



**دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالجريان السطحي والاستدامة البيئية – دراسة مستقبلية (٢٠٢٥-٢٠٥٠) لحوض وادي حقلان**

د. اسراء عبد الواحد علي  
الجامعة العراقية/ كلية الآداب

[israaaabdulwahidali@aliraqia.edu.iq](mailto:israaaabdulwahidali@aliraqia.edu.iq)



**Integrating Geographic Information Systems (GIS) and Artificial Intelligence (AI) for Predicting Surface Runoff and Environmental Sustainability – A Future Study (2025–2050) of the Haqlan Valley Watershed**

*Dr. Israa Abdulwahid Ali  
College of Arts, Al-Iraqia University*



## المستخلص

يهدف هذا البحث إلى تطوير نموذج تنبئي متكامل للجريان السطحي في حوض وادي حقلان غرب العراق، من خلال دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي (AI)، باستخدام نموذج الغابة العشوائية (Random Forest) (ونموذج رقم المنحنى الهيدرولوجي (SCS-CN)). تم إعداد قاعدة بيانات مكانية شاملة شملت خصائص الغطاء الأرضي والتربة والهطول المطري للفترة (٢٠٢٤-٢٠٠٠)، واستخلصت منها قيم الشدة المطرية ومعاملات رقم المنحنى (CN)، والتي أدخلت ضمن نموذج الغابة العشوائية لتدريب العلاقة بين الشدة المطرية وقيم CN وحجم الجريان السطحي. بعد التدريب، تم توظيف النموذج لتتبؤ الجريان السطحي للفترة (٢٠٥٠-٢٠٢٥) (وفق سيناريو المناخ SSP245).

أظهرت النتائج قدرة تنبؤية عالية ( $R^2 = 0.927$ ) مع انخفاض الخطأ المتوسط الجذري ( $RMSE = 89,100 \text{ m}^3$ )، مما يعكس كفاءة التكامل بين GIS و AI في تمثيل السلوك الهيدرولوجي الواقعي. تم تحديد السنوات الحرجية (٢٠٣٠، ٢٠٤٥، ٢٠٥٠) التي يتوقع أن تشهد أعلى الشدات المطرية، وبالتالي أعلى احتمالية للجريان السطحي والفيضانات. أظهرت خرائط التوزيع المكاني أن ٨٠.٥٩٪ من مساحة الحوض تتكون من مناطق جراء و ١٦.٩٦٪ من رواسب حصوية، مما يزيد من حساسية الجريان السطحي. كما تم تصنيف مناطق الخطر الهيدرولوجي إلى ثلاثة فئات (منخفض، متوسط، مرتفع)، واقتصرت استراتيجيات استدامة بيئية لكل فئة، شملت الحصاد المائي والزراعة المطرية وإعادة التشجير لتعزيز تغذية الخزان الجوفي والحد من التعرية.

يساهم هذا البحث في تطوير إطار علمي تطبيقي لدمج التحليل المكاني مع الذكاء الاصطناعي في النمذجة الهيدرولوجية، ويشكل أداة دعم قرار فعالة لإدارة الموارد المائية والتخطيط البيئي ومواجهة آثار التغير المناخي في البيانات الجافة وشبه الجافة.

الكلمات المفتاحية: وادي حقلان، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، الذكاء الاصطناعي (AI)، نموذج الغابة العشوائية (Random Forest)، نموذج SCS-CN، سيناريو المناخ SSP245.

## Abstract

This study aims to develop an integrated predictive model for surface runoff in the Wadi Haqlan basin, western Iraq, by combining Geographic Information Systems (GIS) techniques with Artificial Intelligence (AI) algorithms, using the Random Forest model and the hydrologically-based Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) model. A comprehensive spatial database was established, encompassing land cover, soil properties, and rainfall data for the period 2000–2024. Rainfall intensity values and Curve Number (CN) parameters were extracted and incorporated into the Random Forest model to train the relationship between rainfall intensity, CN values, and runoff volume. The trained model was then applied to predict surface runoff for the period 2025–2050 under the SSP245 climate scenario.

The results demonstrated high predictive accuracy ( $R^2 = 0.927$ ) with a low root mean square error ( $RMSE = 89,100 \text{ m}^3$ ), highlighting the effectiveness of integrating GIS and AI in representing realistic hydrological behavior. Critical years (2030, 2045, 2050) were identified as those likely to experience the highest rainfall intensities, and consequently, the highest probability of runoff and flooding. Spatial distribution maps revealed that 80.59% of the basin area consists of bare land and 16.96% of gravel deposits, increasing runoff sensitivity. Hydrological hazard zones were classified into three categories (low, medium, high), and sustainability strategies were proposed for each, including water harvesting, rainfed agriculture, and reforestation to enhance groundwater recharge and reduce erosion.

This study contributes to the development of an applied scientific framework for integrating spatial analysis with AI in hydrological modeling and provides an effective decision-support tool for water resources management, environmental planning, and climate change adaptation in arid and semi-arid regions.

**Keywords:** Wadi Haqlan, Geographic Information Systems (GIS), Artificial Intelligence (AI), Random Forest model, SCS-CN model, SSP245 climate scenario.

## بسم الله الرحمن الرحيم

### المقدمة:

تُعدّ الموارد المائية حجر الزاوية في استدامة النظم البيئية والأنشطة البشرية، ولا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتعرض لتقلبات مناخية حادة. ومن بين الظواهر الهيدرولوجية التي تؤثر بشكل مباشر على تلك الموارد، يبرز الجريان السطحي باعتباره أحد المؤشرات الرئيسية التي تعكس العلاقة التفاعلية بين الهطول المطري من جهة، وخصائص السطح من جهة أخرى. إن فهم هذا الجريان والتتبؤ به يمثل خطوة جوهرية في التخطيط المكاني، وتقليل أخطار الفيضانات، وتحسين إدارة موارد المياه.

لقد تطورت الأدوات المستخدمة في تحليل الجريان السطحي، بدءاً من النماذج التقليدية المعتمدة على المعادلات الرياضية مثل نموذج SCS-CN الذي طورته هيئة الحفاظ على التربة الأمريكية، وانتهاءً بتقنيات حديثة تستخدم نظم المعلومات الجغرافية(GIS)، والتي مكنت الباحثين من التعامل مع الخصائص المكانية الدقيقة للسطح مثل نوع التربة، والانحدار، والغطاء الأرضي. ومع تقدم الحوسنة وتطور خوارزميات الذكاء الاصطناعي (AI)، ظهرت فرص جديدة لتحسين قدرة النماذج على التنبؤ بالجريان، لاسيما في الحالات التي تتدخل فيها عوامل متعددة غير خطية. وتعد خوارزميات التعلم الآلي – ولا سيما خوارزمية

الغابة العشوائية – (Random Forest) من أبرز الأدوات التي يمكن دمجها مع مخرجات GIS لبناء نموذج تنبؤي دقيق ومرن.

**مشكلة البحث:** تتمثل المشكلة في غياب نموذج تكاملي يوظف تقنيات GIS والذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالجريان السطحي في وادي حقلان في ظل سيناريوهات التغير المناخي المستقبلية.

**أهداف البحث:** يمثل الهدف الرئيسي في إنتاج قاعدة بيانات مكانية ، للغطاء الأرضي، التربة، وخصائص الهطول المطري في حوض وادي حقلان. تطبيق نموذج SCS-CN لتقدير حجم الجريان السطحي. وبناء نموذج ذكاء اصطناعي (Random Forest) يعتمد على مدخلات مكانية وزمانية لتوقع الجريان السطحي.

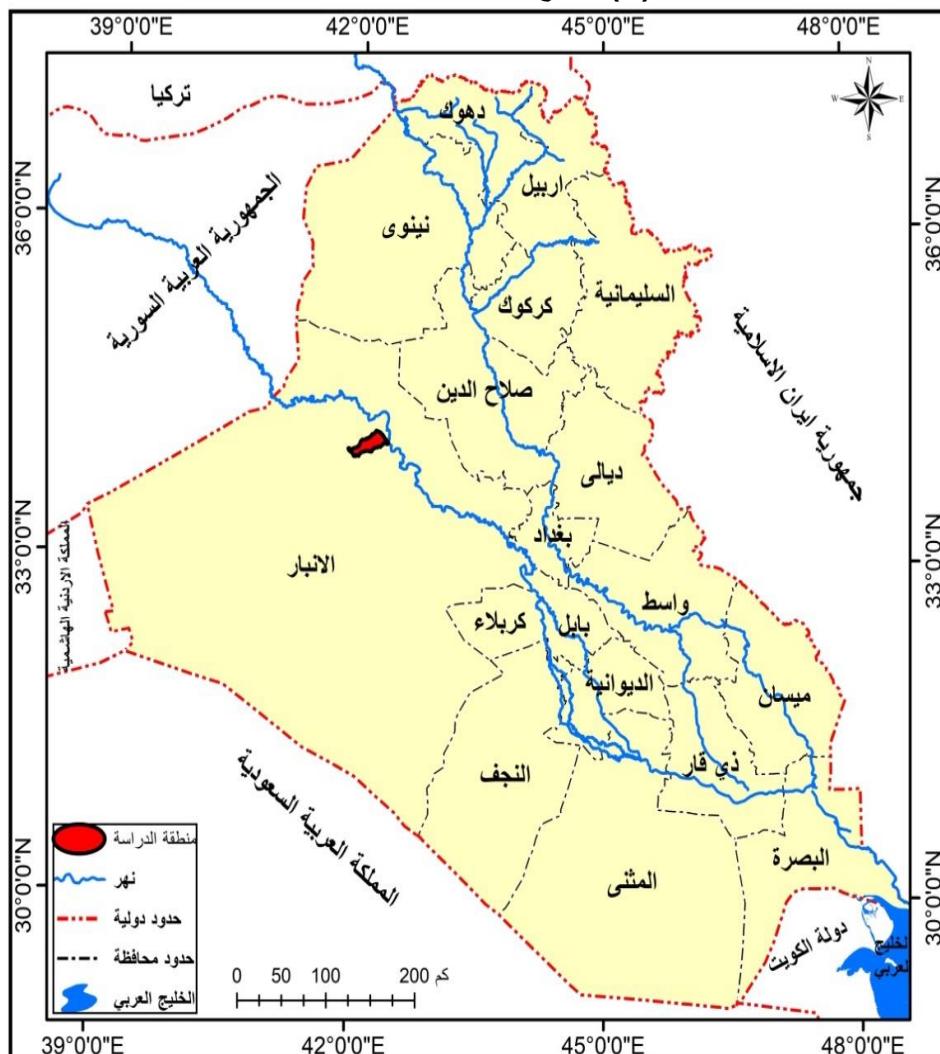
**فرضيات البحث:** إن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع نظم المعلومات الجغرافية سيؤدي إلى رفع دقة التنبؤ بالجريان السطحي مقارنة بالنماذج التقليدية. اذ توجد علاقة ارتباط قوية بين كمية الهطول، ورقم المنحنى(CN) ، الغطاء الارضي، وكميات الجريان السطحي. وتفاوت الجريان السطحي مكانياً تبعاً لتباعين الخصائص الجغرافية للحوض.

