

تطوير نموذج هيدرولوجي هجين لتمثيل الجريان السطحي باستخدام (SCS-CN)
وخوارزمية (Random Forest) في حوض وادي آر حمه

أ.م.د. علي سليمان ارزيك الكربولي/ المديرية العامة لتربية الانبار

alisu8720@gmail.com

أ.د. محمد موسى حمادي الشعباني / جامعة الانبار/ كلية الآداب/ قسم الجغرافية

mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq

أ.م.د. صلاح عثمان عدنان العاني / المديرية العامة لتربية الانبار

Dr.salah.ALani@gmail.com



*Development of a Hybrid Hydrological Modeling Approach for Runoff
Estimation Using SCS-CN and Random Forest in the Wadi Ar Rahma Basin*

Asst. Prof. Dr. Ali Suleiman Erzik Al-Karbouli
Education General Directorate of Anbar Education
Prof. Dr. Mohammed Mousa Hammadi Al-Shaibani
University of Anbar / College of Arts / Department of Geography
Asst. Prof. Dr. Salah Othman Abdel-Ani
Education General Directorate of Anbar Education



المستخلص

يهدف هذا البحث إلى تطوير إطار نمذجة هيدرولوجية هجين يجمع بين نموذج رقم المنحنى (SCS-CN) وتقنيات التعلم الآلي، بهدف تحسين دقة تقدير الجريان السطحي في حوض وادي آر حمه البالغة مساحته (٤٣.٦ كم^٢). اعتمدت الدراسة على التحليل المكاني لمجموعة من المتغيرات الطبيعية المؤثرة في الاستجابة الهيدرولوجية، شملت استعمالات الأرض، والمجاميع الهيدرولوجية للتربة، وخصائص الانحدار. أظهرت النتائج أن التربة السائدة في الحوض تنتمي إلى المجموعة الهيدرولوجية (B)، وتمتاز بكونها تربة بنية حمراء متوسطة إلى ضحلة العمق، مكونة من الغرين والحصى، وبنفاذية متوسطة. كما بين تحليل الخصائص التضاريسية أن الارتفاعات تتراوح بين (١٠٧-١٨٧ م) فوق مستوى سطح البحر، في حين تتباين درجات الانحدار بين (٠-١٢.٢١°)، مما يعكس طبيعة تضاريسية معتدلة تسهم في التحكم بسرعة الجريان السطحي وتباينه المكاني.

تم تطبيق نموذج (SCS-CN) بصيغته التقليدية، ثم جرى تطوير نموذج محسن باستخدام خوارزمية (Random Forest) لإعادة تقدير قيم رقم المنحنى استناداً إلى المتغيرات البيئية. وأظهرت نتائج المقارنة بين النموذجين وجود فروق مكانية تراوحت بين (-٢١) و(١٩+)، بما يشير إلى تحسن واضح في تمثيل التباين المكاني للاستجابة الهيدرولوجية عند اعتماد النموذج الهجين. كما تبين أن (٦٢.٢%) من مساحة الحوض تقع ضمن فئة الاستجابة المتوسطة (٢٧.١ كم^٢)، مقابل (٢٦.٤%) للاستجابة المنخفضة (١١.٥ كم^٢)، و(١١.٤%) للاستجابة المرتفعة (٥ كم^٢).

تؤكد النتائج أن دمج تقنيات التعلم الآلي مع نموذج رقم المنحنى التقليدي يسهم في تعزيز دقة تمثيل الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض المائية، من خلال إدماج التأثيرات المكانية للمتغيرات الطبوغرافية والبيئية ضمن عملية النمذجة. وتبرز أهمية هذا النهج في دعم دراسات تقدير الجريان السطحي وتخطيط إدارة الموارد المائية، لا سيما في المناطق المعرضة لمخاطر السيول. الكلمات المفتاحية: الجريان السطحي، SCS-CN، النمذجة الهيدرولوجية الهجينة، Random Forest، التحليل المكاني، الاستجابة الهيدرولوجية.

Abstract

This study aims to develop a hybrid hydrological modeling framework that integrates the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) model with machine learning techniques to improve the accuracy of runoff estimation in the Wadi Ar Rahma basin, which covers an area of 43.6 km². The study is based on the spatial analysis of key environmental variables influencing the basin's hydrological response, including land use, hydrological soil groups, and slope characteristics. The results indicate that the dominant soils in the basin belong to hydrological group (B), characterized as moderately permeable, reddish-brown soils of moderate to shallow depth, composed mainly of silt and gravel. Terrain analysis further reveals that elevations range between 107 and 187 meters above sea level, while slope gradients vary from 0 to 12.21°, reflecting relatively moderate topographic conditions that influence both the velocity and spatial distribution of surface runoff.

The conventional SCS-CN model was first applied, followed by the development of an enhanced model using the Random Forest algorithm to recalibrate curve number values based on environmental variables. Comparative results between the two models show spatial differences ranging from -21 to +19, indicating a significant improvement in representing the spatial variability of hydrological response when using the hybrid model. The findings also show that 62.2% of the basin area falls within the moderate response category (27.1 km²), while 26.4% corresponds to low response (11.5 km²), and 11.4% to high response (5 km²).

The results confirm that integrating machine learning techniques with the traditional SCS-CN model enhances the accuracy of hydrological response representation in drainage basins by incorporating the spatial influence of topographic and environmental variables into the modeling process. This approach demonstrates strong potential for supporting runoff estimation studies and water resources management planning, particularly in flood-prone regions.

Keywords: Runoff, SCS-CN, Hybrid Hydrological Modeling, Random Forest, Spatial Analysis, Hydrological Response.

