



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.	<p>تاريخ الاستلام: 27- يناير -2025</p> <p>تاريخ المراجعة: 02- ديسمبر -2025</p> <p>تاريخ القبول: 04- ابريل -2025</p> <p>تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل -2026</p> <p>الكلمات المفتاحية: مخاطر، الجريان السطحي، حوض وادي قوس، مدينة جدة، نموذج (NRCS-CN).</p> <p>المراسلة: الاسم: افراح بنت أحمد بن علي الزهراني Email: aaalzahrani@uj.edu.sa</p>

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 ان 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.

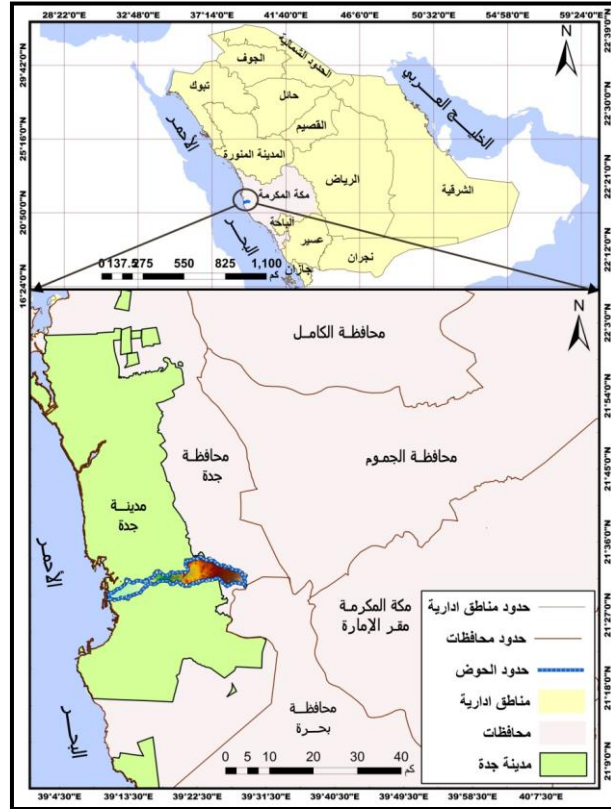
فضلا عن ما توصلت اليه نتائج الدراسات السابقة حول استمرارية تأثير تغير المناخ على الاتجاهات الزمنية لهطول الأمطار في منطقة جدة منذ عام 1965 مما أدى الى زيادة في شدة هطول الأمطار بقيمة متوسطة بلغت 12 ملم، تأتي أهمية هذه الدراسة في حوض وادي قوس أحد الاحواض المائية في المدينة في إعداد خرائط لفيضانات المفاجئة 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.

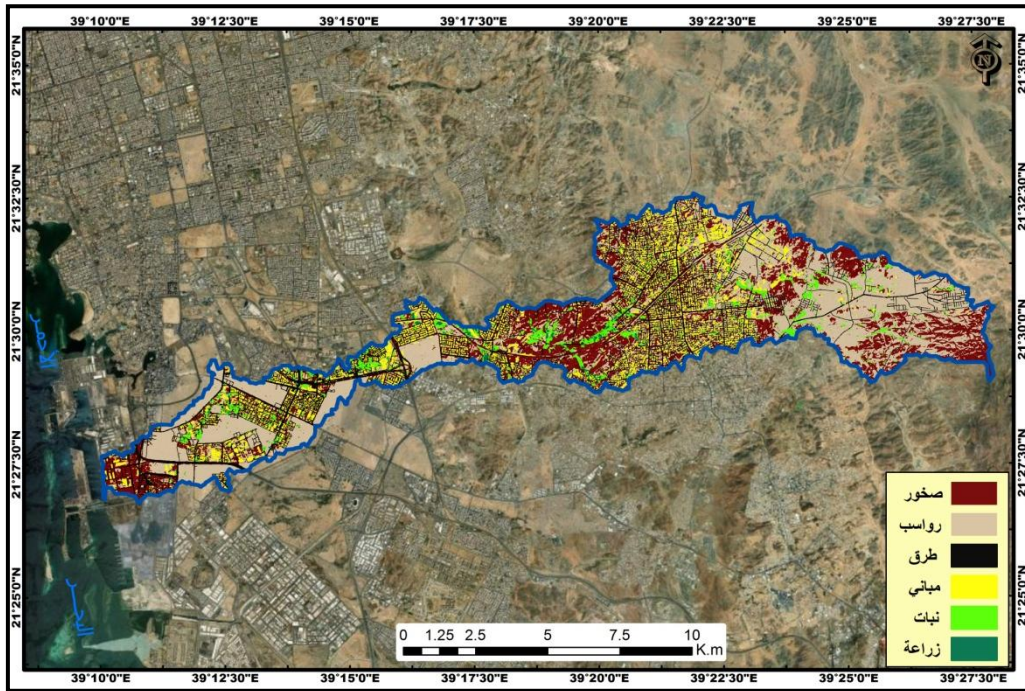
مناقشة النتائج

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.

