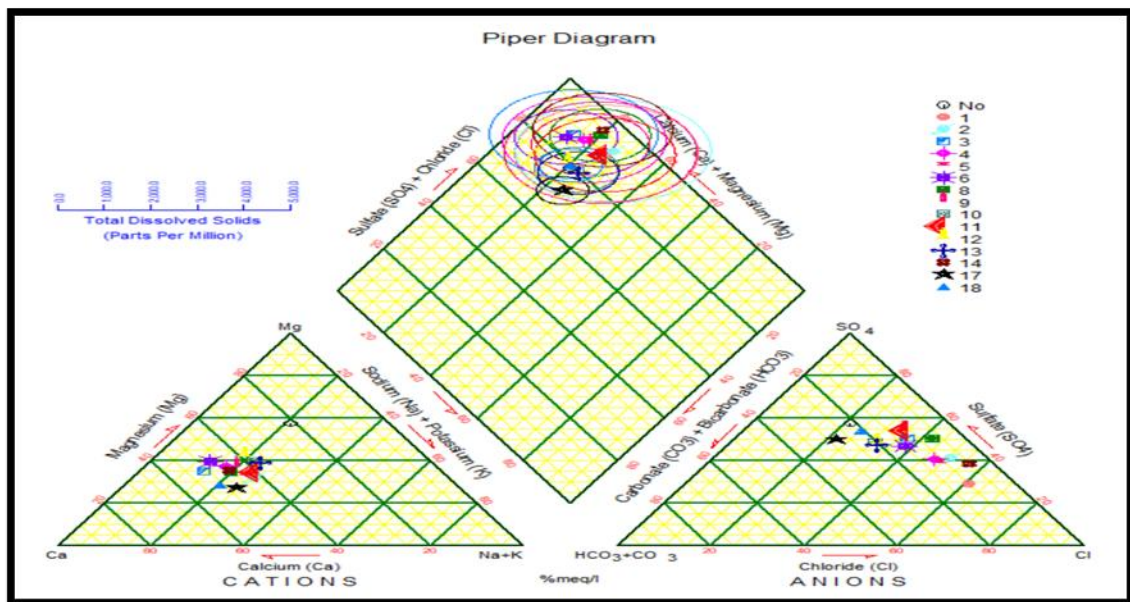
تصنيف باير (Piper Classification, 1944)

يعد هذا التصنيف احد الطرائق المتبعة لمعرفة نوعية المياه عن طريق التسقيط الثلاثي لتمثيل نتائج التحاليل الكيميائية معبرا عنها بـ (epm%) للأيونات الموجبة والسالبة على مثلثين ومعين متساوي الأضلاع، ويخصص المثلث

الأيمن للأيونات السالبة، ويكون اتجاه القراءة عليه بعكس اتجاه عقارب الساعة، أما المثلث الأيسر فهو للأيونات الموجبة والقراءة عليه باتجاه عقارب الساعة، ويستخدم المعين لتمثيل التركيب الأيوني للعينة، وبهذا كانت غالبية النماذج المائية على موقع الحرف (c) والحرف (e) كما في الشكل (3)، إذ إن هذه الأشكال توضح التمثيل الثلاثي لنتائج تحاليل النماذج المائية في منطقة الدراسة، حيث صنفت المياه فيها على أنها مياه قلووية أرضية مع الكبريتات السائدة أو كلوريد المياه القلوية الأرضية مع زيادة جزء القلوويات، ومياه قلووية أرضية مع الكبريتات السائدة وكلوريد المياه القلووية على التوالي (الشكلان 4 و 5).