بسم الله الرحمن الرحيم

أولاً: المقدمة:

تُعد النمذجة الهيدرولوجية أداة أساسية لفهم سلوك الأحواض المائية وتحليل استجابتها للأحداث المطرية، خاصة في البيئات شبه الجافة التي تتميز بتباين طبوغرافي واضح. ويُعد الجريان السطحي من أكثر مكونات الدورة الهيدرولوجية حساسية، نظراً لارتباطه بمخاطر السيول وتعرية التربة وإدارة الموارد المائية، ويتأثر بعدة عوامل تشمل طبيعة سطح الأرض، الانحدار، نوع التربة، واستعمالات الأرض. يُعد نموذج رقم المنحنى (SCS-CN) من أكثر النماذج استخداماً لتقدير الجريان السطحي استناداً إلى نوع التربة واستعمالات الأرض، إلا أن اعتماده على قيم جدولية ثابتة قد لا يعكس بدقة التباين المكاني في الأحواض المعقدة، مما دفع الباحثين إلى دمج النماذج التقليدية مع تقنيات التعلم الآلي لتحسين دقة التنبؤ بالعمليات الهيدرولوجية (الخفاجي، ٢٠١٤، ص ٨٧). تُعد خوارزمية الأشجار العشوائية (Random Forest) من أبرز أدوات التعلم الآلي، لما تتميز به من قدرة على تحليل العلاقات غير الخطية وإدخال عدة عوامل مكانية ضمن النمذجة، وقد أثبتت كفاءتها في تحسين تقدير الجريان السطحي من خلال دمج الانحدار ونوع التربة واستعمالات الأرض والخصائص الطبوغرافية. تهدف الدراسة الحالية إلى تطبيق نموذج هجين يجمع بين SCS-CN و Random Forest لتحسين تقدير الجريان السطحي وفهم تأثير العوامل الطبيعية على الاستجابة الهيدرولوجية، مع دمج الأساليب الكلاسيكية للتحليل الهيدرولوجي والأدوات الحديثة للتحليل المكاني والذكاء الاصطناعي، بما يسهم في إدارة الموارد المائية في المناطق المعرضة لمخاطر السيول والجريان السطحي.

١. **مشكلة البحث:** يعاني نموذج رقم المنحنى (SCS-CN) التقليدي من عدم قدرته على تمثيل التباين المكاني الفعلي لرقم المنحنى داخل الحوض المائي، نتيجة اعتماده على قيم جدولية معيارية، مما يؤدي إلى تجاهل الفروقات الطبوغرافية الدقيقة المؤثرة في تولّد الجريان السطحي، وعلى ضوء ذلك انبثقت المشكلات الفرعية التالية:
 - عدم استيعاب نموذج (SCS-CN) للفروقات الطبوغرافية والخصائص الطبيعية للحوض مثل الانحدار ونوع التربة واستعمالات الأرض.
 - الحاجة إلى دمج تقنيات التعلم الآلي لتحسين تقدير رقم المنحنى دون فقدان الطابع الفيزيائي للنموذج.
 - صعوبة تمثيل الاستجابة الهيدرولوجية بشكل مكاني دقيق باستخدام النماذج التقليدية فقط.
٢. **فرضية البحث:** يمكن تحسين التمثيل المكاني لرقم المنحنى (CN) داخل الحوض المائي من خلال دمج نموذج (SCS-CN) التقليدي مع تقنيات التعلم الآلي (Random Forest)، مما يتيح تقديراً أكثر دقة للجريان السطحي ويعكس التباين الطبوغرافي والبيئي الفعلي للحوض. وجاءت الفرضيات الفرعية على النحو التالي:
 - دمج المتغيرات الطبوغرافية (مثل الانحدار والارتفاع) مع بيانات التربة واستعمالات الأرض ضمن نموذج هجين يحسّن دقة تقدير رقم المنحنى.
 - استخدام خوارزمية Random Forest يعزز التمثيل المكاني للاستجابة الهيدرولوجية دون الإخلال بالهيكل الفيزيائي لنموذج SCS-CN.
 - النموذج الهجين سيقول الفروق المكانية بين التقديرات التقليدية للجريان السطحي والاستجابة الهيدرولوجية الفعلية للحوض.

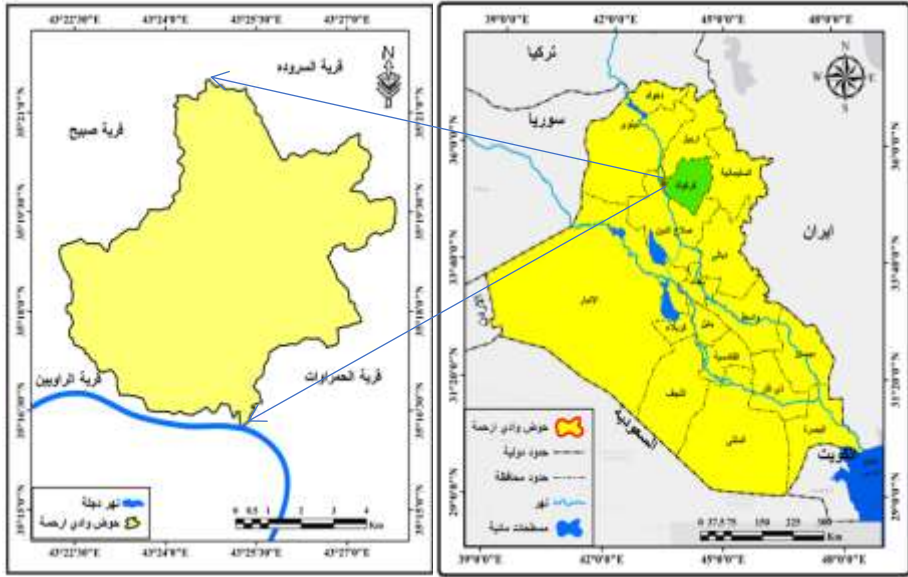
٣. **منهج البحث:** تم اتباع منهج كمي تحليلي تطبيقي يجمع بين النمذجة الفيزيائية، والتحليل المكاني، وتقنيات التعلم الآلي، بالإضافة إلى التحليل الإحصائي، بهدف تطوير نموذج هجين يعالج الثغرات التي قد تظهر في نموذج (SCS-CN)، لا سيما في المناطق ذات الاستخدامات المتعددة للأرض. يتيح هذا المنهج تكامل البيانات المكانية والبيانات البيئية لتعزيز دقة تمثيل الجريان السطحي وتحليل الاستجابة الهيدرولوجية للحوض بشكل أكثر واقعية.