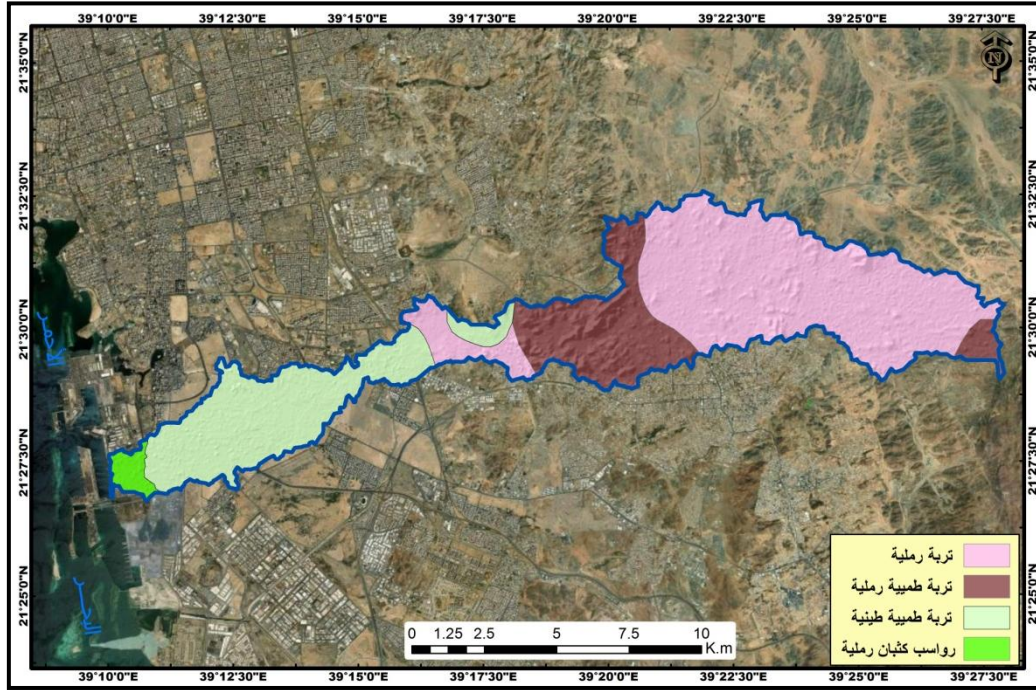


الشكل 2. أغطية واستعمالات الأرض في الحوض.

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

وبعده 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. وبعده 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.

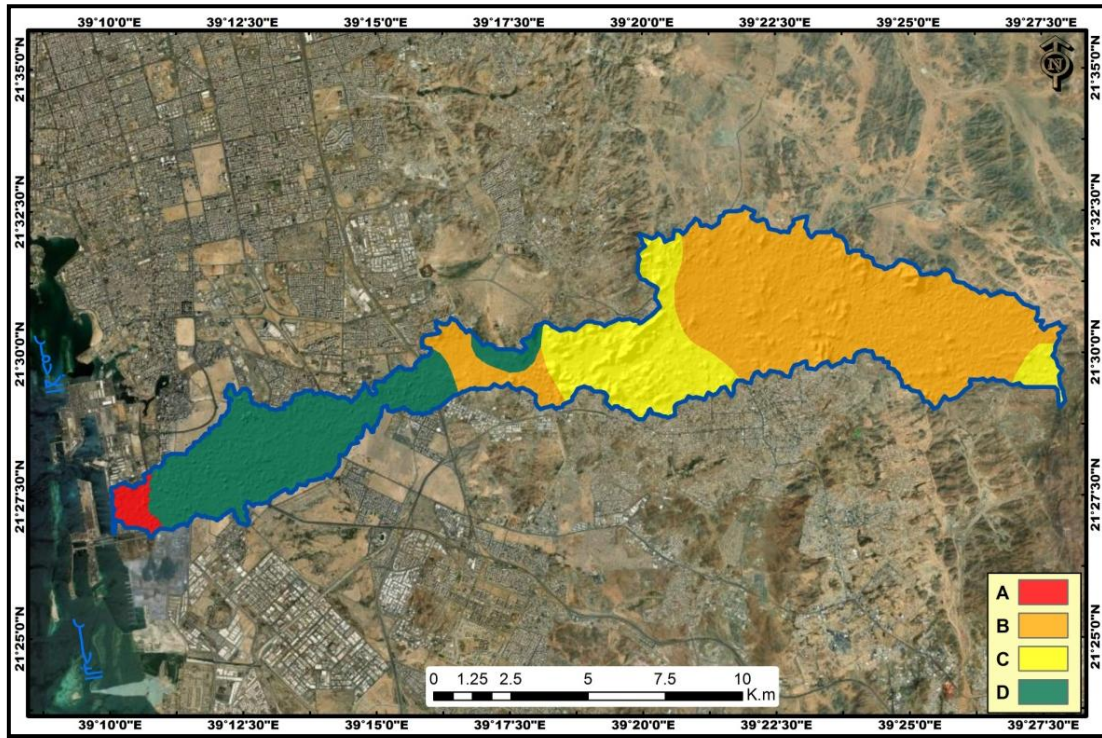


الشكل 3. نوعية التربة في حوض وادي قوس

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.