**أهمية البحث:** تبرز أهمية هذا البحث في كونه يقدم نموذجاً تكاملياً يجمع بين التحليل المكانى والتحليل الذكي للبيانات، ما يمكّن من تقديم أدوات عملية لمتخذى القرار في مجال إدارة الموارد المائية. كما أن البحث يوفر خريطة تصصيلية لمناطق الخطر الهيدرولوجي ضمن حوض وادي حقلان، يمكن الاستفادة منها في التخطيط البيئي، وبناء الهياكل الوقائية، وتقدير احتمالات الفيضانات.

**حدود البحث:** يقتصر البحث مكانياً على حوض وادي حقلان الذي يقع ضمن الحدود الادارية لمحافظة الانبار ، وتبلغ مساحة الحوض حوالي (٤٥٣.٤)كم<sup>٢</sup> ، اذ يصب الوادي في نهر الفرات ويتحدد الحوض بين خطى طول-41°53'24"E وعرض- ١٠٧٤ | العدد الواحد والأربعون

(١) ، يغطي البحث زمنياً الفترة من (٢٠٠٠ إلى ٢٠٥٠) اعتماداً على توفر بيانات الهطول والصور الفضائية.

### خرائط (١) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: بالاعتماد على : وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة،  
خرائط العراق الإدارية ، مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠١ ، سنة ٢٠٢١  
.Arc map 10.8 ومخرجات برنامج

اولاً. إنتاج قاعدة بيانات مكانية ، للغطاء الأرضي، التربة، والهطول المطري في حوض وادي حقلان.

### ١. تأثير الغطاء الأرضي على الجريان السطحي:

يُعد الغطاء الأرضي أحد العوامل الأساسية التي تؤثر على العمليات الهيدرولوجية داخل أحواض التصريف، وعلى رأسها الجريان السطحي . إذ يتحكم نوع وكثافة الغطاء النباتي في كمية المياه التي تتسرّب إلى باطن الأرض مقابل تلك التي تجري على السطح بعد هطول الأمطار، وبالتالي فإن فهم علاقة الغطاء الأرضي بالجريان السطحي يُعد خطوة أساسية في نمذجة الجريان وتقدير الفاقد المائي، كما يسهم في تحديد إدارة الموارد المائية والحد من أخطار الفيضانات والتعرية. اعتمد اشتقاء الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة خلال الفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠٢٤ على بيانات أقمار صناعية متعددة، بحسب توفرها الزمني والدقة المكانية.

يلاحظ جدول (١).

**جدول (١) الأقمار الصناعية المستخدمة لدراسة المنطقة**

القمر	سنوات التغطية
Landsat5	لتغطية السنوات من ٢٠١٠ حتى ٢٠١٢ ، بدقة مكانية ٣٠ متراً.
Landsat8	لتغطية السنوات من ٢٠١٣ حتى ٢٠١٥ ، بدقة ٣٠ متراً، مع تحسين طيفي في الحزم المستخدمة.
Sentinel-2	لتغطية السنوات من ٢٠١٦ حتى ٢٠٢٤ ، بدقة ٢٠-١٠ متراً، وتم الاشتغال على الحزم ذات الدقة العالية،

المصدر: من عمل الباحث بالأعتماد على **United States Geological Survey (USGS), EarthExplorer**

تمت معالجة هذه الصور باستخدام برنامج ArcMap، مع تطبيق مؤشر NDVI وتقنيات التصنيف الموجّه لاشتقاق طبقة الغطاء الأرضي، ثم تحليل التغيرات الزمنية وتأثيراتها الهيدرولوجية ، ومن ملاحظة خريطة(٢) وجدول (٢) يتضح الآتي:

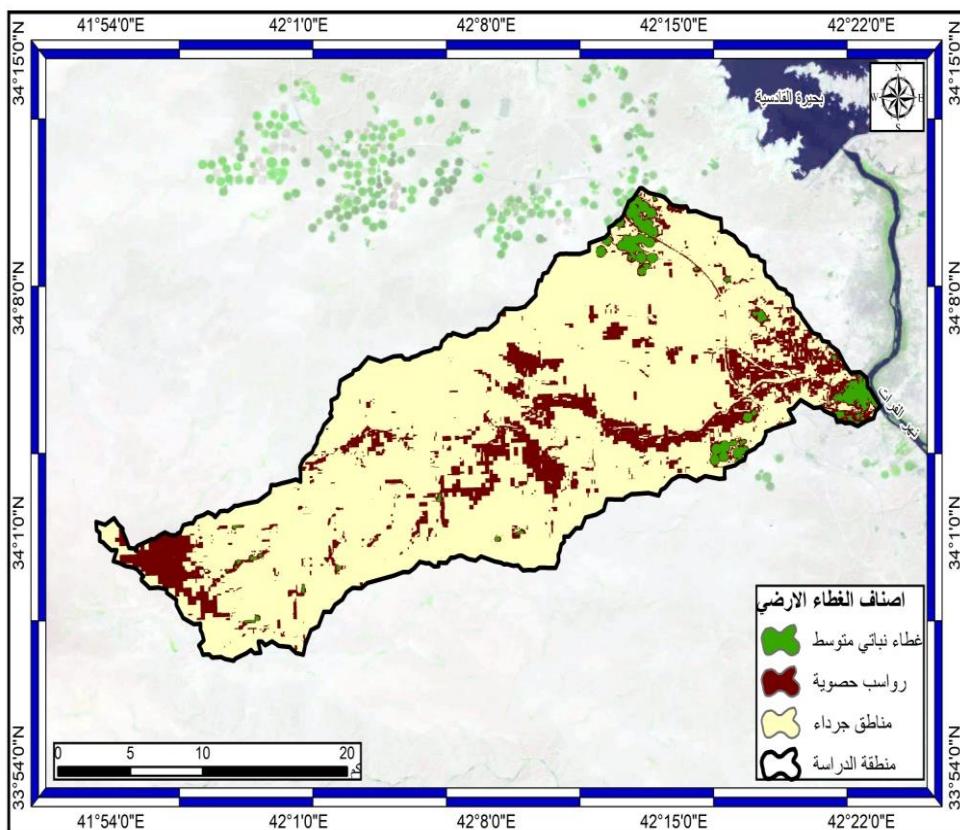
### جدول (٢) اصناف الغطاء الارضي

النسبة المئوية (%)	مساحة/كم²	صنف
2.45	11.1	غطاء نباتي متوسط
16.96	76.9	رواسب حصوية
80.59	365.4	مناطق جرداء
100	453.4	

المصدر: بالاعتماد على جدول (١).

- المناطق الجرداء : تُشكّل النسبة الأكبر من المساحة الكلية، بنسبة 80.59%， مما يشير إلى أن المنطقة تعاني من ضعف في الغطاء النباتي وظروف بيئية جافة أو شبه جافة.
- رواسب حصوية : تشغل المرتبة الثانية بنسبة 16.96%， ما يدل على تعريمة شديدة أو تضاريس وعرة وصخور مكشوفة قد تؤثر على استخدامات الأرض مثل الزراعة أو البناء.
- المناطق ذات الغطاء النباتي المتوسط : فلا تتجاوز نسبتها 2.45%， مما يوضح الندرة الكبيرة للغطاء النباتي الطبيعي أو الزراعي.

## خرائط (٢) أصناف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على ومخرجات برنامج Arc map 10.8  
جدول (١).

نستنتج مما سبق ان النسبة العالية للمناطق الجرداة والرواسب الحصوية تؤثر سلباً على قدرة التربة على امتصاص مياه الأمطار، وبالتالي قد تسهم في زيادة الجريان السطحي وخطر التعرية. انخفاض الغطاء النباتي يُضعف من عمليات تثبيت التربة ويساهم في تدهور بيئي واضح .

### ٢. أصناف التربة وخصائصها الهيدرولوجية:

تلعب التربة دوراً أساسياً في التحكم بجريان المياه السطحية، اذ تؤثر خصائصها الفيزيائية والكيميائية على كمية ونوعية الجريان. ان دراسة وتحليل الترب الهيدرولوجية تحدد مدى قدرة الأرض على امتصاص الماء أو تصريفه، مما يؤثر

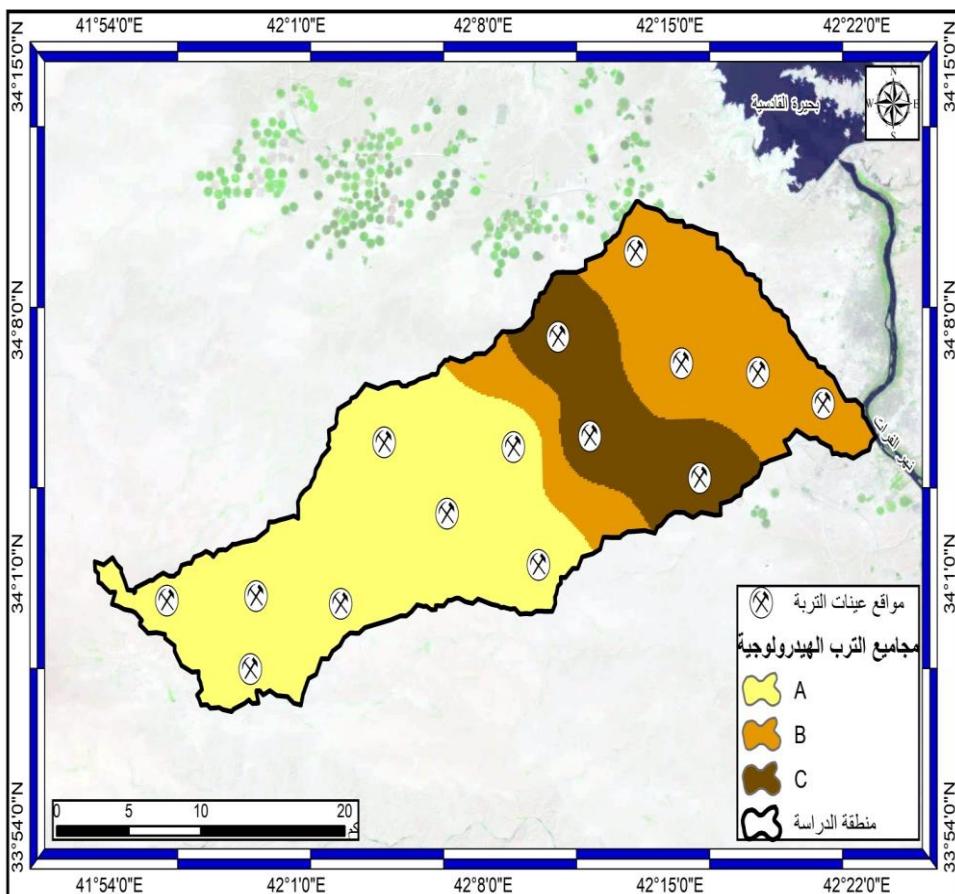
بشكل مباشر على معدلات الجريان، والفيضانات، والتسرُّب. وإن فهم هذه العلاقة مهم لإدارة الموارد المائية والتخطيط البيئي. إذ تم اخذ عينات للترَب بواقع ١٥ عينة ، ومن ملاحظة خريطة (٣) وجدول (٣) يتضح ان الحوض تضم ثلاث مجتمعات من الترَب الهيدرولوجية<sup>(١)</sup> ، وعلى النحو التالي:

- **المجموعة A :** ترب ذات نفاذية عالية، مثل الترب الرملية، تسمح بتتسُّرب معظم مياه الأمطار إلى باطن الأرض، مما يقلل من الجريان السطحي.
- **المجموعة B :** ترب متوسطة النفاذية، تحتوي على نسب معتدلة من الرمل والطين، وتسمح بتتسُّرب جزء من المياه مع بقاء جزء آخر يساهم في الجريان السطحي.
- **المجموعة C :** ترب ذات نفاذية منخفضة، تحتوي على نسب أعلى من الطين، مما يقلل من تسرب المياه ويزيد من الجريان السطحي.