٤. **هدف البحث وأهميته:** يهدف البحث إلى تطوير إطار نمذجة هيدرولوجية هجين يدمج نموذج رقم المنحنى (SCS-CN) مع تقنيات التعلم الآلي، بغرض تحسين التمثيل المكاني للجريان السطحي في حوض وادي آر حمه، مع الحفاظ على الاتساق الفيزيائي والاستقرار العددي للنموذج. وتكمن الأهمية العلمية للدراسة في تقديم قراءة حديثة لنموذج (SCS-CN)، إذ يتم الجمع بين أساسه الفيزيائي الأصلي وتقنيات التعلم الآلي، مما يعزز دقة التنبؤ بالاستجابة الهيدرولوجية ويدعم اتخاذ القرارات في إدارة الموارد المائية، خاصة في الأحواض المعرضة لتباين تضاريسي وبيئي كبير.

ثانياً: الخصائص الطبيعية: ويتم تناول فيه ما يلي:

١. **الموقع:** يقع حوض وادي آر حمه شمال العراق، ضمن الحدود الادارية لمحافظة وكركوك، في الجزء الشمالي الغربي منها، ممتدا بين دائرتي عرض ("35°16'15.6" - "35°21'32.4" شمالاً وخطي طول ("43°22'15.6" - "43°27'46.8" شرقاً، ويغطي مساحة إجمالية تبلغ حوالي (٤٣.٦ كم^٢) (خريطة ١).

الخريطة (١): الموقع الجغرافي لحوض وادي آر حمه



المصدر: بالاعتماد على برنامج Arc Map GIS10.8.

تتميز هذه المنطقة بتساقط مطري سنوي مناسب يسهم في زيادة الاستجابة الهيدرولوجية وعمليات الجريان السطحي بشكل ملحوظ، كما تعزز طبيعة التكوينات الجيولوجية قدرة الحوض على الاستجابة لهذه العمليات، لا سيما الرواسب التي تغطي المنطقة. وقد تم اختيار الحوض بوصفه حوضاً شبه جاف يتميز بتباين مكاني واضح في الانحدار، واستعمالات الأرض، ومجموعات التربة الهيدرولوجية، مما يجعله موقعاً مثالياً لاختبار فرضية تحسين التمثيل المكاني لنموذج (SCS-CN).

٢. **الجيولوجيا:** تلعب الخصائص الجيولوجية دوراً محورياً في الدراسات الهيدرولوجية، نظراً لتأثيرها المباشر على عمليات الجريان السطحي، والتي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمسامية الصخور وقدرتها على النفاذية. وبحسب تحليل الواقع الجيولوجي لمنطقة البحث (خريطة ٢)، تتألف تكوينات الحوض من ترسبات العصر الرباعي، والتي تتميز بأنها شبه متماسكة ومكونة بشكل متعاقب من الحصى، والرمل، والغرين،

والطين، وينسب متفاوتة بين منطقة وأخرى (الدليمي، الكربولي، ٢٠١٨، ص ٣٢٠).
يمكن تقسيم هذه الترسبات إلى الفئات التالية:

الخريطة (٢): التكوينات الجيولوجية لحوض وادي آر حمه



المصدر: بالاعتماد على لوحة كركوك الجيولوجية الهيئة العامة للمسح الجيولوجي

والتعدين ومخرجات برنامج Arc Map 10.8

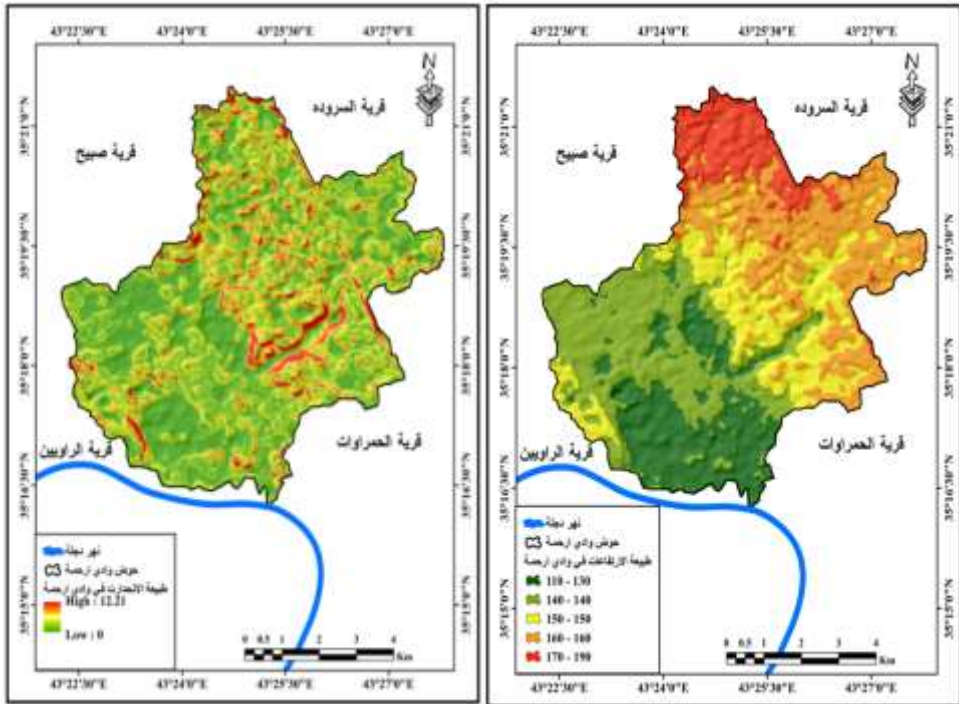
١. رواسب متعددة الأصول: توجد في المناطق المستوية ذات الانحدار القليل، وتتميز بتباين كبير في التركيب نتيجة اختلاف مصادرها، وتحتوي غالباً على الرمل والطين الجبسي والصخور المتكسرة. يتراوح سمك هذه الترسبات بين (١-٣) م، وتستغل غالباً للأغراض الزراعية.