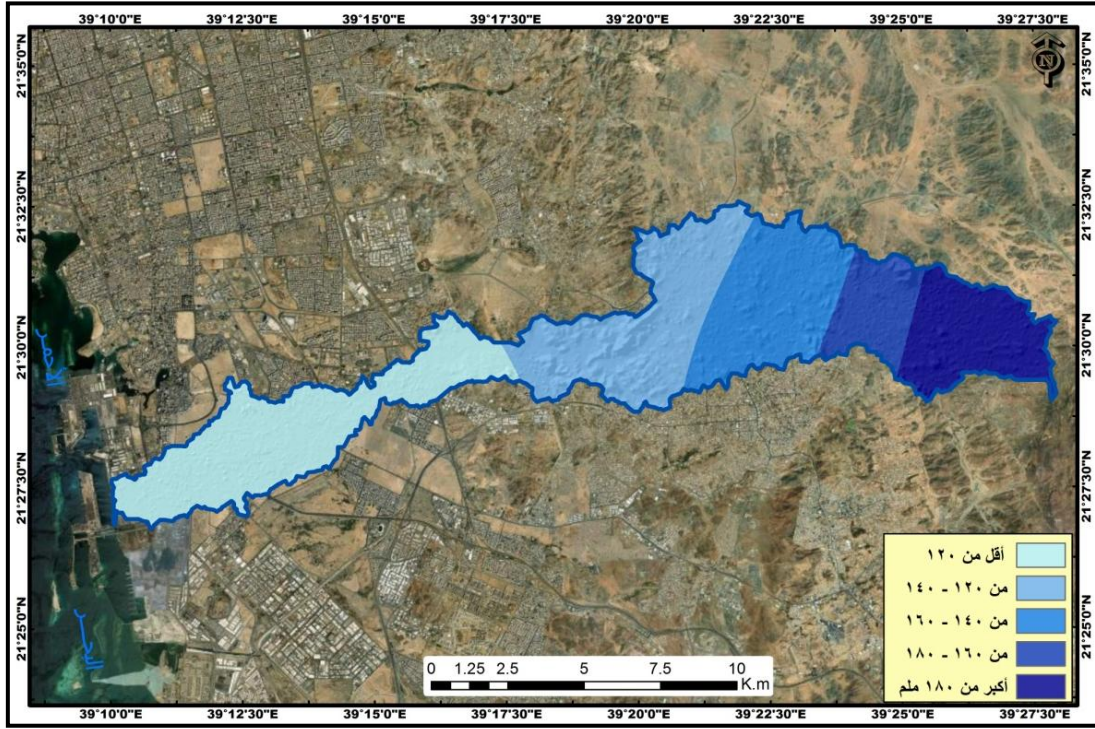


الشكل 4. المجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض.

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).

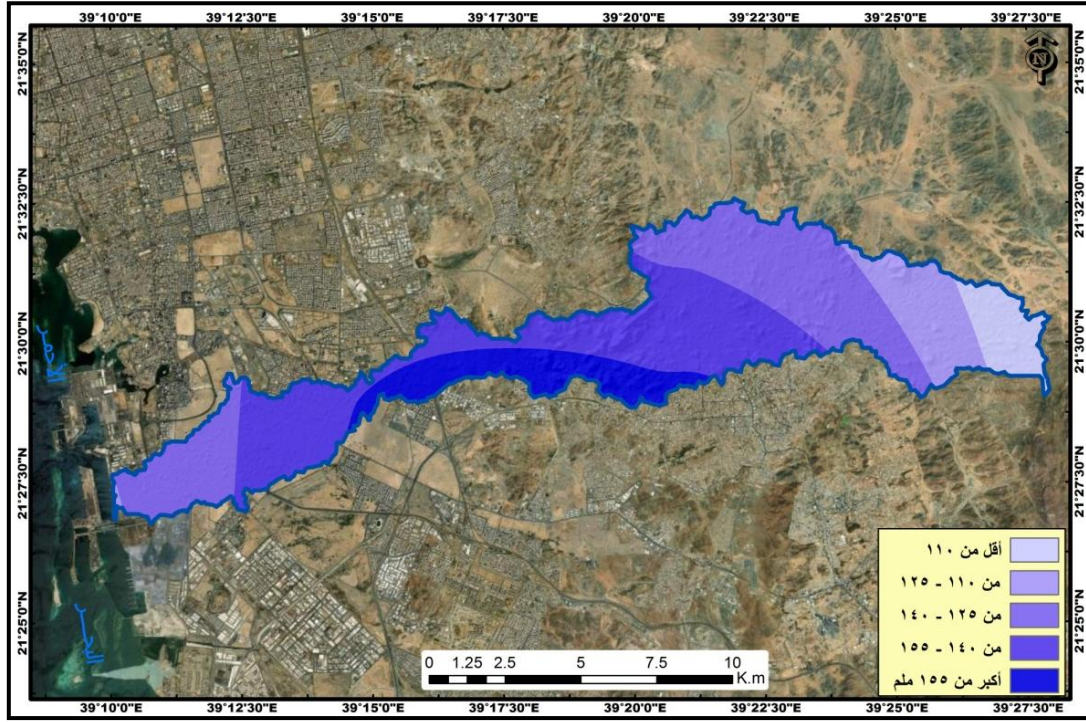
وبذلك تظهر نتائج تحليل عاصفة نوفمبر 2009 تراوح كمية الامطار التي تعرض لها الحوض ما بين 94 - 223 ملم/ساعة بمتوسط بلغ 140 ملم/ساعة. وتبين نتائج تصنيف امطار هذه العاصفة (الشكل 5) مخاطرها الشديدة على المنشآت السكنية في الحوض بسبب تركيز النطاقات الأكثر غزارة في أعلى الحوض، حيث تقع المنطقة التي تجاوزت كمية 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.