---

<sup>(١)</sup> U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (1986). Urban hydrology for small watersheds (Technical Release 55).

### خرطة (٣) مجاميع الترب الهيدرولوجية



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الدراسة الميدانية ومخرجات برنامج Arc map

.10.8

اذ تنتشر مجموعة (A) والمتمثل بالترابة الصحراوية الغنية بكرbones الكالسيوم على مساحات واسعة تقدر بنحو  $231.4 \text{ كم}^2$ . وتميز هذه التربة بوجود كربونات الكالسيوم التي تؤثر على خصائصها الفيزيائية والكيميائية، مثل نفاذية الماء وقدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة. وتعد من الأنواع الشائعة في المناطق الجافة وشبه الجافة وتوجد هذا الصنف ضمن البيئات ذات الهطول المطري السنوي المنخفض (عادةً أقل من ٢٠٠ ملم) والحرارة العالية. وبسبب احتوايتها على كربونات الكالسيوم أو الجبس، فهي تشكل طبقات متصلبة جزئياً، وتأثير سلباً على تسرب

الماء، نتيجة قلة المادة العضوية وعدم وجود غطاء نباتي كثيف، تكون التربة أكثر عرضة للانضغاط أو تكون طبقة سطحية صماء، تقلل من قابلية التربة لامتصاص المياه.

**جدول (٣) مجاميع التربة ومساحتها**

المساحة/كم <sup>٢</sup>	مجاميع التربة الهيدرولوجية
231.4	A
141.8	B
80.2	C
453.4	المجموع

المصدر: من عمل الباحث بالأعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8.

اما مجموعة (B) فتتمثل بالترابة الصحراوية التي تحتوي على نسب معتدلة من الرمل والطين، وتسمح بتسرب جزء من المياه مع بقاء جزء آخر يساهم في الجريان السطحي وتشغل مساحة تقدر بنحو (١٤١.٨) كم<sup>٢</sup> ، اما بالنسبة لمجموعة (C) فهي تنتشر ضمن نطاق ضيق وبمساحة تبلغ نحو ٨٠.٢ كم<sup>٢</sup> ، واهم ما يميز هذا الصنف هو وجود طبقة طينية متراكمة تؤثر على نفاذية التربة وتبطئ حركة المياه داخلها، مما قد يزيد من الجريان السطحي.

### ٣ . تحليل بيانات الهطول المطري:

من ملاحظة جدول (٤) التي تضم بيانات الشدة المطرية للفترة من (٢٠٠٠-٢٠٢٤) المستخرجة من الأقمار الصناعية التابعة لوكالة ناسا، تم تحليل السلسل الزمنية للهطول لتحديد أعلى وأدنى شدة مطالية حدثت خلال الفترة من (٢٠٠٠-٢٠٢٤) . اذ تم استقاق هذه القيم من خلال تحليل بيانات الهطول اليومي لكل سنة، اذ جرى استخراج أقصى قيمة لكل حدث مطري ومن ثم تصنيفها ضمن فئتين تمثلت الفئة الاولى بالأمطار الكثيفة التي تؤدي الى حدوث جريان سطحي مؤقت والتي

تتراوح قيمة الامطار بحدود (٥٠ - ١٠) ملم / ساعة ، والفئة الثانية تمثل باستخراج قيم اكبر من (٥٠) ملم/ساعة . تُستخدم هذه المعلومات لاحقاً في تقييم خطر الفيضانات، تحديد معدلات الجريان السطحي، وتصنيف أحواض التصريف من اذ الاستجابة الهيدرولوجية .

ومن ملاحظة جدول(٥) وشكل (١) اذ يوضح تسجيلاً لأحداث مطرية كثيفة الشدة خلال الفترة من ٢٠٢٤ إلى ٢٠٠٠ ، اذ تراوحت الشدات بين ١٠ و ٤٩.٩ ملم/ساعة . ووفق التصنيف المستخدم في جدول(٥) سابق ذكره ، يتبيّن ان أدنى شدة بلغت (١٠.٩) ملم/ساعة في (١٧ ديسمبر ٢٠٢٤) ، واعلى شدة (٤٩.٩) ملم/ساعة في (١٧ فبراير ٢٠١٨) ، مما يتضح ان الامطار بهذه الشدة قادرة على توليد جريان سطحي ، لاسيما إذا كانت التربة مشبعة أو ذات نفاذية منخفضة ، وان تكرار الامطار المتوسطة في فترة قصيرة (عدة مرات خلال السنة) يؤدي إلى زيادة خطر الجريان السطحي والفيضانات المفاجئة.

**جدول (٤) تقسيم الشدة المطرية على وفق عمق المطر (ملم/ساعة)**

الوصف	ملم/ساعة	الشدة المطرية
امطار خفيفة على شكل رذاذ لا تسبب جريان سطحي ملحوظ	اقل من ٢	خفيفة
امطار منتظمة قد تحدث تجمعاً للمياه في المناطق المنخفضة	١٠ - ٢	متوسطة
امطار كثيفة تودي الى حدوث جريان سطحي مؤقت	٥٠ - ١٠	كثيفة
امطار شديدة تسبب خطر السيول والفيضانات	اكثر من ٥٠	كثيفة جداً

1- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill. Chapter 14.

WMO (2021). *Manual on Hydrological Practices*. World

2- Meteorological Organization.

NOAA (2020). *Rainfall Intensity Classifications*. U.S. National Weather

3- Service.

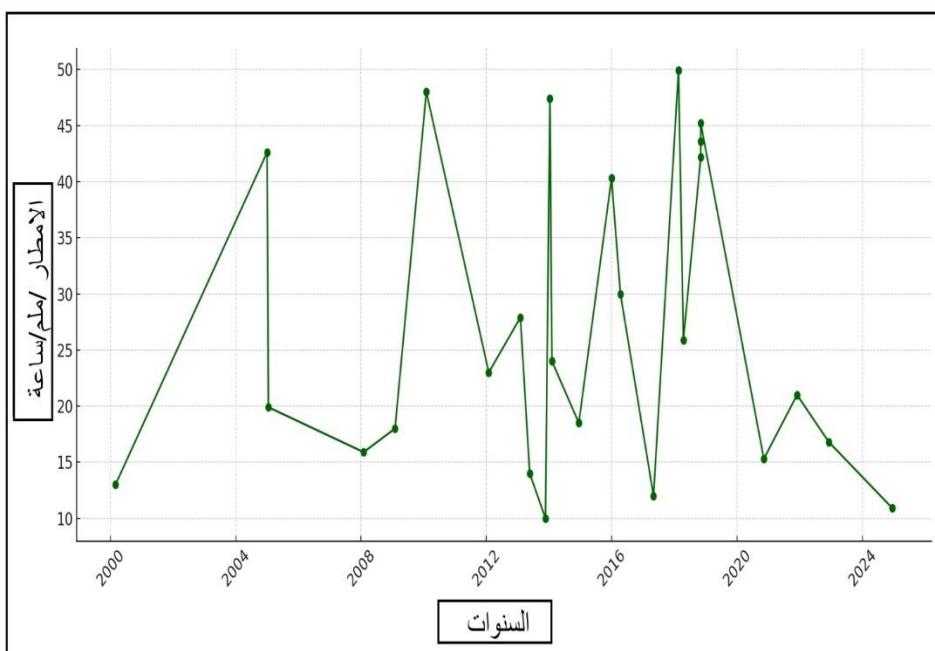
وبالتالي فإن معرفة هذه القيم لها أهمية في الدراسات الهيدرولوجية لاسيما في نمذجة الجريان السطحي، وحساب معامل الجريان لكل حدث مطري ، ثم إدخالها في خوارزميات الذكاء الاصطناعي للتتبؤ بشدة الجريان أو احتمالية الفيضان.

**جدول (٥) بيانات الشدة المطرية الكثيفة بحدود (٥٠-١٠) ملم / ساعة**

الوقت (ساعة: دقيقة)	الأمطار (ملم/ساعة)	التاريخ (سنة-شهر- يوم)
19:00	13	2/28/2000
22:00	42.6	12/30/2004
15:00	19.9	1/15/2005
22:00	15.9	1/30/2008
0:00	18	1/31/2009
2:00	48	1/31/2010
21:00	23	1/28/2012
10:00	27.9	1/31/2013
7:00	14	5/20/2013
0:00	10	11/20/2013
9:00	47.4	1/10/2014
9:00	24	2/3/2014
20:00	18.5	12/13/2014
1:00	40.3	12/30/2015
22:00	30	4/11/2016
17:00	12	5/2/2017
17:00	49.9	2/17/2018
3:00	25.9	4/16/2018
6:00	42.2	11/4/2018
13:00	43.6	11/4/2018
14:00	45.2	11/4/2018
19:00	15.3	11/8/2020
22:00	21	11/30/2021
10:00	16.8	12/6/2022
6:00	10.9	12/17/2024

**NASA. (Year). Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center.**

شكل (١) بيانات الشدة المطرية الكثيفة بحدود (٥٠-١٠) ملم /ساعة



المصدر: بالاعتماد على جدول (٥) ومخرجات Microsoft Excel Worksheet .

ومن ملاحظة الجدول (٦) يتضح ان أعلى الشدات المطرية المسجلة للفترة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٤)، تجاوزت جميع القيم (50) ملم/ساعة، مما يشير إلى هطولات مطرية شديدة قد تؤدي إلى جريان سطحي سريع ومفاجئ ، لاسيما في المناطق ذات التربة الضعيفة الامتصاص أو المنحدرات. وان تكرار هذه الشدات العالية في فترات زمنية محددة (مثل الشتاء والربيع) يُعد مؤشرًا مهمًا لاستخدامها في نماذج التنبؤ بالجريان السطحي، مثل نموذج Curve Number (CN)، إذ أن:

- شدة المطر العالية تؤدي الى احتمال أعلى للجريان السطحي المفاجئ.
- تكرار الشدة العالية يشير الى مؤشر خطر لفيضانات المستقبلية.
- تحديد أوقات الذروة المطرية يسهم في إدارة الموارد المائية وتصميم البنى التحتية.

بالتالي، تُعد هذه البيانات أساساً مهماً للتتبؤ بالأحداث الهيدرولوجية الشديدة ووضع خطط وقائية لحماية المناطق الحضرية والزراعية.