الشكل 4. مخطط بايبر الثلاثي (Piper trilinear diagram, 1944)

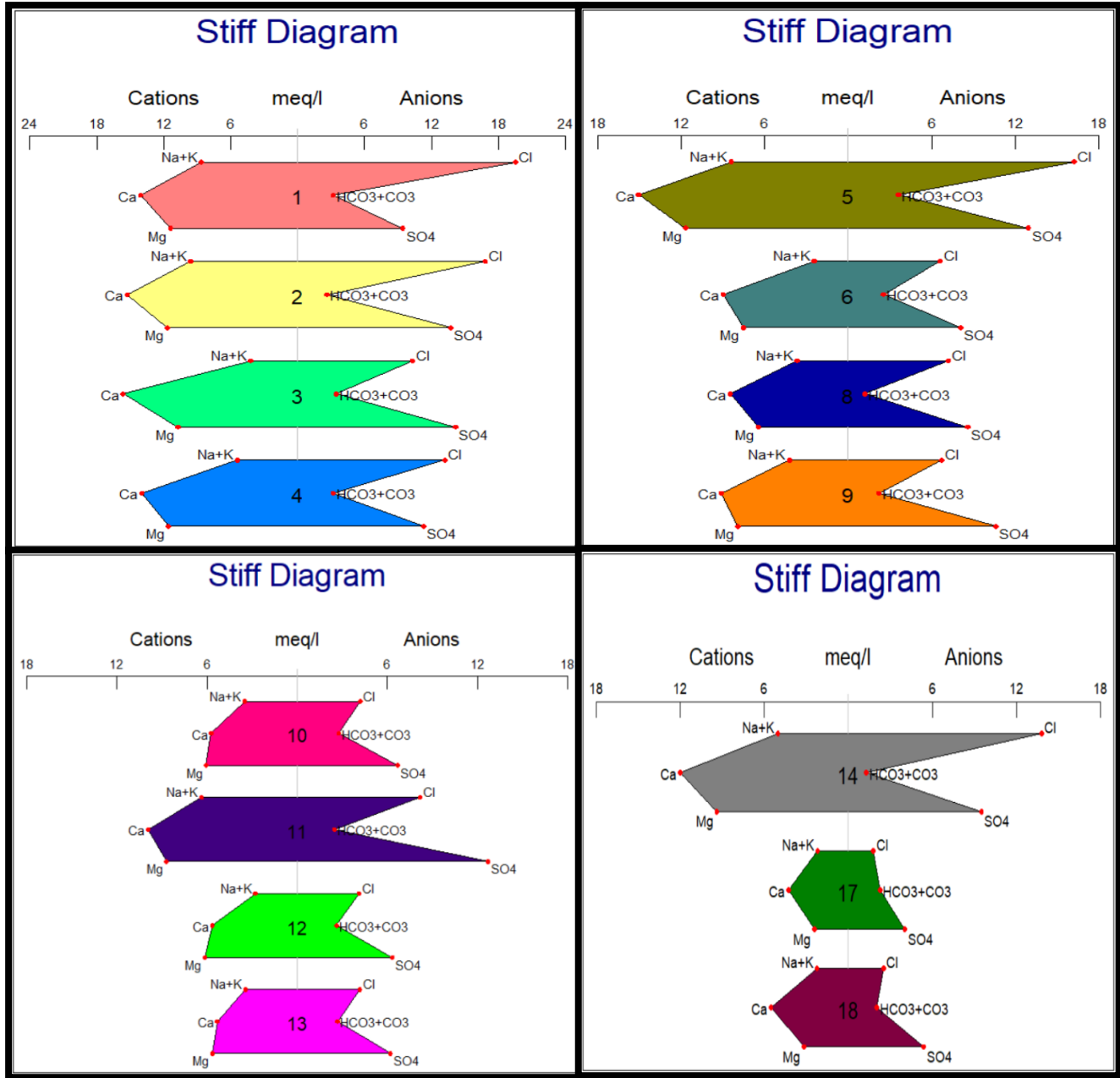


الشكل 5. التمثيل الثلاثي لنتائج التحليل الكيماوي للمياه في منطقة الدراسة.