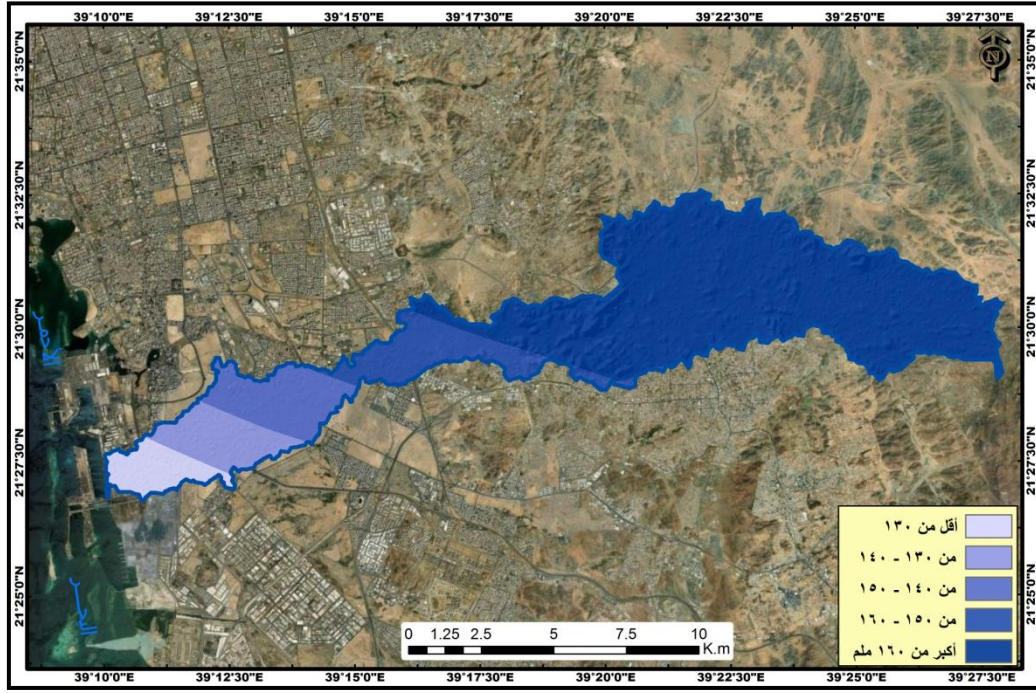
وتوضح نتائج تحليل عاصفة نوفمبر 2018 تراوح كمية الامطار التي تعرض لها الحوض ما بين 90.6 - 163.1 ملم وبمتوسط بلغ 137.7 ملم/24 ساعة، وتبين نتائج توزيع امطار هذه العاصفة (الشكل 6) ضعف مخاطرها على المنشآت السكنية في الحوض بسبب تركيز نطاقات الامطار الغزيرة وسط الحوض، وعليه تقع المنطقة التي تجاوزت كمية امطارها 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.

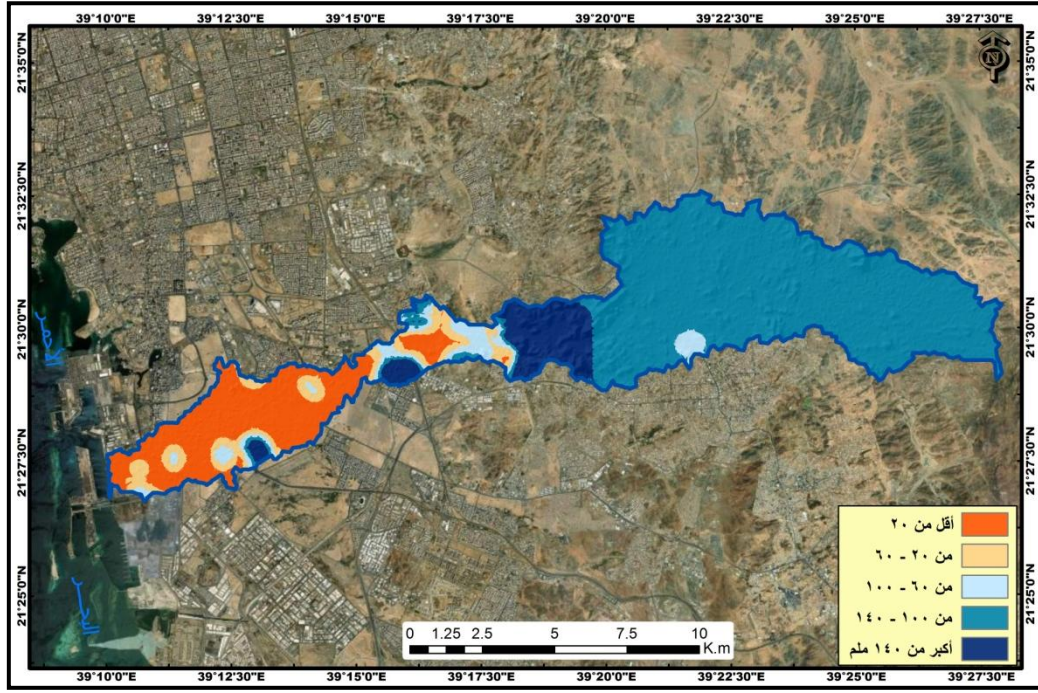
وتبين نتائج تحليل عاصفة نوفمبر 2022 م تراوح كمية الامطار التي تعرض لها الحوض ما بين 116.6 - 170.4 ملم بمتوسط بلغ 157.1 ملم/24 ساعة، وسوف تعتمد الدراسة في تقدير حجم ومخاطر الجريان في الحوض بناء على متوسط هذه العاصفة. وعليه تظهر نتائج تصنيف أمطار هذه العاصفة (الشكل 7) شدة مخاطرها على المنشآت السكنية والسكان 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.