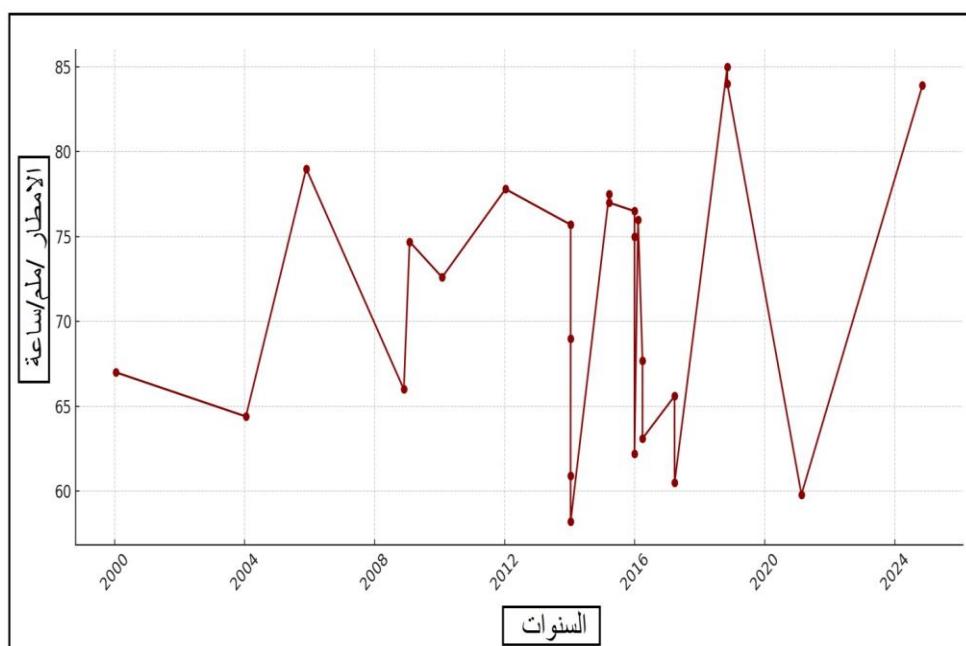
**جدول (٦) بيانات الشدة المطرية الكثيفة جداً أكثر من (٥٠) ملم / ساعة**

الوقت (ساعة: دقيقة)	الأمطار (ملم/ساعة)	التاريخ (سنة-شهر-يوم)
2:00	67	1/15/2000
3:00	64.4	1/15/2004
1:00	79	11/23/2005
14:00	66	11/23/2008
11:00	74.7	1/27/2009
23:00	72.6	1/27/2010
0:00	77.8	1/10/2012
21:00	75.7	1/10/2014
21:00	69	1/10/2014
10:00	60.9	1/10/2014
22:00	58.2	1/10/2014
12:00	77.5	3/19/2015
11:00	77	3/20/2015
12:00	76.5	12/29/2015
10:00	75	12/29/2015
12:00	62.2	12/29/2015
13:00	76	2/7/2016
16:00	67.7	3/28/2016
13:00	63.1	3/28/2016
9:00	65.6	3/23/2017
23:00	60.5	3/23/2017
15:00	85	11/6/2018
21:00	84	11/6/2018
13:00	59.8	2/16/2021
14:00	83.9	11/6/2024

**NASA. (Year). Global Precipitation Measurement (GPM) or Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), [Dataset]. NASA Goddard Space Flight Center.**

ومن ملاحظة شكل (٢) يتضح أن معظم الأحداث المطرية الشديدة تتركز خلال شهري يناير ومارس، مما يشير إلى نمط موسمي لهطول الأمطار الغزيرة قد يرتبط بالعوامل المناخية الإقليمية. وقد سجلت شهر نوفمبر شدات عالية ، ففي سنة ٢٠٠٥ سُجلت شدة بلغت ٧٩ ملم/ساعة. وفي ٢٠١٨ سُجلت أعلى شدة ٨٥ ملم/ساعة خلال اليوم. وفي ٢٠١٤ و ٢٠١٥ سُجلت عدة شدات متتالية تجاوزت أغلبها ٦٠ ملم/ساعة، مما يشير إلى أحداث مطرية متعددة وقوية خلال نفس اليوم. إن الهدف من تحليل الشدات المطرية المرتفعة ، يساعد على فهم السلوك الهيدرولوجي للأحواض المائية وتقييم أخطار الفيضانات ، إلى جانب دعم نمذجة الجريان السطحي باستخدام المعادلات الهيدرولوجية المناسبة.

شكل (٢) بيانات الشدة المطرية الكثيفة جداً أكثر من (٥٠) ملم /ساعة



المصدر: بالاعتماد على جدول (٦) ومخرجات ( Microsoft Excel Worksheet )

## ثانياً . تطبيق نموذج SCS-CN لحساب الجريان السطحي في حوض وادي حقلان:

### نموذج SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number)

هو طريقة معتمدة وشائعة لتقدير كمية الجريان السطحي الناتج عن الأمطار في حوض مائي، وذلك بناءً على خصائص التربة، والغطاء الأرضي. ويعبر رقم المنحنى (CN) عن خصائص التربة والغطاء النباتي، ويترافق بين ٠ إلى ١٠٠ ، وكلما زاد الرقم، زادت كمية الجريان السطحي المتولدة.

#### ١. خطوات حساب الجريان السطحي باستخدام (SCS-CN) <sup>(٢)</sup> :

أ- حساب كمية الماء التي يمكن أن تُحتجز في التربة قبل بدء الجريان ويرمز لها (S) ويستخرج من معادلة التالية<sup>٣</sup> :

$$S \text{ (mm)} = 25400/CN - 254$$

ب- تقدير كمية المياه التي تُفقد قبل بدء الجريان السطحي، بسبب التبخر، والامتصاص، واعتراض النباتات ويرمز لها (Ia) ويستخرج من معادلة التالية:

$$Ia = s * 0.2$$

ج- تقدير عمق مياه الجريان السطحي الناتجة عن هطول معين ويرمز لها (Q) تمثل قيمة الاحتياز الأولى الكمية الأولية من المطر التي تمتصها الأرض ولا تسهم في الجريان السطحي. اذ يؤدي تجاوز شدة المطر لهذه القيمة إلى بدء توليد الجريان. ويستخرج من معادلة التالية:

<sup>(٢)</sup> Soil Conservation Service (SCS). (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds* (Agriculture Handbook No. 590).

<sup>٣</sup> اسراء عبد الواحد علي مراد ، واخرون، هيدرولوجية حوض وادي العرجاوي، مجلة العلوم التربوية والانسانية، الامارات، العدد ٢٤، ٢٠٢٣ ، ص ١٤٦.

$$Q = \frac{(p - Ia)^2}{(p + Ia * s)}$$

اذ يمثل  $p$  الشدة المطرية ملم/ساعة  
ويشرط المعادلة ان يكون قيمة المطر (الشدة المطرية) اكبر من قيمة  $Q$  فاذا  
كانت متساوية او اقل فانها لا تولد جريان سطحي على اعتبار ان التبخر والتسرب  
عالي.

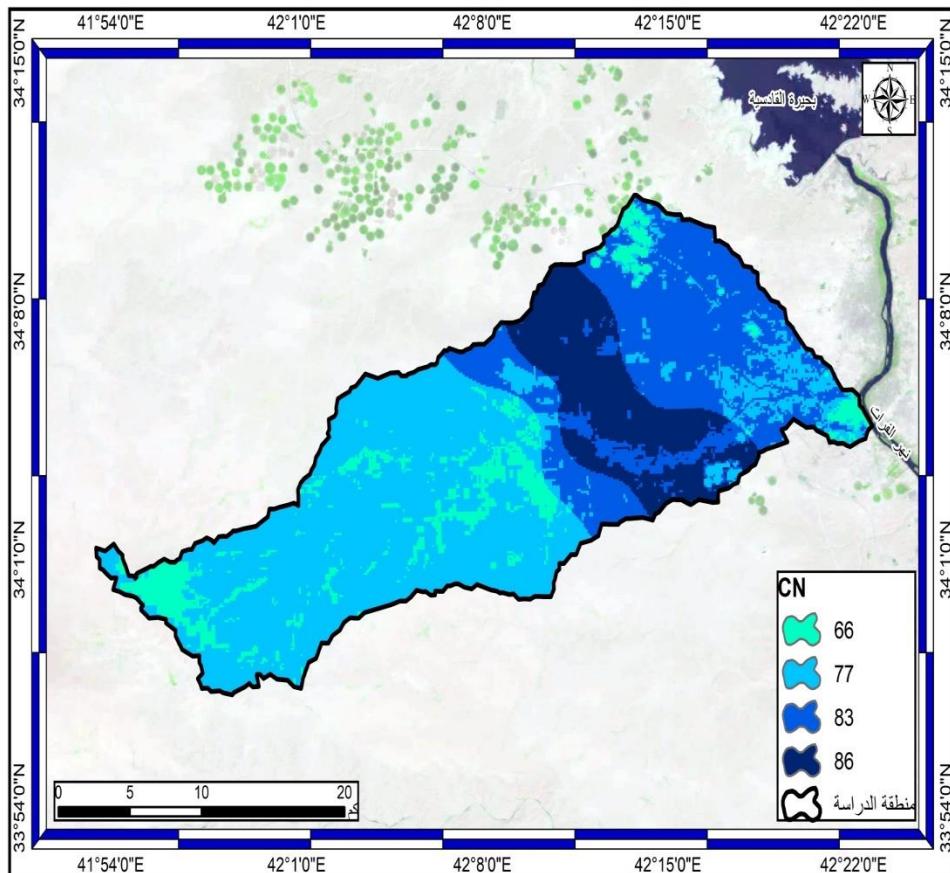
ولتطبيق المعادلة في حوض وادي حقلان، تم استنفاذ بيانات الغطاء  
الأرضي والتربة في الحوض لتحديد رقم المنحنى (CN) يلاحظ جدول (٧)،  
وخرائط (٤). ولتقدير عمق مياه الجريان السطحي الناتجة عن هطول معين ، تم  
الاعتماد على بيانات الشدات المطرية التي تم تحليلا سابقاً وبواقع حالتين متمثلاً  
بالحالة الأولى عند شدة مطرية متوسطة بحدود (١٠-٥٠) ملم والحالة الثانية بشدة  
مطرية أكثر من ٥٠ ملم / ساعة وعلى النحو الآتي:

جدول (٧) قيم CN في منطقة الدراسة

مساحة / كم <sup>٢</sup>	CN
44.4	66
226.3	77
117.4	83
65.3	86
453.4	

المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8

#### خريطة (٤) توزيع قيم CN في منطقة الدراسة



.Arc map 10.8 المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج

- **الحالة الاولى: تقدير حجم الجريان السطحي عند شدة مطرية المتوسطة**  
 (٥٠ - ١٠) ملم /ساعة:

من ملاحظة جدول (٨) يتبيّن ان عمق المطر عند شدة مطرية منخفضة (١٠ - ٢٠ مم/ساعة)، غالباً لا يحدث جريان سطحي في الأرضي ذات CN المنخفض والمتمثلة بقيمة (٦٦)، وذلك بسبب قدرة التربة على امتصاص المياه أو احترازها . ومع زيادة الشدة المطرية، تبدأ الأرضي ذات CN الأعلى (مثل ٨٣ و ٨٦) بتوليد جريان سطحي حتى عند شدة مطرية متوسطة أو منخفضة، بسبب قلة قدرة هذه الأرضي على امتصاص المياه. بالمقابل الأرضي ذات رقم المنحنى CN

العالي المتمثل بقيمة (86) تولد جريانًا سطحيًا حتى مع شدة مطرية منخفضة نسبيًا ، لاسيما عند شدة (١٣) ملم/ساعة ، اذ بلغ عمق الجريان السطحي حوالي (٠٠.٤٩) ملم، مما يشير إلى أن هذه الأرضي أقل قدرة على امتصاص المياه وتكون أكثر عرضة لتوليد الجريان السطحي.