٢. السهول الفيضية وترسبات الاودية: تتكون أساساً من الغرين والرمل والطين، وتباين سماكتها وخصوبتها حسب الموقع. فالترسبات القريبة من مجرى النهر تصل سماكتها إلى حوالي (٥) م، وتتميز بتصريف جيد، بينما تقل سماكتها وتصبح تربتها

أقل مسامية مع الابتعاد عن المجرى نحو الضفاف، ما يجعلها ذات تصريف ضعيف (عبود، ٢٠١١، ص ١٤).

٣. الخصائص الطبوغرافية: تشير نتائج تحليل نموذج الارتفاع الرقمي لحوض وادي آر حمه إلى أن الارتفاعات تتراوح بين ١٠٧ و ١٨٧ م فوق مستوى سطح البحر، ما يعكس طبيعة سطحية معتدلة التضرس. وتتوزع هذه الارتفاعات تدريجياً من الأجزاء العليا للحوض نحو المناطق المنخفضة باتجاه مجرى الوادي الرئيس. أما الانحدار فقد تراوحت قيمه بين ٠ و ١٢.٢°، مما يدل على أن معظم مساحة الحوض تقع ضمن الانحدارات المنخفضة إلى المعتدلة، وهو ما يساهم في التحكم بسرعة الجريان السطحي وتوزيعه المكاني (الخرائط ٣ و ٤).

الخريطة (٣): توزيع الارتفاعات في منطقة البحث الخريطة (٤): توزيع الانحدارات في منطقة البحث



المصدر: بالاعتماد المرئية الفضائية (DEM) ومخرجات برنامج Arc Map GIS10.8

تشير هذه النتائج إلى أن التباين في الارتفاعات والانحدارات داخل الحوض يلعب دوراً محورياً في تحديد نمط الاستجابة الهيدرولوجية، حيث تسهم المناطق المرتفعة والأكثر انحداراً في تسريع حركة الجريان السطحي وزيادة شدة الاستجابة، في حين تعمل المناطق ذات الانحدارات المنخفضة على إبطاء تدفق المياه وزيادة فرص التسرب. وقد ساهم إدخال متغير الانحدار ضمن نموذج الذكاء الاصطناعي في تحسين تمثيل هذا التأثير الطبوغرافي عند تقدير الجريان السطحي، مقارنة بالنموذج التقليدي الذي يعتمد أساساً على التربة واستعمالات الأرض (الكربولي، ٢٠٢٣، ص ٢٩٤).

٤. التربة الهيدرولوجية: تعد التربة العنصر الرئيس الذي يتحكم في معدلات الرشح وسعة التخزين وحركة المياه داخل القطاع الأرضي. فإذا كان الغطاء الأرضي يعكس السلوك السطحي للحوض، فإن التربة تمثل ذاكرة التخزين التي تحدد قدرة النظام على امتصاص مياه الأمطار قبل تحولها إلى جريان سطحي. تنتمي تربة حوض وادي آر حمه إلى صنف التربة البنية الحمراء، متوسطة السمك وضحلة العمق، وتتكون في الغالب من طبقات الغرين والحصى. وتنتشر هذه التربة في المناطق التي تعرضت لعمليات تعرية مائية متكررة بفعل نهر الزاب الصغير ونهر دجلة، حيث أدت عمليات التعرية الأخدودية إلى جعل التربة أقل سمكاً وأكثر قرباً إلى الصنف الضحل (الجبوري، ١٩٨٧، ص ٣٢). تصنف التربة الهيدرولوجية عادةً إلى أربع مجموعات (A, B, C, D) وفق قدرتها على النفاذية؛ إذ تمثل المجموعة (A) أعلى نفاذية، في حين تمثل المجموعة (D) أدنى نفاذية. وأظهر التحليل المكاني في الحوض وجود مجموعتين فقط، هما (B) و (C). تسهم هذه الخصائص الفيزيائية للتربة في تحديد طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض، إذ تمنح طبقات الغرين والحصى التربة قدرة متوسطة