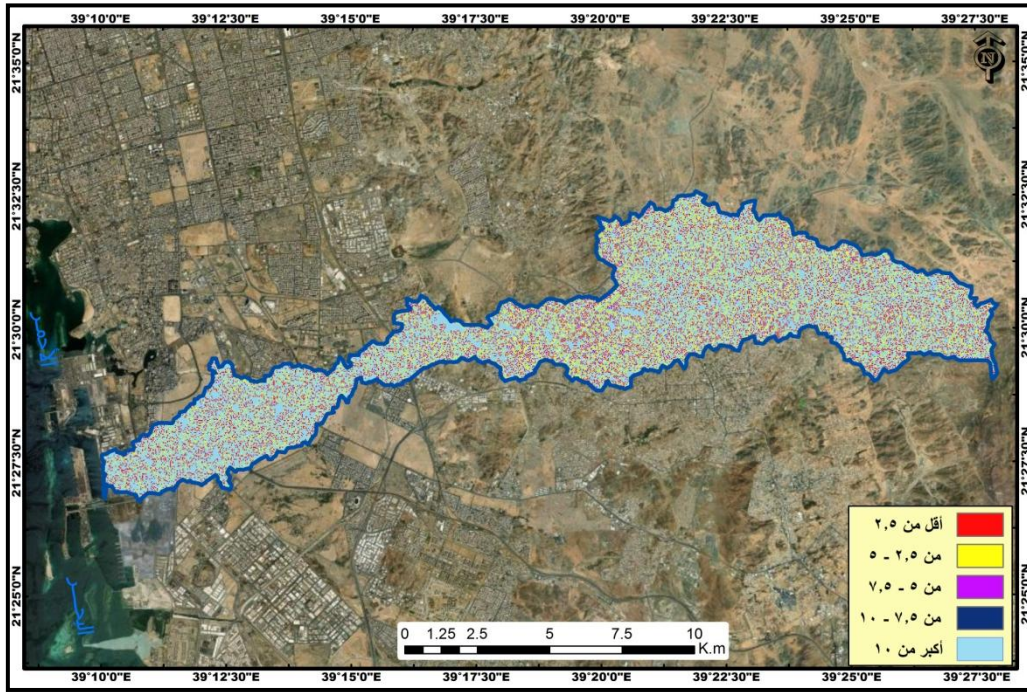
هـ) الرطوبة المسبقة للتربة: تعتبر رطوبة التربة المسبقة من أهم محددات استخلاص قيم ارقام منحني الجريان السطحي (CN)، فارتفاع الرطوبة تعني تقليل تسرب المياه وسرعة تولد الجريان السطحي وزيادة مخاطره، وعليه تظهر نتائج تحليل الرطوبة المسبقة للتربة قبل حدوث عاصفة 2022 بخمسة أيام، والتي ستعتمد الدراسة على متوسطها 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.

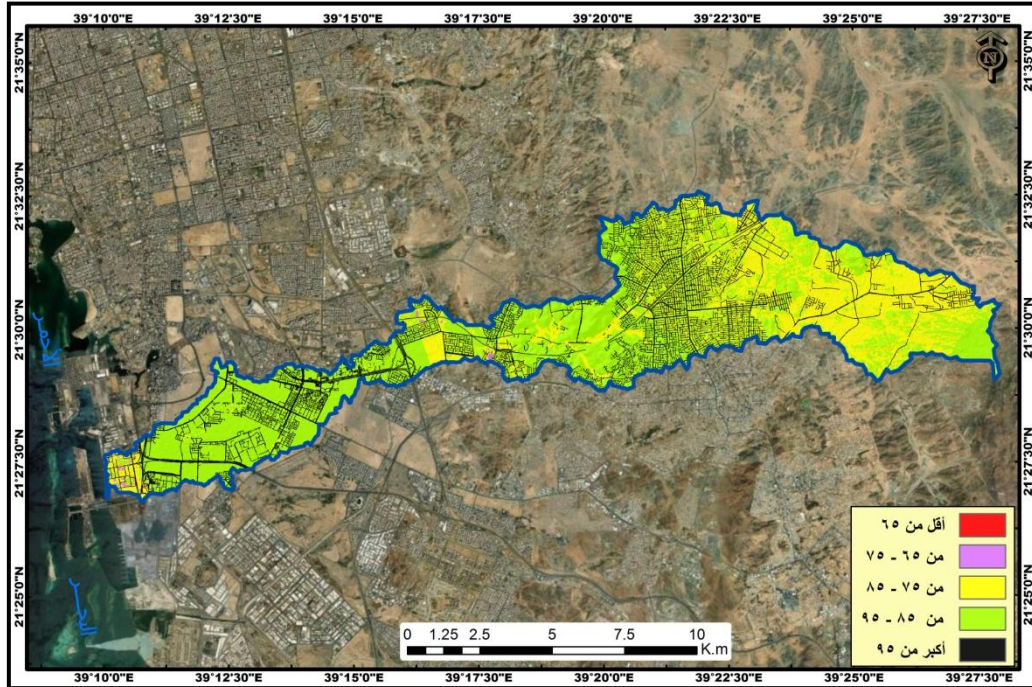
جدول 1: الأرقام المنحنية على مستوى الخلايا في الحوض.