ان عمق الجريان ( $Q$ ) يزداد بزيادة الشدة المطرية، وهو مؤشر مباشر على كمية المياه التي تتحول إلى جريان سطحي. عند الشدات المطرية الأعلى لاسيما (٤٢.٦ ، ٤٨ ، ٤٩.٩ مم/ساعة)، تصل قيم عمق الجريان إلى قيم كبيرة في الأرضي ذات CN العالية المتمثلة بقيمة(86) ، اذ تصل الى (٢٠.٨٩) ملم عند شدة مطرية (٤٩.٩) ملم / ساعة.

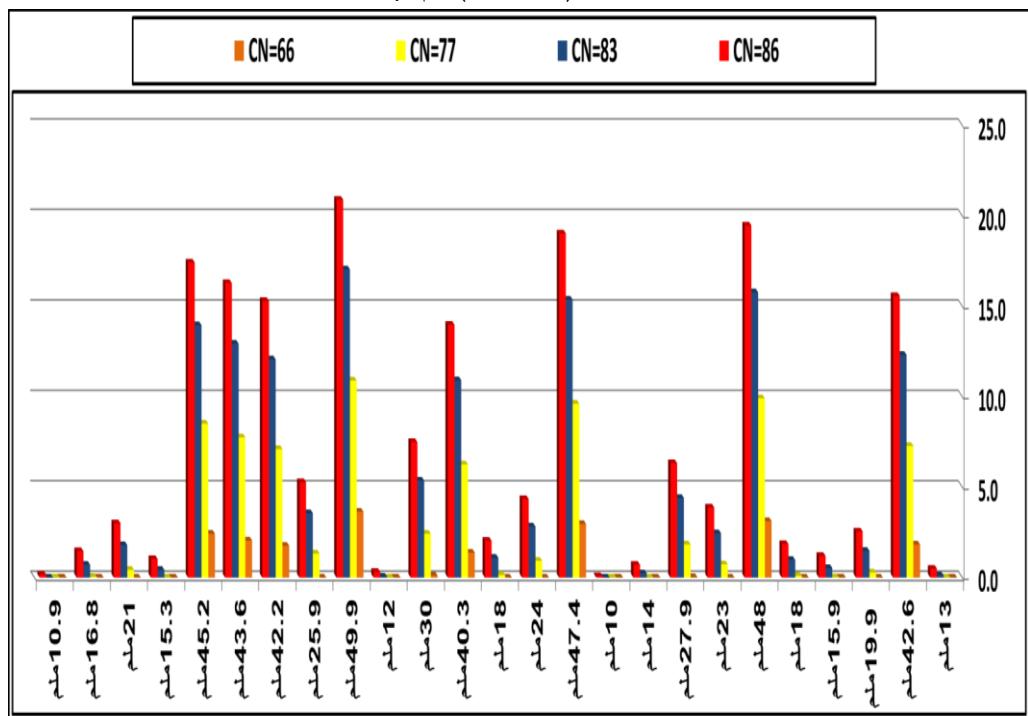
جدول (٨) عمق الجريان/ملم لما يقابلها من قيم CN حسب الشدة المطرية الكثيفة  
بحدود (٥٠-١٠) ملم/ساعة

CN=86		CN=83		CN=77		CN=66		الشدة المطرية ملم/ساعة
العمق Q	توليد جريان							
0.49	نعم	0.12	نعم	0	لا	0	لا	13
15.57	نعم	12.31	نعم	7.28	نعم	1.83	نعم	42.6
2.55	نعم	1.47	نعم	0.28	نعم	0	لا	19.9
1.19	نعم	0.52	نعم	0.01	نعم	0	لا	15.9
1.85	نعم	0.97	نعم	0.1	نعم	0	لا	18
19.47	نعم	15.77	نعم	9.91	نعم	3.12	نعم	48
3.87	نعم	2.45	نعم	0.73	نعم	0	لا	23
6.32	نعم	4.4	نعم	1.83	نعم	0.02	نعم	27.9
0.7	نعم	0.23	نعم	0	لا	0	لا	14
0.07	نعم	0	لا	0	لا	0	لا	10
19.03	نعم	15.37	نعم	9.61	نعم	2.96	نعم	47.4
4.34	نعم	2.82	نعم	0.92	نعم	0	لا	24
2.03	نعم	1.09	نعم	0.14	نعم	0	لا	18.5
13.98	نعم	10.91	نعم	6.25	نعم	1.38	نعم	40.3
7.49	نعم	5.36	نعم	2.42	نعم	0.11	نعم	30
0.31	نعم	0.05	نعم	0	لا	0	لا	12
20.89	نعم	17.04	نعم	10.9	نعم	3.64	نعم	49.9
5.27	نعم	3.56	نعم	1.33	نعم	0	لا	25.9
15.29	نعم	12.06	نعم	7.1	نعم	1.75	نعم	42.2
16.28	نعم	12.93	نعم	7.75	نعم	2.05	نعم	43.6
17.42	نعم	13.95	نعم	8.51	نعم	2.42	نعم	45.2
1.02	نعم	0.42	نعم	0	نعم	0	لا	15.3
3	نعم	1.79	نعم	0.42	نعم	0	لا	21
1.46	نعم	0.7	نعم	0.03	نعم	0	لا	16.8
0.16	نعم	0	نعم	0	لا	0	لا	10.9

المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8

يتضح من الشكل (٣) ان كلما ارتفعت قيمة CN يشير إلى سطح أقل نفاذية مثل المكافحة الصخرية أو الأرضي الجراء، وبالتالي زيادة عمق الجريان الناتج عن نفس كمية الأمطار، وعند الشدة المطرية العالية مثل (٤٨ أو ٤٩.٩ ملم/ساعة، يظهر تأثير الاختلاف في قيمة CN بشكل واضح جداً، اذ تكون الفروقات في عمق الجريان كبيرة بين الأرضي ذات النفاذية العالية المتمثلة بقيم CN تساوي (٦٦)، والنفاذية المنخفضة المتمثلة بقيم CN تساوي (٨٦). ويتبين ان المناطق ذات قيم CN ٦٦ ، تظهر غالباً بعدم قدرتها على توليد جريان سطحي عند الشدائد المنخفضة، مما يعكس قدرة هذه الأرضي على امتصاص الأمطار بسبب نفاذيتها العالية.

شكل (٣) عمق الجريان/ملم لما يقابلها من قيم CN حسب الشدة المطرية الكثيفة  
بحدود (٥٠-١٠) ملم /ساعة



المصدر: بالاعتماد على جدول (٨) ومخرجات Microsoft Excel Worksheet .

تم احتساب حجم الجريان السطحي بوحدة المتر المكعب ( $m^3$ ) باستخدام معادلة SCS-CN بعد حساب عمق الجريان لكل حالة من حالات الشدة المطرية المتوسطة وقيم رقم المنحنى (CN)، مع مراعاة المساحة السطحية لكل قيم CN ضمن حوض وادي حقلان. ويوضح من جدول (٩) ان هناك ثقاوت في حجم الجريان السطحي وهذا ناتج عن ثلاثة حالات وهي :

١- أثر رقم المنحنى CN على حجم الجريان: يعكس رقم المنحنى (CN) قدرة التربة والغطاء الأرضي على امتصاص مياه الأمطار، وتزداد قيمته بازدياد قابلية الجريان السطحي. أظهرت النتائج أن:

- القيم المنخفضة لمنحنى (CN) المتمثل بقيمتين وهي (٤٥ و ٦٦) أدت إلى أحجام جريان قليلة جدًا حتى مع الشدات المطرية العالية، ويعزى ذلك إلى الطبيعة النفاذه لهذه الترب ووجود غطاء نباتي متوسط.
- في المقابل، القيم العالية لمنحنى (CN) والمتمثلة بالقيم (٧٧، ٨٣، ٨٦ ، ٨٦) ، اذ سجلت أحجاماً مرتفعة من الجريان، لاسيما في المناطق ذات التربة الجرداة والمكافحة الصخرية، والتي لا تحفظ بالمياه بشكل فعال.

جدول (٩) حجم الجريان/ $m^3$  لما يقابلها من قيم CN بحسب الشدة المطرية الكثيفة  
بحدود (٥٠ - ١٠) ملم /ساعة

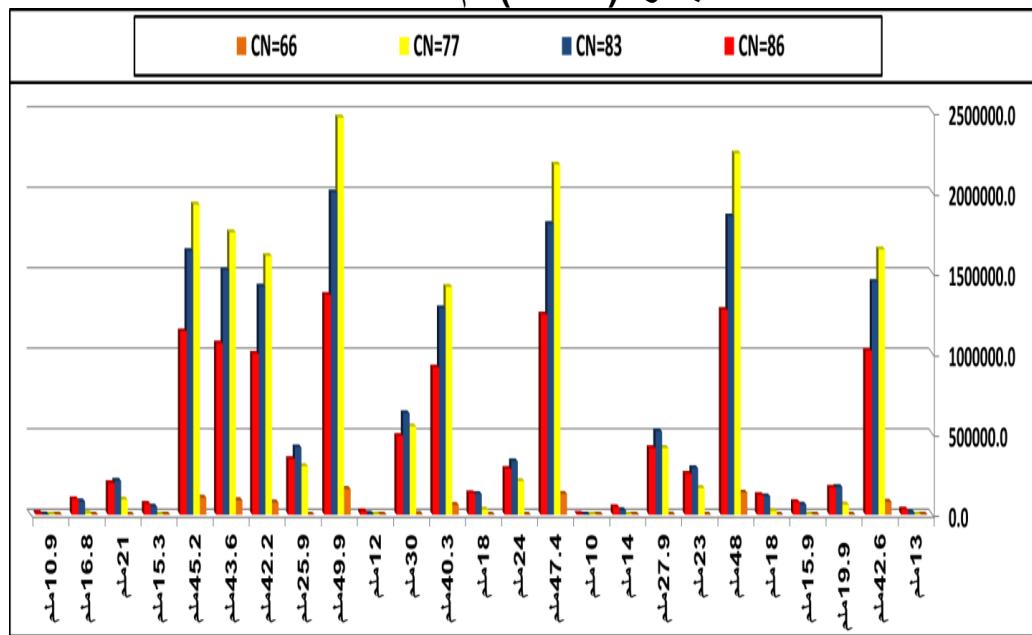
حجم الجريان/ $m^3$				الشدة المطرية ملم/ساعة
CN=86	CN=83	CN=77	CN=66	
31708.41	14476.29	0	0	13
1016930	1444902	1647877	80099.98	42.6
166719.2	172053.4	62712.36	0	19.9
77620.81	61633.76	1557.11	0	15.9
121036.6	113594.6	22965.06	0	18
1271296	1851531	2243395	136402.5	48
252657.2	288213.8	165598.4	0	23
412651.4	516891.9	413668.1	986.85	27.9
45543.86	27282.5	0	0	14
4537.91	0	0	0	10
1242382	1804988	2174136	129516.5	47.4
283078.3	330679	208135.6	0	24
132498.4	127969.8	31609.56	0	18.5
912979.8	1280809	1414574	60183.84	40.3
488828.7	629414.5	548456.8	4760.46	30
20156.26	5571.43	0	0	12
1363836	2000985	2467480	159198.2	49.9
344137	417478	300648.9	0	25.9
998648.4	1415946	1606380	76454.99	42.2
1062990	1518030	1753263	89539.01	43.6
1137710	1637156	1926632	105592.4	45.2
66710.63	49424.94	47.26	0	15.3
195684.6	210463.5	94020.01	0	21
95261.32	82189.73	7720.26	0	16.8
10272.01	548.12	0	0	10.9

المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8.