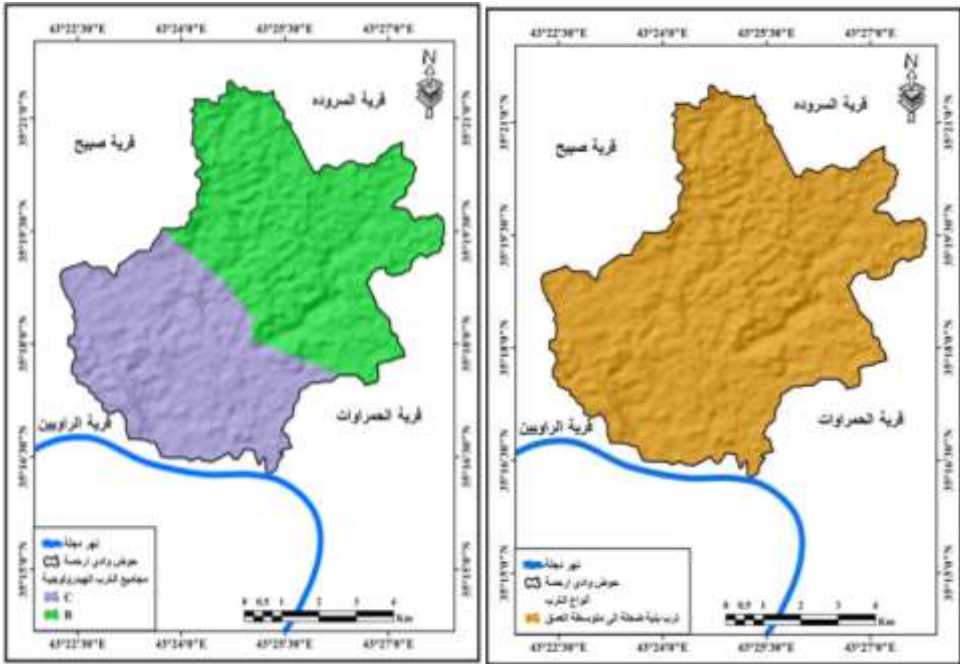
على النفاذية، مما يسمح بحدوث قدر من التسرب داخل التربة، وفي الوقت نفسه يسمح بتوليد جريان سطحي عند زيادة شدة الهطول المطري.

يوضح جدول (١) التوزيع المساحي لمجموعات التربة داخل الحوض.

النسبة المئوية (%)	المساحة (كم ^٢)	مجموعة التربة
55.3	24.1	B
44.7	19.5	C
100	43.6	المجموع

المصدر: الخريطة (٦)

الخريطة (٥): أنواع التربة في حوض وادي آر حمه الخريطة (٦): التربة الهيدرولوجية في حوض وادي آر حمه



المصدر: بالاعتماد المرئية الفضائية (DEM) ومخرجات برنامج Arc Map GIS10.8

وبحسب الجدول (١)، تقع أكثر من نصف مساحة الحوض (٥٥.٣%) ضمن المجموعة (B)، وهي تربة ذات نفاذية متوسطة تسمح برشح معتدل للمياه لكنها لا توفر سعة تخزينية عالية. بينما تشكل المجموعة (C) نسبة ٤٤.٧% من مساحة

الحوض، وهي تربة منخفضة النفاذية نسبياً، تتميز ببطء معدلات الرشح، مما يجعلها أكثر قابلية لتوليد الجريان السطحي عند تشبعها أو عند هطول أمطار غزيرة. وبالرغم من سيادة المجموعة (B)، فإن وجود نسبة كبيرة من المجموعة (C) يخلق توازناً هشاً بين التخزين والتصريف، بحيث يصبح سلوك الحوض حساساً لشدة المطر ومدته، مما يبرز أهمية أخذ الخصائص الطبوغرافية والتربة بعين الاعتبار في النمذجة الهيدرولوجية.

٥. **الغطاء الأرضي:** يمثل الغطاء الأرضي البنية الفيزيائية الظاهرة التي تتحكم مباشرة في تفاعل مياه الأمطار مع سطح الحوض، إذ يؤثر في معدلات الاعتراض النباتي، الرشح، والتبخر-نتح، وبالتالي في كمية الجريان السطحي المتولد. اعتمدت الدراسة على صور الأقمار الصناعية Landsat 8 بدقة مكانية ٣٠م، وتمت معالجتها باستخدام أسلوب التصنيف الموجّه لدراسة التغيرات المكانية للغطاء الأرضي. وأظهرت نتائج التحليل المكاني أن الغطاء الأرضي في الحوض يتوزع إلى أربعة أصناف، كما هو موضح في الجدول (٢) والخريطة (٧):

جدول (٢) توزيع استعمالات الأرض في حوض وادي آر حمه

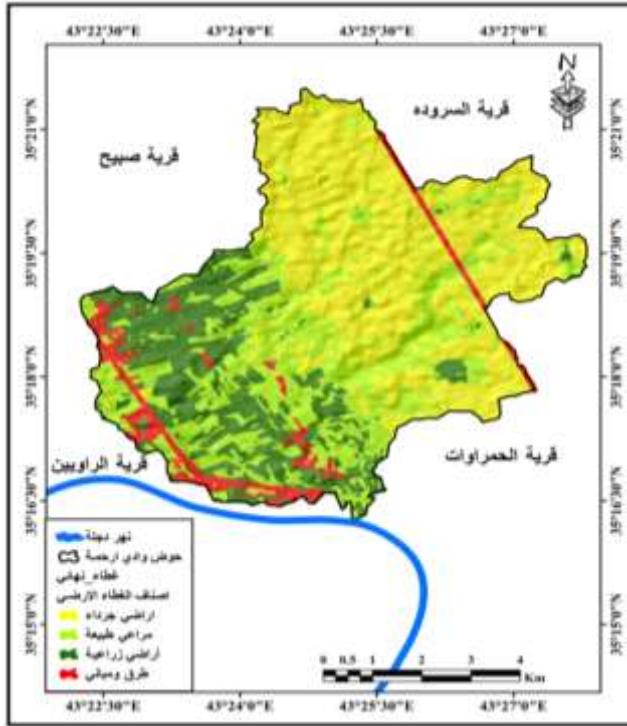
المجموع	طرق ومباني	أراضي زراعية	مراعي طبيعية	أراضي جرداء	استعمالات الأرض
٤٣,٦	٢,٧	٨,٦	١٤,٤	١٧,٨	المساحة (كم ^٢)
١٠٠	٦,٢	١٩,٧	٣٣,٠	٤٠,٨	(%) النسبة