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.

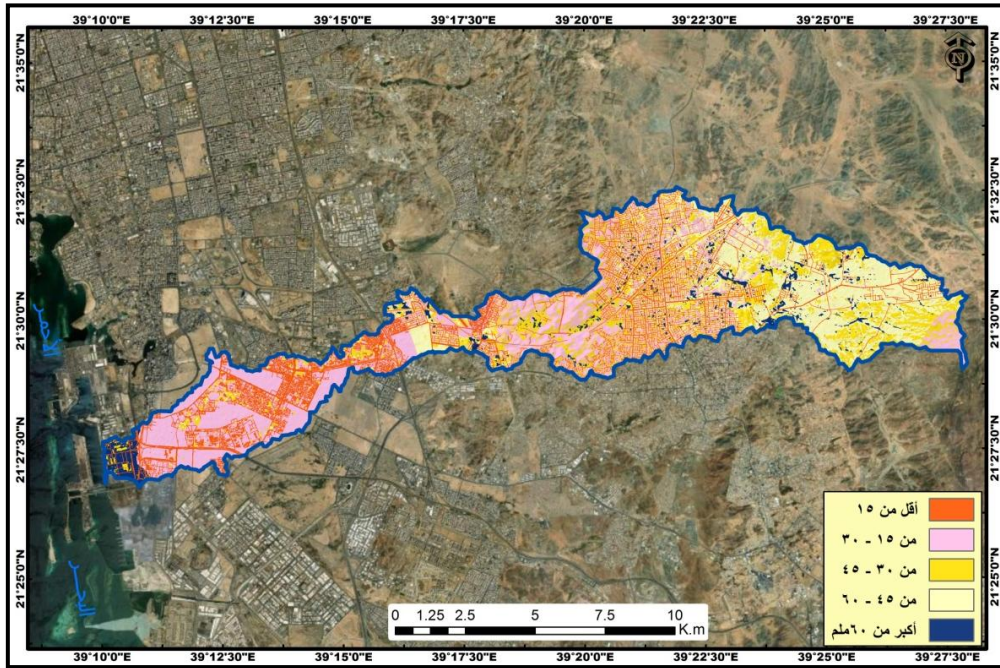


الشكل 10. توزيع الأرقام المنحنية للجريان في الحوض

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

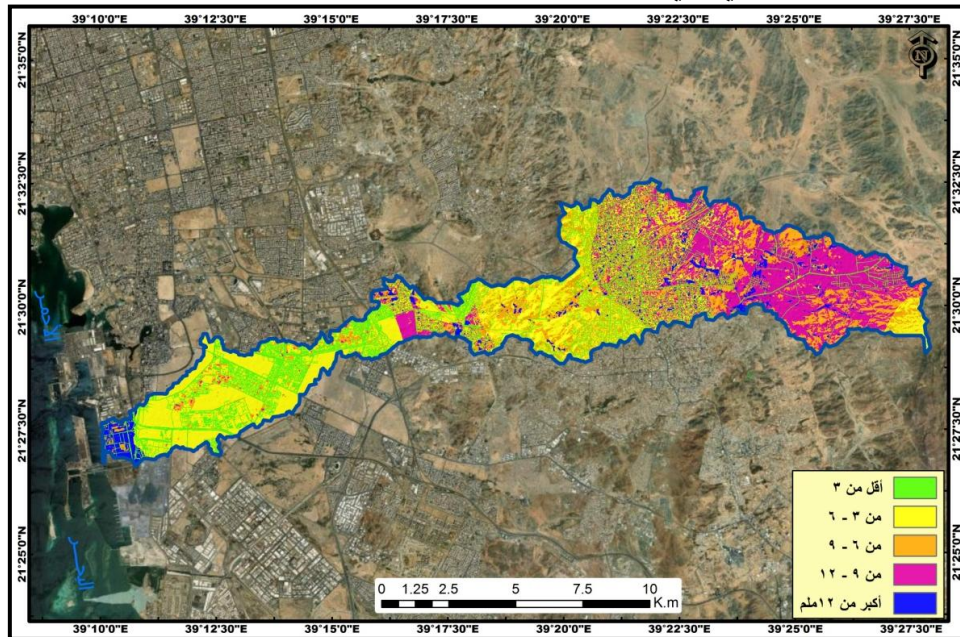
(ز) مؤشر احتفاظ التربة بالماء: تتصف علاقة امكانية التربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي بقيم (CN) بالعكسية، فكلما زادت قيم الارقام المنحنية حيث الطرق والمباني وغيرها تقل قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء والعكس صحيح، وتتراوح قيم قدرة تربة الحوض على الاحتفاظ بالماء ما بين 5.2 ملم بمناطق الطرق 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).