- أثر الشدة المطرية على حجم الجريان اذ أظهر زيادة في حجم الجريان مع ازدياد شدة المطر، اذ إن تأثير كل زيادة في المطر لا يكون متساوياً عبر قيم CN المختلفة:

- عند الشدات المطرية المنخفضة (أقل من ١٥ ملم/ساعة)، تكون معظم المناطق (حتى ذات CN المرتفع (ذات استجابة محدودة).
  - عند الشدات المتوسطة إلى العالية (فوق ٣٠ ملم/ساعة)، تبدأ المناطق ذات CN المرتفع في إنتاج كميات كبيرة من الجريان، في حين تظل المناطق ذات CN المنخفض محافظة على مستويات منخفضة نسبياً.
- ٣- أثر المساحة تلعب المساحة دوراً حاسماً في تحديد حجم الجريان الكلي:
- أكبر مساحة كانت (226.3) كم<sup>٢</sup> لقيمة CN تساوي (٧٧)، ولذلك ساهم بشكل كبير في الجريان الكلي الكلي، حتى لو كان العمق متوسطاً، يلاحظ شكل (٤).
  - تليها مساحة (117.4) كم<sup>٢</sup> و (43.7) كم<sup>٢</sup> لكل من قيم CN (٨٣) و (٦٦) وعلى التوالي ، شكّلت أيضاً نسباً مؤثرة في محمل حجم الجريان الناتج.

شكل (٤) حجم الجريان/م٣ لما يقابلها من قيم CN بحسب الشدة المطرية الكثيفة بحدود (٥٠-١٠) ملم /ساعة



يستنتج مما سبق إن المناطق ذات التربة الجرداء والرواسب الحصوية تعد الأكثر إسهاماً في الجريان السطحي داخل الحوض. وإن المساحات الواسعة التي تمثل قيم (CN) من منحنى (CN)، تتطلب اهتماماً خاصاً عند وضع سيناريوهات الإدارة المائية.

وإن العلاقة بين منحنى (CN) ، الشدة المطرية ، والمساحة تُظهر أهمية التكامل بين التحليل المكاني والهيدرولوجي لتقدير المخاطر المتعلقة بالفيضانات.

- **الحالة الثانية:** تقدير حجم الجريان السطحي عند شدة مطالية كثيفة جداً (أكثر من ٥ ملم/ساعة) :

يظهر من جدول (١٠) ان النتائج تشير الى زيادة واضحة في عمق الجريان السطحي  $Q$  مع ارتفاع قيم شدة المطر. وهذا يتحقق مع المبادئ الهيدرولوجية التي تؤكد أن كمية المياه المتدافعه على سطح الأرض تزداد بزيادة كمية المطر الساقطة، خصوصاً بعد تجاوز الاحتجاز الأولي  $1a$  عند قيم منخفضة لشدة المطر، تكون كمية الجريان ضئيلة أو معدومة لأن جزءاً كبيراً من المطر يتمتصه سطح الأرض أو يحتجز في الطبقة السطحية.

**جدول (١٠) يوضح تقدير حجم الجريان السطحي عند شدة مطرية الكثيفة جداً (اكثر من ٥٠ ملم / ساعة)**

CN=86		CN=83		CN=77		CN=66		الشدة المطرية / ملم
حجم الجريان / م³	عمق الجريان / ملم	حجم الجريان / م³	عمق الجريان / ملم	حجم الجريان / م³	عمق الجريان / ملم	حجم الجريان / م³	عمق الجريان / ملم	
3195535	48.95	5565282	47.43	9797753	43.31	969540	22.2	67
3085419	47.22	5358599	45.68	9440821	41.67	878807	20.11	64.4
3371285	51.62	5931869	50.51	10783079	47.63	1161546	26.58	79
3220302	49.34	5629237	47.94	9933493	43.91	954408	21.84	66
3372600	51.63	5896522	50.27	10601290	46.88	1088467	24.91	74.7
3341047	51.16	5832078	49.79	10458260	46.21	1050514	24.05	72.6
3447113	52.78	6018565	51.35	10833557	47.93	1140316	26.08	77.8
3396667	52.01	5939202	50.63	10623797	46.99	1098253	25.12	75.7
3230431	49.47	5635164	48.02	9942827	43.95	1000356	22.88	69
2790137	42.74	4834681	41.2	8465452	37.39	813000	18.6	60.9
2638278	40.4	4568995	38.91	7992638	35.32	746140	17.07	58.2
3430915	52.55	5952007	51.11	10783537	47.7	1130696	25.94	77.5
3420778	52.37	5934681	50.92	10742423	47.49	1121925	25.73	77
3407044	52.13	5908646	50.69	10688811	47.23	1111001	25.47	76.5
3370278	51.69	5858371	50.27	10601414	46.83	1089506	24.95	75
2891244	44.34	5022699	42.8	8792603	38.88	858592	19.63	62.2
3406398	52.12	5906212	50.68	10685298	47.22	1110320	25.46	76
3177986	48.6	5577953	47.08	9739673	43.06	977292	22.34	67.7
2812614	43.49	4923596	41.95	8605441	38.07	835376	19.12	63.1
2950261	45.65	5172277	44.07	9063248	40.1	894593	20.48	65.6
2738772	42.39	4795231	40.85	8336196	36.99	803536	18.4	60.5
2690213	41.71	4721486	40.17	8183632	36.32	783231	17.94	59.8
3590930	54.92	6316227	53.75	11530398	50.99	1280686	29.3	85
3563901	54.51	6257848	53.32	11420664	50.48	1257216	28.78	84
3561764	54.49	6254321	53.29	11416714	50.45	1256510	28.75	83.9

المصدر: بـالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8

وأظهرت النتائج أن زيادة قيمة (CN) ، تؤدي إلى ارتفاع عمق الجريان السطحي (Q) بشكل ملحوظ لاسيما عند شدة مطر (67) ملم، اذ ارتفع عمق الجريان من (٢٢٠.٢) ملم في حالة (CN) تساوي (٦٦) إلى (٤٨٠.٩٥) ملم عند قيمة (86) لمنحي CN.

### ثالثا . بناء نموذج ذكاء اصطناعي (Random Forest) يعتمد على مدخلات مكانية وزمانية لتوقع الجريان السطحي.

تم استخدام نموذج الغابة العشوائية (Random Forest) كطريقة تنبؤية فعالة للتعرف على العلاقة بين الشدة المطرية، ومنحي(CN) ، وحجم الجريان السطحي لودي حقلان. وتضمنت خطوات التطبيق ما يلي:

١. **جمع البيانات وتجهيزها** : تم جمع بيانات الشدة المطرية اليومية وقيم منحي (CN) وحجم الجريان السطحي ولفترة ( ٢٠٢٤ - ٢٠٠٠). اذ تم دمج هذه البيانات في قاعدة بيانات موحدة.

٢. **تقسيم البيانات** : قسمت البيانات إلى مجموعة تدريب تشكل حوالي ٧٠٪ من العينة، ومجموعة اختبار ٣٠٪، وذلك لضمان تقييم أداء النموذج على بيانات غير مدربة مسبقاً.

٣. **بناء وتدريب النموذج**: تم استخدام مكتبة (scikit-learn) في لغة البرمجة Python(لبناء نموذج RandomRegression) ، اذ تم ضبط معلمات النموذج مثل عدد الأشجار(n\_estimators) للحصول على أفضل دقة. درب النموذج على بيانات التدريب لتعلم العلاقة بين الشدة المطرية، ومنحي (CN)، وحجم الجريان.

٤. **تقييم النموذج**: تم تقييم النموذج باستخدام بيانات الاختبار، وحسبت مؤشرات الأداء مثل معامل التحديد والجذر التربيعي للخطأ المتوسط .

٥. **التنبؤ بالبيانات المستقبلية**: باستخدام النموذج المدرب، أدخلت بيانات الشدة المطرية المستقبلية المستخلصة من سيناريو التغير

المناخي (SSP245) ، للفترة (٢٠٢٥-٢٠٥٠) ، مع قيم CN ، لتوليد  
تتبؤات دقيقة بحجم الجريان السطحي المستقبلي.

تم اختيار نموذج الغابة العشوائية للقدرة على التعامل مع العلاقات غير الخطية بين الشدة المطرية، ورقم المنحنى CN، وحجم الجريان، فضلاً عن المرونة العالية في التعامل مع بيانات صغيرة نسبياً ، اذ تم اعتماد بيانات اقصى هطول يومي للفترة ( ٢٠٢٥ - ٢٠٥٠ ) ضمن سيناريو التغير المناخي (SSP245) ، وتم التعديل عليها لاستخراج الشدة المطرية ملم / ساعة ، من خلال تقسيم متوسط الهطول على عدد ساعات الهطول والمفترض خلال ساعة واحدة وهي مناسبة لمناطق شبة جافة والتي تمثل واحدة من أهم المدخلات الأساسية في تقدير حجم الجريان السطحي في حوض وادي حقلان.

تم تدريب نموذج الغابة العشوائية (Random Forest) باستخدام (٥٠) حالة من بيانات الجريان السطحي المستخرجة من العلاقة بين الشدة المطرية ومعامل المنحنى (CN). وتم تقييم أداء نموذج Random Forest بناءً على أربعة مؤشرات إحصائية رئيسية ، اذ أظهر النموذج دقة عالية في التقدير، اذ بلغ معامل التحديد ( $R^2$ ) نحو (٠.٩٢٧) ، مما يعكس قدرة النموذج على تفسير معظم التغيرات في الجريان السطحي بناءً على المتغيرات المدخلة. يلاحظ جدول (١١).