تصنيف ستف (Stiff)

يعد هذا التصنيف وسيلة جيدة لإظهار العلاقة بين تراكيز الأيونات الموجبة والسالبة الرئيسة لنماذج مياه الآبار بوحدات (meq/l) بوساطة مخطط بياني، إذ تسقط الأيونات الموجبة على الجهة اليسرى من المخطط، والأيونات السالبة على الجهة اليمنى منه وحسب النسب، ومن خلال تطبيق تمثيل (Stiff) على نماذج مياه الآبار في منطقة الدراسة، يتبين

أن أيون الكالسيوم وأيون المغنيسيوم في مقدمة تراكيز الأيونات الموجبة الرئيسة، في حين أيون الكلوريد وأيون الكبريتات هما السائدان بالنسبة لتراكيز الأيونات السالبة الرئيسة (الشكل 6).



شكل 6. تراكيز المكونات الرئيسة لمياه الآبار في منطقة الدراسة بطريقة ستيف.

الاستنتاجات

1. كان لجيولوجية المنطقة والظواهر التركيبية في منطقة الدراسة الدور الاساسي والمتحكم في صياغة النظام الهيدروجيولوجي للحوض وكذلك تحديد ملامحه وحدوده الهيدروجيولوجية.
2. عكست قياسات مناسيب المياه الجوفية في الآبار المدروسة في منطقة الدراسة ان اعلى قيمة للمياه الجوفية هي المنطقة المحاذية لمشروع ري كركوك والذي قد يعتبر مصدراً لتغذية المياه الجوفية، وتقل المناسيب كلما ابتعدنا عن مشروع ري كركوك.
3. من خلال اسقاط تراكيز الايونات الرئيسة في مياه منطقة الدراسة على مخططات ((Piper, 1944) و (Stiff))، يتبين أن أيون الكالسيوم وأيون المغنيسيوم في مقدمة تراكيز الأيونات الموجبة الرئيسة، في حين أيون الكلوريد وأيون الكبريتات هما السائدان بالنسبة لتراكيز الأيونات السالبة الرئيسة.

4. بعض نماذج مياه منطقة الدراسة غير صالحة لأغراض الري وينسب متفاوتة ماعدا الآبار القريبة من مشروع ري كركوك (منطقة التغذية) إذ تكون مياهها ذات نوعية جيدة نوعاً ما. وأن أهالي المنطقة يعتمدون عليها في بعض الأحيان في الشرب وكذلك للزراعة والاستعمالات الأخرى.

شكر وتقدير

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

المصادر

- Al- Abaechi, O.M.S.O., 2014. Hydrogeochemistry of Selected Wells on Both Banks of the Tigris River in Mosul Area/ Northern Iraq, Iraqi National Journal of Earth Science (INJES), Vol. 14, No. 1, pp. 1-18. [DOI:10.33899/earth.2014.87483](https://doi.org/10.33899/earth.2014.87483) (In Arabic)
- Al-Hamdani, J. A., 2009. Hydrochemical Effect of Groundwater Due to Irrigation and Drainage Projects in Tawuq Sub-Basin (South of Kirkuk - North of Iraq), MSc Thesis, University of Baghdad (Unpublished), 121 P.
- Ali, M.H., Muhammad, K.I., and Hassoun, N.A., 2000. Water Sciences, Dar Al-Kutub Directorate for Printing and Publishing, Baghdad, 1063 P. (In Arabic)
- Al-Janabi, M.A.J., 2008. Hydrochemistry of the Open Aquifer and the Relationship of its Water to the Sediments of the Unsaturated Range in the Samarra-Tikrit Basin (East Tigris), Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, PhD Thesis (unpublished), 154 P. (In Arabic)
- Al-Manami, D.M., 2002. A Geochemical and Environmental Study of Groundwater in the City of Sulaymaniyah and its Suburbs, Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, Master's Thesis (unpublished), 200 P. (In Arabic)
- Al-Shammari, A.N., 2006. A Hydrogeological and Hydrochemical Study of Al-Rehab / South and Southwest of Samawa City, Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, MSc. Thesis (unpublished), 111 P. (In Arabic)
- Al-Zaibe, A.H., 2000. Geochemical and Environmental Characteristics of the Soil and Ground Water Sources in the North Eastern of Region of Almafraq. Jordan, Unpubl. PhD. Thesis, University of Baghdad, 201 P.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1999. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam.
- Boyd, C.E., 2000. Water Quality an Introduction, Kluwer Academic Publishers, USA, 330 P.
- Buday, T., 1980. The Regional Geology of Iraq (Vol. I): Stratigraphy and Paleogeography. Dar Al-Kutub Publ., Mosul, Iraq, 445 P.
- Dhahir, K.A., 2023, Groundwater Investigation Using Self-Potential (SP) Method in Part of Kirkuk City - Northern Iraq, Journal The Iraqi National Journal of Earth Science (INJES), Vol. 23, No. 2, pp. 266-278, [DOI:10.33899/earth.2023.141257.1099](https://doi.org/10.33899/earth.2023.141257.1099).
- Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E. and Turner, A.K., 2002. Evaluation of Graphical and Multivariate Statistical Methods for Classification of Water Chemistry Data. Hydrogeology Jour., Vol. 10, pp. 455-474.
- Helstrup, T., Jorgensen, N.O. and Yakubo, B.B., 2007. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater from the Cretaceous-Eocene Limestone Aquifer in Southern Ghana and Southern Togo using Hierarchical Cluster Analysis. Hydrogeology Journal Vol. 15, pp. 977-989. [DOI:10.1007/S10040-007-0165-1](https://doi.org/10.1007/S10040-007-0165-1)

- Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water Supply. pp 254-263.
- Hussein, T.A., 2006. Hydrogeology and Hydrochemistry of the Muqdadiya (Lower Bakhtiari) Reservoir in Erbil City/Northern Iraq, Department of Earth Sciences, College of Science, University of Baghdad, PhD Thesis (unpublished), 143 P. (In Arabic)
- Jassim, S.Z. and Goff, J.C., 2006. Geology of Iraq, published by Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno, 400 P.
- Langmuir, D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice Hall, USA, 600 P.
- Linan C., Baena, B., Andreo, J., Mudry, F., and Carrasco, C., 2008. Groundwater Temperature and Electrical Conductivity as Tools to Characterize Flow Patterns in Carbonate Aquifers: The Sierra de las Nieves Karst Aquifer, Southern Spain, Hydrogeology Journal, 11 P. [DOI:10.1007/S10040-008-0395-X](https://doi.org/10.1007/S10040-008-0395-X)
- Manii, J. K., 2009. Hydrochemistry of Al-Hammar Marsh Environment Southren Iraq, MSc. Thesis, University of Baghdad (unpublished), 205 P.
- McKenzie, J.M., Siegel, D.I., Patterson, W. and McKenzie, D.J., 2001. A Geochemical Study Survey of Spring Water from the Main Ethiopian Rift Valley, Southern Ethiopian, Implications for Well–Well-Head Protection. Hydrogeology Jour., pp. 265-272.
- Nag S.K. and Suchetana B., 2016. Groundwater Quality and Its Suitability for Irrigation and Domestic Purposes: A Study in Rajnagar Block, Birbhum District, West Bengal, India. J Earth Sci Clim Change, 7(2), <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000337>
- Sissakian, V.K. and Fouad, S.F., 2015. Geological Map of Iraq, Scale 1: 1000000, 2012. Iraqi Bulletin of Geology and Mining, 11(1), pp. 9-16.
- Todd, D. K., 2005. Groundwater Hydrogeology, 2nd Edition, John Wiley and Sons. New York, USA, 650 P.
- Umar, F.I., Edward, K.A., Bright, S.A., and Valentine, C.M., 2024. Assessing the Groundwater Quality in Ghana's Nanton District: Comprehensive Evaluation and Implications for Sustainable Management. AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society 1 January 2024; 73 (1): pp. 34–56. [Doi: https://doi.org/10.2166/qua.2024.196](https://doi.org/10.2166/qua.2024.196)