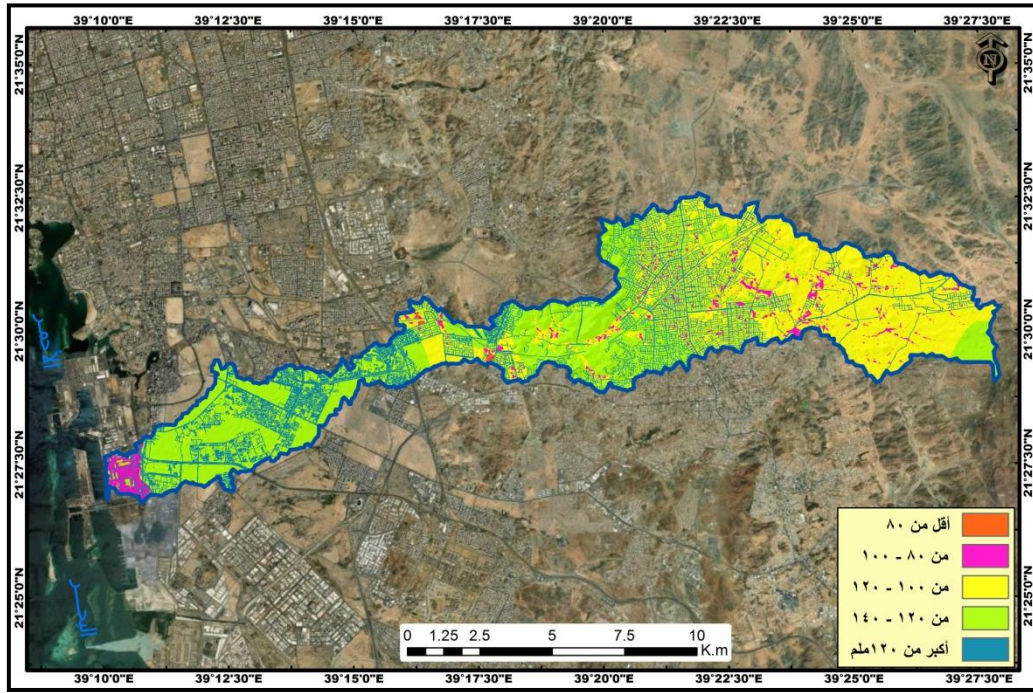
وبذلك توصلت نتائج تطبيق معادلة عمق الجريان حسب نموذج (NRCS-CN) تراوح عمق الجريان السطحي الناتج عن متوسط امطار هذه العاصفة بين 58.6 ملم بمناطق انتشار الغطاء النباتي ضمن المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A)، الى 151.05 ملم بمناطق تواجد الطرق ضمن مختلف المجموعات الهيدرولوجية للتربة، وبلغ المتوسط المكاني لعمق 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.

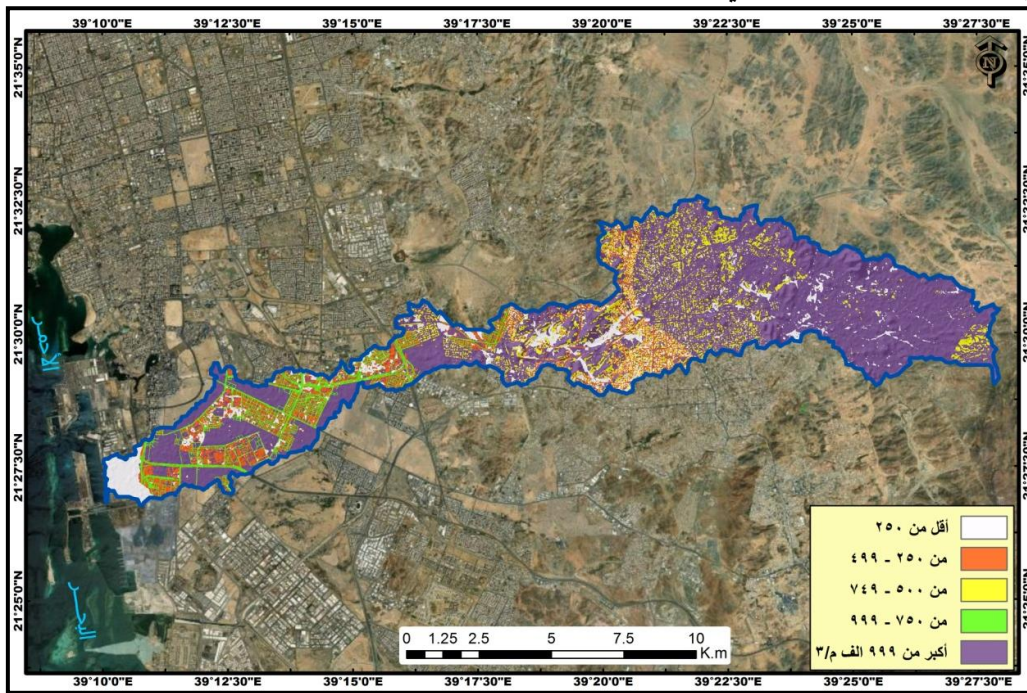
وتبلغ مساحة المنطقة التي يقل فيها عمق الجريان عن 80 ملم حوالي 0.119 كم² بنسبة 0.12% من إجمالي مساحة الحوض. ومساحة المنطقة التي يتراوح فيها عمق الجريان ما بين 80 - 100 ملم نحو 3.7 كم² بنسبة 3.93% من إجمالي مساحة الحوض. والمنطقة التي يتراوح فيها عمق الجريان ما بين 100 - 120 ملم تبلغ 35.8 كم² بنسبة 37.94% 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 مساحتهما 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.