وبلغت قيمة مؤشر (RMSE) حوالي (٨٩,١٠٠) م٣ ، وبلغت قيمة (MAE) حوالي (٦١,٣٠٠) م٣ وهي ضمن الحدود المقبولة في الدراسات الهيدرولوجية. وتشير قيمة الانحراف ( +٤,٨٠٠ م٣ ) إلى ميل طفيف نحو المبالغة في التقدير، إلا أن هذا الانحراف يعد غير مؤثر على موثوقية النتائج التنبؤية ، مما يبرر اعتماد النموذج في التنبؤ بالجريان المستقبلي ضمن سيناريوهات التغير المناخي (SSP245).

جدول (١١) يوضح مؤشرات نموذج (Random Forest)

المؤشر الإحصائي	معامل التحديد ( $R^2$ )	$\text{RMSE} (\text{م}^3)$	$\text{MAE} (\text{م}^3)$	الانحياز (Bias)
القيمة	0.927	89,100	61,300	٣ م +4,800

المصدر: بالاعتماد على scikit-learn –Python– Random Forest Regression

ومن ملاحظة الجدول (١٢) يتضح ان قيم الشدة المطالية (ملم/ساعة) تتراوح خلال الفترة المدروسة بين (55) ملم/ساعة كحد أدنى و (74) ملم/ساعة كحد أقصى، اذ تمثل سنة ٢٠٣٠ ذروة الشدة المطالية، والتي يُتوقع أن تسجل فيها أعلى حجم للجريان السطحي نتيجة الأمطار الغزيرة. بالمقابل سجلت سنة ٢٠٣٥ أقل شدة مطالية ، ما يرجح أن يكون حجم الجريان فيها أقل مقارنة ببقية السنوات.

تشهد الفترة بين ٢٠٢٩ و ٢٠٢٥ شدة مطالية معتدلة نسبياً (بين ٦٤-٥٨ ملم/ساعة ، وتعكس السنوات (٢٠٣٦، ٢٠٤٥، ٢٠٤٠، و ٢٠٥٠)، زيادات ملحوظة في الشدة، مما يحمل معه ارتفاع في خطر الجريان السطحي والفيضانات. إن الاعتماد على هذه القيم في نمذجة الجريان السطحي عبر نموذج الغابة العشوائية يُسهم في تقديم تقديرات كمية دقيقة تدعم اتخاذ القرار في إدارة المياه وتحطيط استخدامات الأرضي في المستقبل.

جدول (١٢) الشدة المطرية القصوى للفترة الممتدة من سنة ٢٠٢٥ إلى سنة ٢٠٥٠ ضمن سيناريو التغير المناخي (SSP245)

الشدة المطرية القصوى (ملم/ساعة)	السنة
60	2025
59	2026
61	2027
64	2028
58	2029
74	2030
64	2031
56	2032
61	2033
64	2034
55	2035
72	2036
64	2037
68	2038
60	2039
56	2040
67	2041
64	2042
60	2043
58	2044
70	2045
66	2046
63	2047
57	2048
70	2049
68	2050

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/iraq/climate-data-projections>

تم إدخال قيم الشدة المطرية القصوى الموضحة أعلاه إلى نموذج الغابة العشوائية (Random Forest) الذي تم تدريبه سابقاً باستخدام (٥٠) حالة لبيانات تاريخية تشمل العلاقة بين الشدة المطرية، رقم المنحنى (CN)، وحجم الجريان السطحي. إذ تم الحصول على تنبؤات لحجم الجريان السطحي لكل سنة من السنوات الممتدة بين ٢٠٢٥ و ٢٠٥٠، ومن ملاحظة جدول (١٣) يتضح ان ارتفاع الشدة المطرية ، لاسيما في السنوات ٢٠٣٠ (٧٤ ملم/ساعة) و ٢٠٤٥ (٧٠ ملم/ساعة)، أدى إلى توقع أعلى قيم لحجم الجريان، لا سيما عند القيم العليا لمنحنى (CN) مثل ٨٣ و ٨٨.

بالمقابل، كانت القيم المتتبأ بها للجريان منخفضة جداً في السنوات ذات الشدة المطرية المنخفضة مثل ٢٠٣٥ (٥٥ ملم/ساعة) و ٢٠٣٢ (٥٦ ملم/ساعة)، لاسيما CN=66. يعكس النموذج سلوكاً واقعياً ودقيقاً للنظام الهيدرولوجي في منطقة الدراسة، ويوضح تأثير التفاعل المركب بين الغطاء الأرضي، ومنحنى (CN) والهطول المطري على الجريان السطحي. إن هذه النتائج تُعد ذات أهمية كبيرة في تقييم المخاطر الهيدرولوجية المستقبلية، خصوصاً في ظل التغيرات المناخية المحتملة، وتشتمل في دعم عمليات اتخاذ القرار وإدارة الموارد المائية بشكل مستدام في حوض وادي حقلان.

جدول (١٣) نتائج تباو حجم الجريان السطحي (المتر المكعب) باستخدام نموذج الغابة العشوائية (Random Forest) وفق سيناريو التغير المناخي (SSP 245)

CN=88	CN=83	CN=77	CN=66	الشدة (ملم/ساعة)	السنة
2790137	4834681	8465452	813000	60	2025
2690213	4721486	8183632	783231	59	2026
2950261	5172277	9063248	894593	61	2027
3177986	5577953	9739673	977292	64	2028
2738772	4795231	8336196	803536	58	2029
3195535	5565282	9797753	969540	74	2030
3177986	5577953	9739673	977292	64	2031
2638278	4568995	7992638	746140	56	2032
2950261	5172277	9063248	894593	61	2033
3177986	5577953	9739673	977292	64	2034
2638278	4568995	7992638	746140	55	2035
3341047	5832078	10458260	1050514	72	2036
3177986	5577953	9739673	977292	64	2037
3230431	5635164	9942827	1000356	68	2038
2790137	4834681	8465452	813000	60	2039
2638278	4568995	7992638	746140	56	2040
3220302	5629237	9933493	954408	67	2041
3177986	5577953	9739673	977292	64	2042
2790137	4834681	8465452	813000	60	2043
2690213	4721486	8183632	783231	58	2044
3372600	5896522	10601290	1088467	70	2045
3220302	5629237	9933493	954408	66	2046
3085000	5364720	9460250	895390	63	2047
2690213	4721486	8183632	783231	57	2048
3372600	5896522	10601290	1088467	70	2049
3230431	5635164	9942827	1000356	68	2050

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الجدول (١٢)، scikit-learn –Python–

Random Forest Regression

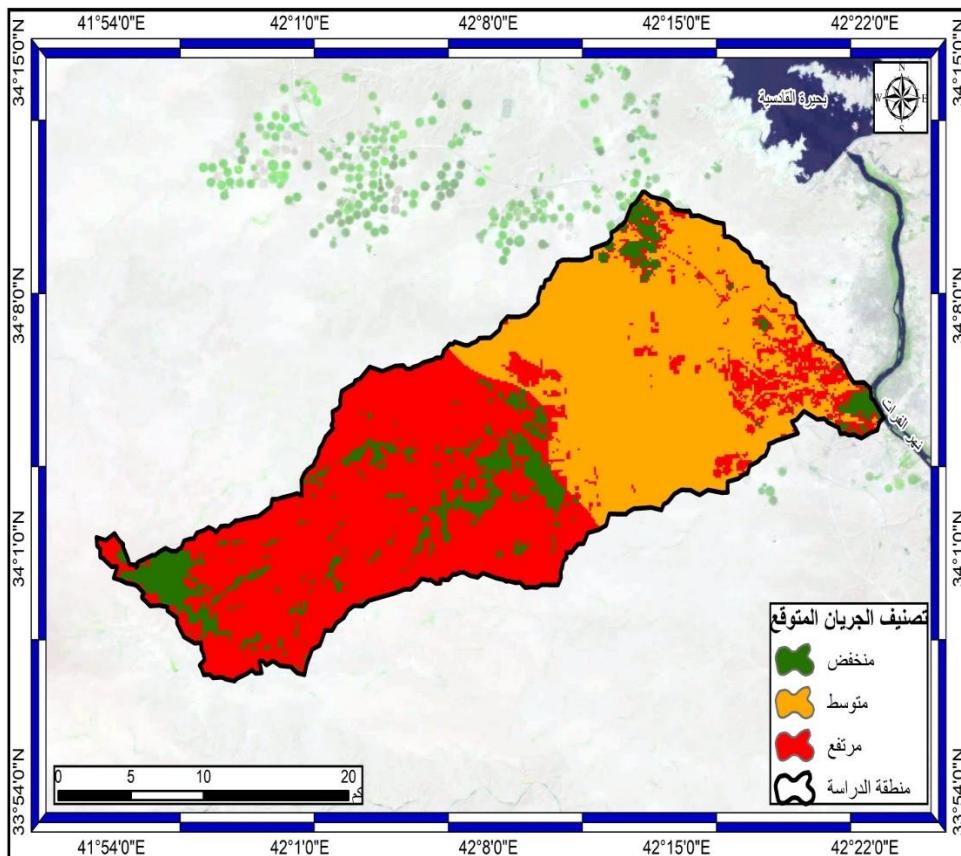
#### رابعاً. تطبيقات الاستدامة البيئية دراسة مستقبلية (٢٠٢٥-٢٠٥٠):

بناءً على نتائج التنبؤ بحجم الجريان السطحي في وادي حقلان خلال الفترة (٢٠٢٥-٢٠٥٠) باستخدام نموذج الغابة العشوائية، تم تحديد عدد من السنوات الحرجية التي سجلت شدة مطرية مرتفعة لاسيما (٢٠٣٠، ٢٠٤٥، ٢٠٥٠)، مما يدل على احتمالية حدوث فيضانات أو جريان سطحي مكثف في بعض المناطق داخل الحوض. ولأجل تعزيز الاستدامة البيئية وتقليل المخاطر، يتم الكشف عن مناطق الجريان المرتفع المتوقع وتحديد مناطق التعرية.

اذا تم استخدام نتائج التنبؤ بحجم الجريان السطحي المستقبلي بوحدة المتر المكعب ( $\text{م}^3$ ) المستخلصة من نموذج الغابة العشوائية (Random Forest)، وذلك لتحديد المناطق ذات الجريان السطحي المرتفع في حوض وادي حقلان. تم اختيار سنة (٢٠٣٠) ، كونها تُظهر أعلى شدة مطرية متوقعة (٧٤  $\text{ملم}/\text{ساعة}$ )، بحسب بيانات سيناريو التغير المناخي SSP245 ، للفترة (٢٠٢٥-٢٠٥٠). وتعُد هذه السنة مناسبة لتحديد أسوأ سيناريو محتمل لحجم الجريان السطحي وتأثيراته البيئية. تم تصنيف قيم حجم الجريان إلى ثلاثة فئات (منخفض ، متوسط ، مرتفع)، يلاحظ خريطة (٥).