المصدر: الخريطة (٧)

أ. **الأراضي الجرداء:** تمثل هذه الفئة النسبة الأكبر في الحوض (٤٠.٨٪)، وتعد من أكثر الفئات حساسية لتوليد الجريان السطحي، نظراً لضعف الغطاء النباتي وانكشاف التربة، مما يقلل من معدل الرشح ويزيد من سرعة التصريف السطحي. ولذلك، تمثل هذه الأراضي مناطق ذات استجابة سريعة للجريان، وهو ما يفسر وجود

الجزء الأكبر من قيم رقم المنحنى المرتفعة (CN) ضمن هذه الفئة، مع انخفاض السعة التخزينية (S) وتسريع تكوّن الجريان السطحي.

الخريطة (٧): اصناف الغطاء الارضي في الحوض



المصدر: بالاعتماد المرئية الفضائية (DEM) ومخرجات برنامج Arc Map GIS10.8

ب. **المراعي الطبيعية:** تمثل هذه الفئة ٣٣٪ من مساحة الحوض، وتتميز بالاستقرار النسبي مقارنة بالأراضي الجرداء. ومع ذلك، تعتمد فعاليتها في تقليل الجريان على كثافة الغطاء النباتي واستمراريته، وفي البيئات شبه الجافة غالبًا ما يكون الغطاء متقطعًا، مما يجعل قدرتها على كبح الجريان محدودة نسبيًا، خاصة أثناء العواصف المطرية الشديدة.

ت. **الأراضي الزراعية:** تشكل نسبة ١٩.٧٪ من الحوض، وتلعب دورًا مزدوجًا: ففي حال إدارة الأراضي الزراعية بشكل جيد ووجود محاصيل كثيفة، يمكن أن تعزز

من الرشح؛ أما إذا كانت محروثة حديثاً أو ذات بنية متفككة، فقد تتحول إلى مصدر للجريان السطحي. وتبقى مساهمتها محدودة نسبياً بسبب صغر مساحتها مقارنة بالأراضي الجرداء.

ث. الطرق والمباني: تمثل هذه الفئة نسبة صغيرة من الحوض (٦.٢٪)، لكنها أسطح غير منفذة تقريباً، مما يجعل مساهمتها في توليد الجريان مرتفعة نسبياً مقارنة بمساحتها. وقد تسهم في رفع قيم رقم المنحنى إلى ٩١-٩٤. بشكل عام، تميل البنية السطحية لحوض وادي آر حمه إلى دعم استجابة هيدرولوجية متوسطة إلى مرتفعة، نتيجة هيمنة الأسطح شبه المنفذة وضعف الغطاء النباتي الكثيف، وهو ما يفسر ظهور قيم رقم المنحنى المرتفعة نسبياً في التحليل اللاحق.

ثالثاً: نموذج رقم المنحنى (SCS-CN) :

يُعد نموذج رقم المنحنى (SCS-CN) أحد أكثر النماذج الهيدرولوجية استخداماً في تقدير الجريان السطحي الناتج عن العواصف المطرية، لا سيما في الأحواض التي تقتصر إلى سجلات قياس هيدرولوجية طويلة الأمد. وقد صيغت المعادلة الأساسية للجريان السطحي على النحو التالي:

$$Q = (P - Ia)^2 / (P - Ia + S) \quad \text{إذ إن:}$$

S=السعة التخزينية القصوى	Ia=الفاقد	P=عمق المطر الساقط	Q=عمق الجريان
للحوض (مم)	الابتدائي	(مم)	السطحي (مم)

ويرتبط المتغير (S) مباشرة برقم المنحنى وفق العلاقة (S = 25400 / CN -)

(25) كما يُفترض في التطبيق القياسي للنموذج أن: $Ia = 0.2S$ (AL-

(Hadethi,2020,p169)

بعد تطبيق معادلة رقم المنحنى (CN) على حوض وادي آر حمه، وبإعتماد على الجدول المعد خصيصاً لاشتقاق قيمة CN ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية، توصلنا إلى الجدول (٤).

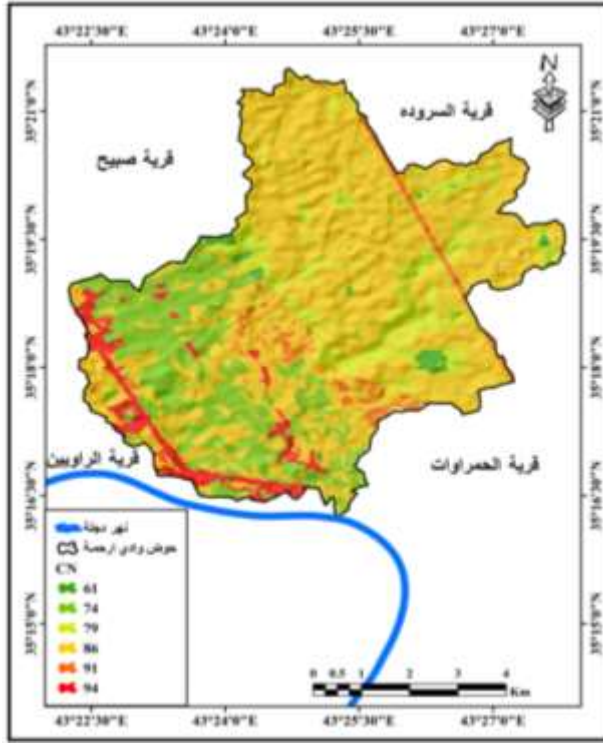
جدول (٣) القيم التفصيلية لنموذج SCS-CN في حوض وادي آر حمه