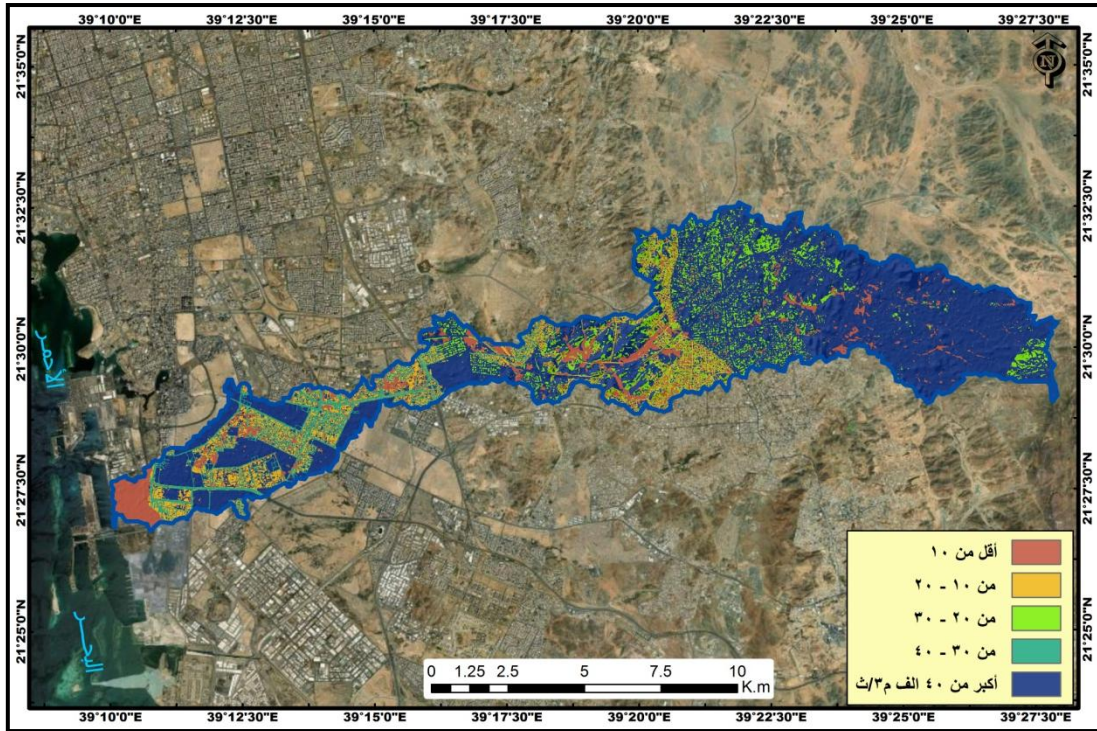
الشكل 14. حجم الجريان السطحي من متوسط أمطار عاصفة (2022 / 11 / 24).

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.

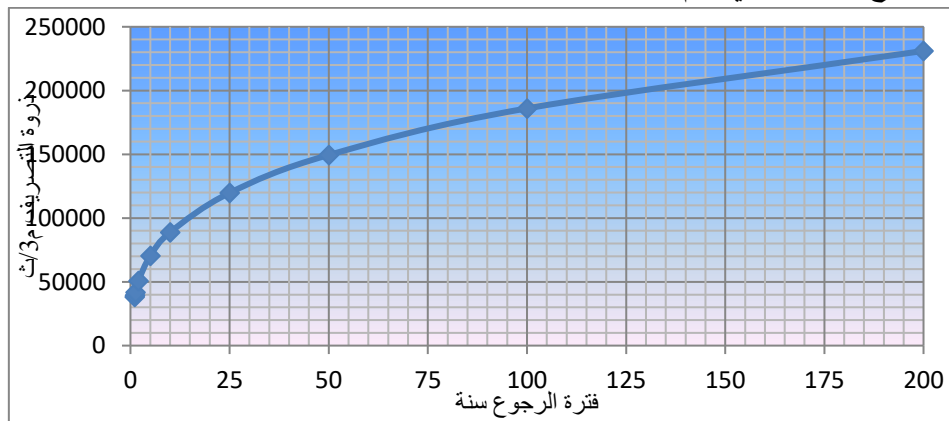
ويوضح الجدول (3) توقعات ذروة الفيضانات في الحوض لفترات رجوع مختلفة حسب منهجية جامبل (Gumbel Method) حيث يظهر الجدول امكانية تصاعد مخاطر ذروة التصريف على المنشآت السكنية والبنية التحتية والسكان في الحوض في ظل تحول اغطية الارض الطبيعية المنفذة لمياه الامطار الى أسطح مصمتة للمياه كالاستعمالات العمرانية 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.