## خرطة (٥) تصنیف مناطق الجريان السطحي وفق مستويات الاستدامة البيئية لسنة

٢٠٣٠



المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8

من ملاحظة جدول (١٤) تُظهر النتائج أن الجزء الأكبر من مساحة الحوض (٢٢٦.٣ كم<sup>٢</sup>) يقع ضمن فئة الجريان السطحي المتوسط ، مما يشير إلى أن أغلب مناطق الحوض تشهد جرياناً معتدلاً مع احتمال حدوث تعرية معتدلة للترابة. وفي المقابل، تمثل المناطق ذات الجريان السطحي المرتفع مساحة تقدر بـ (١٨٢.٧ كم<sup>٢</sup>، وهي مساحة كبيرة نسبياً وتشير إلى وجود خطر حقيقي محتمل من الفيضانات، لاسيما خلال السنوات الرطبة أو في حال استمرار ارتفاع شدة الهطول المطري. أما

المناطق المنخفضة الجريان فتشكل فقط ٤٤ كم<sup>2</sup>، مما يدل على وجود مناطق امتصاص أو تغفل عالي للمياه (لاسيما مناطق الغطاء النباتي أو الترب الرملية).

#### جدول (١٤) تصنیف مناطق الجريان السطحي وفق مستويات الاستدامة البيئية لسنة

٢٠٣٠

المساحة(كم <sup>2</sup> )	استراتيجيات الاستدامة البيئية	تصنيف الجريان المتوقع
44.4	مناطق بحاجة لتدخل بيئي مباشر (حصاد مائي)	منخفض
226.3	مناطق مناسبة لإدارة معتدلة (زراعة مطرية وممارسات الحفظ الزراعي)	متوسط
182.7	(تغذية المياه الجوفية) وإعادة تشجير	مرتفع
453.4	المجموع	

المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8.

ومن ملاحظة خريطة (٦)، تم الاعتماد على التصنيف المكاني للجريان السطحي لتوجيهه استراتيجيات الاستدامة في الحوض وعلى النحو الآتي:

١. **المناطق ذات الجريان السطحي المنخفض**: تُعد هذه المناطق مستقرة بيئياً نسبياً، ويمكن استثمارها في مشاريع الحصاد المائي لاسيما مدرجات المصاطب ، اذ تتميز المنطقة بالانحدار الطفيف إلى المعتدل أقل من (١٠٪) في أجزاء واسعة من المنطقة، مما يسهل إنشاء مصاطب أفقية دون الحاجة إلى تدخلات هندسية معقدة فضلاً عن انتشار الترب من المجموعة

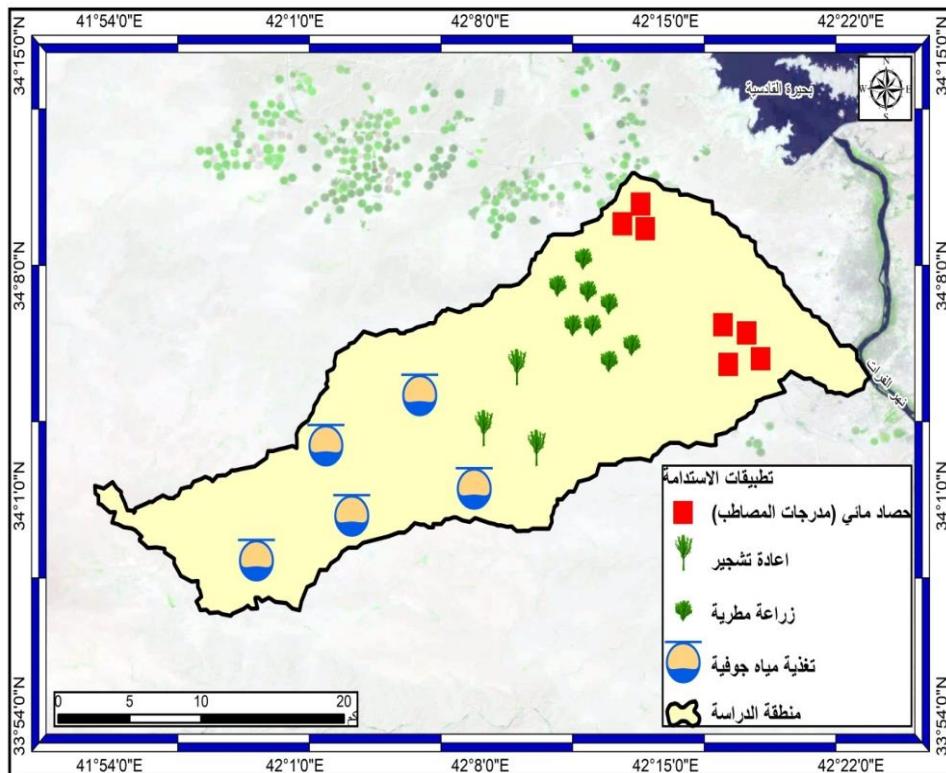
(A) التي تتمتع بنفاذية عالية، ما يجعلها مثالية لتقنيات الحصاد المعتمدة

على تعزيز التسرب بدلاً من الخزن السطحي. وإن انخفاض الجريان السطحي في هذه المنطقة، يعني أن أغلب مياه الأمطار تفقد بالتبخر أو التسرب السريع، وبالتالي فإن إنشاء مصاطب يساهم في إبطاء الجريان وزيادة فعالية الامتصاص. كما أن ضعف الغطاء النباتي يجعل المنطقة عرضة للتعرية، ويزّر الحاجة إلى تدخلات استصلاحية مثل المصاطب التي تُسهم في تثبيت التربة وتحفيز نمو الغطاء النباتي.

٢. المناطق ذات الجريان السطحي المتوسط : تمثل مناطق انتقالية بين الاستقرار والخطر، وتتطلب إدارات معتدلة لتعزيز توازن النظام البيئي، لاسيما تشجيع الزراعة المطيرية المستدامة بما يتاسب مع خصائص التربة والمناخ. واعتماد ممارسات الحفظ الزراعي (مثل خطوط الكنتور، والزراعة بدون حراثة) لتقليل الفاقد من التربة والمياه. وزراعة محاصيل موسمية ذات جذور عميقه لتحسين بنية التربة وتقليل التآكل.

٣. . المناطق ذات الجريان السطحي المرتفع: تمثل هذه المناطق خطراً بيئياً مرتفعاً نظراً لاحتمالية تعرضها للفيضانات والتعرية وفقدان التربة. لذا، يُوصى بتطبيق تقنيات الحصاد المائي مثل بناء مصائد الجريان، الخزانات الصغيرة، والسدود الترابية لتغذية الخزان الجوفي ، وإعادة تثمير المناطق العارية أو ذات الانحدار العالي لتعزيز الغطاء النباتي وتقليل تدفق السطح.

## خرطة (٦) تطبيقات الاستدامة البيئية وفق تصنيف مناطق الجريان السطحي



المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8

### الاستنتاجات:

- أظهر نموذج الغابة العشوائية (Random Forest) دقة عالية في التنبؤ بالجريان السطحي مقارنة بالنماذج التقليدية، بفضل قدرته على التعامل مع العلاقات غير الخطية بين الشدة المطرية، رقم المنحنى (CN)، وحجم الجريان.
- يمثل رقم المنحنى (CN) عاملًا حاسماً في تحديد كمية الجريان السطحي، إذ كلما زادت قيمته دل على سطح أقل نفاذية وأكثر قابلية للجريان، والعكس صحيح.

٣. تتفاوت شدة الجريان السطحي مكانيًا تبعًا لتوزيع أصناف التربة والغطاء الأرضي في الحوض، اذ تتركز أعلى القيم في المناطق الجرداء ورواسب الحصوية.

٤. تسجل السنوات ٢٠٣٠ و ٢٠٤٥ و ٢٠٥٠ أعلى قيم للشدة المطيرية وفق سيناريو المناخ SSP245، ما يجعلها سنوات حرجية من اذ خطر الفيضانات.

٥. أظهرت النتائج أن المساحات الواسعة ذات الجريان المتوسط تمثل النسبة الأكبر من الحوض، مما يدل على أهمية الإدارة المعتدلة لقليل المخاطر وتحقيق الاستدامة.

الوصيات:

١. تعزيز تقنيات الحصاد المائي في المناطق ذات الجريان المرتفع، خاصة في وسط الحوض، للحد من الفيضانات وتحفيز تغذية الخزان الجوفي.
  ٢. إعادة تشجير المناطق العارية والمنحدرة لحماية التربة من التعرية وزيادة قدرة الامتصاص وتقليل الجريان السطحي.
  ٣. اعتماد الزراعة المطرية المستدامة في المناطق ذات الجريان المتوسط مع استخدام تقنيات حفظ التربة والمياه مثل خطوط الكنتور والزراعة بدون حراثة.
  ٤. استثمار المناطق ذات الجريان المنخفض في مشاريع التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، وحمايتها من التوسيع العمراني غير المخطط.
  ٥. استخدام نتائج النماذج التنبؤية في خطط إدارة الموارد المائية، والتخطيط العمراني والبيئي لمواجهة آثار التغيرات المناخية.

المصادر والهواش:

1. Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
2. World Meteorological Organization. (2021). *Manual on hydrological practices*. WMO.
٣. مراد، إ. ع. أ.، عليوي، آ. س. ح.، & عبد الحسين، ب. ع. (٢٠٢٣). هيدرولوجية حوض وادي العرجاوي غرب بحيرة الرزازة . *Journal of Educational and Human Sciences*, 24, 102–124. <https://doi.org/10.33193/JEAHS.24.2023.364>
4. NOAA. (2020). *Rainfall intensity classifications*. U.S. National Weather Service.
5. NASA. (n.d.). *Global Precipitation Measurement (GPM) and Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*. NASA Goddard Space Flight Center. <https://gpm.nasa.gov>
6. United States Geological Survey. (n.d.). *EarthExplorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov>
7. World Bank. (n.d.). *Climate change knowledge portal: Iraq projections under SSP245*. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org>
٨. وزارة الموارد المائية – الهيئة العامة للمساحة. (٢٠٢١). خريطة العراق الإدارية، مقاييس ١:١,٠٠٠,٠٠٠ .

## Sources and Footnotes:

1. Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
2. World Meteorological Organization. (2021). *Manual on Hydrological Practices*. WMO.
3. Murad, I. A. A., Alawi, A. S. H., & Abdul-Hussein, B. A. (2023). *Hydrology of the Wadi al-Arjawi Basin, West of Lake Razaza*. *Journal of Educational and Human Sciences*, 24, 102–124.  
<https://doi.org/10.33193/JEAHS.24.2023.364>
4. NOAA. (2020). *Rainfall Intensity Classifications*. U.S. National Weather Service.
5. NASA. (n.d.). *Global Precipitation Measurement (GPM) and Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*. NASA Goddard Space Flight Center. <https://gpm.nasa.gov>
6. United States Geological Survey. (n.d.). *EarthExplorer*.  
<https://earthexplorer.usgs.gov>
7. World Bank. (n.d.). *Climate Change Knowledge Portal: Iraq Projections under SSP245*.  
<https://climateknowledgeportal.worldbank.org>
8. Ministry of Water Resources – General Commission for Survey. (2021). *Administrative Map of Iraq, Scale 1:1,000,000*.