حجم الجريان (م ³)	Q (مم)	Ia (مم)	S (مم)	المساحة (كم ²)	CN
٥,٧٩٦,٨٠٣	٢٢٢,١	٨,٢٧	٤١,٣٥	٢٦,١	٨٦
١,٠٨٦,١٨٣	١٩٩,٢٢	١٣,٥	٦٧,٥٢	٥,٥	٧٩
٣٣٩,١٥٤	٢٣٨,٠٦	٥,٠٢	٢٥,١٢	١,٤	٩١
٦٧,٢٥٤	١٣٧,٧٤	٣٢,٤٨	١٦٢,٣٩	٠,٥	٦١
١,٤٦٩,٦٣٠	١٨٢,٥١	١٧,٨٥	٨٩,٢٤	٨,١	٧٤
٥٢٤,٥٢٥	٢٤٧,٤٩	٣,٢٤	١٦,٢١	٢,١	٩٤

Vijay P. Singh & Donald K. Frevert, Watershed Models, CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group, 2006, p. 364.

ويظهر من تحليل الجدول (٣) والخريطة المصاحبة هيمنة القيمة (٨٦)، إذ مثلت ما يقارب ٦٠٪ من مساحة الحوض. ويشير ذلك إلى فقدان الحوض لقدرته على التخزين، وأن بنيته العامة تميل نحو الجريان المتوسط إلى المرتفع، مع وجود بؤر عالية الحساسية. وبناءً عليه، يُلاحظ أن الحوض لا يمتلك سعة تخزين واسعة كافية لتخميد العواصف المتوسطة، وهو ما سيتم توضيحه عند دراسة الاستجابة العامة للحوض وتوزيعها الجغرافي.

الخريطة (٨): قيم الـ (CN) في منطقة البحث



المصدر: المرئية الفضائية للقمر (لاند سات ٨) بدقة تمييز (٣٠م) ومخرجات برنامج Arc

Map GIS10.8

١. السعة التخزينية القصوى للحوض (S) أقصى كمية مياه امطار يمكن للحوض الاحتفاظ بها بعد طرح الفقد الابتدائي وقبل بدء تولد الجريان يتم حساب السعة التخزينية القصوى وفق المعادلة التي اعتمدها هيئة حفظ التربة الأمريكية (SCS): (Hameed,2016,p118)

$$S = (25400 / CN) - 254$$

إذ (S) = السعة التخزينية القصوى للحوض (ملم) و (CN) = رقم المنحنى المركب للحوض.

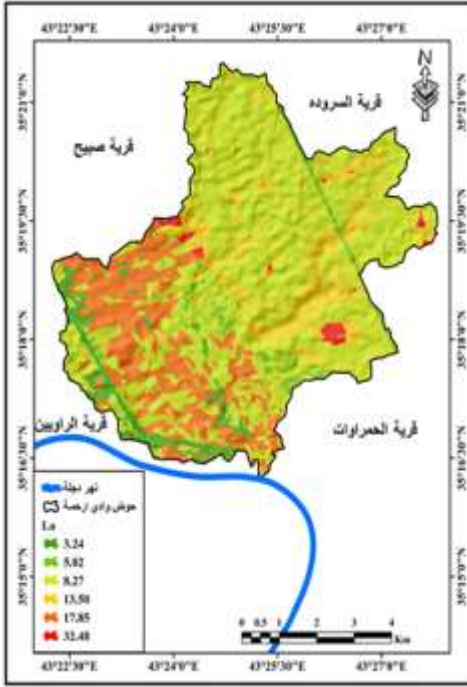
جدول (٤): توزيع قيم رقم المنحنى في الحوض

٩٤	٧٤	٦١	٩١	٧٩	٨٦	CN
١٦,٢١	٨٩,٢٤	١٦٢,٣٩	٢٥,١٢	٦٧,٥٢	٤١,٣٥	(ملم) S
٢,١	٨,١	٠,٥	١,٤	٥,٥	٢٦,١	(المساحة كم ^٢)

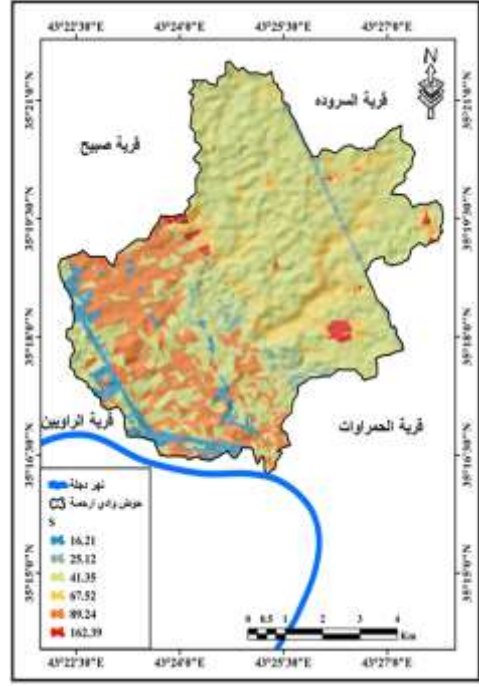
المصدر: الخريطة (٨).

بلغت السعة التخزينية القصوى للحوض (٥٣.٣ ملم)، تشير هذه القيمة إلى أن حوض وادي آر حمه يستطيع نظرياً تخزين ما يقارب (٥٣ ملم) من مياه الأمطار قبل أن يتحول الفائض إلى جريان سطحي ومن منظور هيدرولوجي، تقع هذه القيمة ضمن النطاق المتوسط للسعة التخزينية، وهو ما يتوافق مع البنية البيئية للحوض التي تم تحليلها سابقاً، إذ يسيطر الغطاء الأرضي الجرداء مع تربة متوسطة إلى منخفضة النفاذية كما يمكن توصيف الحوض هيدرولوجياً بأنه حوض متوسط التخزين يميل إلى الاستجابة المرتفعة نسبياً للعواصف المطرية.

الخريطة (١٠): الفقد الابتدائي للحوض (La)



الخريطة (٩): السعة التخزينية للحوض (S)



المصدر: المرئية الفضائية للقمر (لاند سات ٨) بدقة تمييز (٣٠م) ومخرجات برنامج Arc

Map GIS10.8

يتضح من جدول (٤) أن السعة التخزينية تختلف بشكل واضح بين أجزاء الحوض تبعاً لاختلاف قيم رقم المنحنى ففي المناطق التي سجلت قيم مرتفعة مثل (٩٤) تنخفض السعة التخزينية إلى (١٦.٢١ ملم)،

وهو ما يشير إلى قدرة محدودة جداً على الاحتفاظ بالمياه، وبالتالي سرعة انتقال المياه إلى الجريان السطحي في المقابل، تظهر المناطق المنخفضة (٦١) قدرة تخزينية مرتفعة تصل إلى (١٦٢.٣٩ ملم)، وهو ما يعكس قابلية أكبر لامتصاص المياه وتأخير تشكل الجريان وهو تباين يعكس التفاعل المركب بين استعمالات الأرض ومجموعات التربة.

٢. **الفقد الابتدائي (Ia)** : كمية المياه التي تُفقد من الهطول المطري قبل بدء تولد الجريان السطحي. وتشمل هذه الكمية مجموعة من العمليات الهيدرولوجية الأولية التي تحدث فور سقوط المطر، مثل الاعتراض النباتي بواسطة الغطاء النباتي التخزين في المنخفضات السطحية الترشيح الأولي داخل التربة التبخر الجزئي وبذلك فإن الفقد الابتدائي يمثل المرحلة الأولى من استجابة الحوض للمطر، إذ يتم استهلاك جزء من مياه الهطول في عمليات التخزين والامتصاص قبل أن يبدأ الجريان السطحي بالشكل. في نموذج (SCS-CN) يُفترض أن الفقد الابتدائي يمثل نسبة ثابتة من السعة التخزينية للحوض، ويُعبر عنه بالعلاقة التالية: (Mishra,2006,p341)

$$Ia = 0.2S \quad Ia = 0.2S \quad Ia = 0.2S$$

حيث: (Ia = الفقد الابتدائي (ملم) ، S = السعة التخزينية القصوى للحوض (ملم)

جدول (٥): قيم الفقد الابتدائي (Ia) في حوض وادي آر حمة

٩٤	٧٤	٦١	٩١	٧٩	٨٦	CN
٣,٢٤	١٧,٨٥	٣٢,٤٨	٥,٠٢	١٣,٥٠	٨,٢٧	Ia (ملم)
٢,١	٨,١	٠,٥	١,٤	٥,٥	٢٦,١	المساحة (كم ^٢)

المصدر: الخريطة (٩)

أظهرت النتائج المبينة في جدول (٥) تباينا واضحا في قيم الفقد الابتدائي تبعا لاختلاف قيم رقم المنحنى حيث أن الفقد الابتدائي داخل الحوض يتراوح بين: (٣.٢٤، ٣٢.٤٨) ويلاحظ أن أقل القيم ظهرت في المناطق ذات رقم المنحنى المرتفع وهو ما يدل على أن هذه المناطق تبدأ بتوليد الجريان السطحي بسرعة كبيرة بعد بدء الهطول في المقابل، والعكس صحيح، وهذا يعني إن التأثير الأكبر في الاستجابة العامة للحوض يرتبط بالفئات ذات المساحة الأكبر لاسيما ان الفئة (٨٦) تمثل المساحة السائدة داخل الحوض، ويبلغ الفقد الابتدائي فيها (٨.٢٧ ملم)، مما يشير إلى أن الحوض يبدأ بتوليد الجريان السطحي بعد تجاوز هذه القيمة من الهطول وهذا يعني

أن العواصف المطرية المتوسطة الشدة قد تكون كافية لتجاوز الفقد الابتدائي وتولد الجريان السطحي بشكل ملحوظ في أجزاء واسعة من الحوض.

٣. **عمق الجريان السطحي (Q):** كمية المياه التي تتحول إلى جريان سطحي بعد طرح الفواقد الأولية التي تشمل الاعتراض النباتي والتخزين السطحي والرشح الأولي داخل التربة. ويُعد هذا المتغير من أهم مؤشرات الاستجابة الهيدرولوجية للأحواض المائية، إذ يحدد حجم المياه المتدفقة نحو شبكة التصريف خلال العاصفة المطرية ويعتمد حساب الجريان السطحي في نموذج **SCS-CN** على العلاقة التالية:

$$Q = (P - Ia)^2 / (P - Ia + S)$$

حيث: (Q = عمق الجريان السطحي (ملم)، P = عمق المطر الساقط (ملم) ، Ia = الفقد الابتدائي (ملم) ، S = السعة التخزينية القصوى (ملم)) وقد اعتمدت هذه الدراسة عاصفة مطرية تصميمية مقدارها: (٧٥) ملم

جدول (٦): قيم الجريان السطحي لفئات الحوض

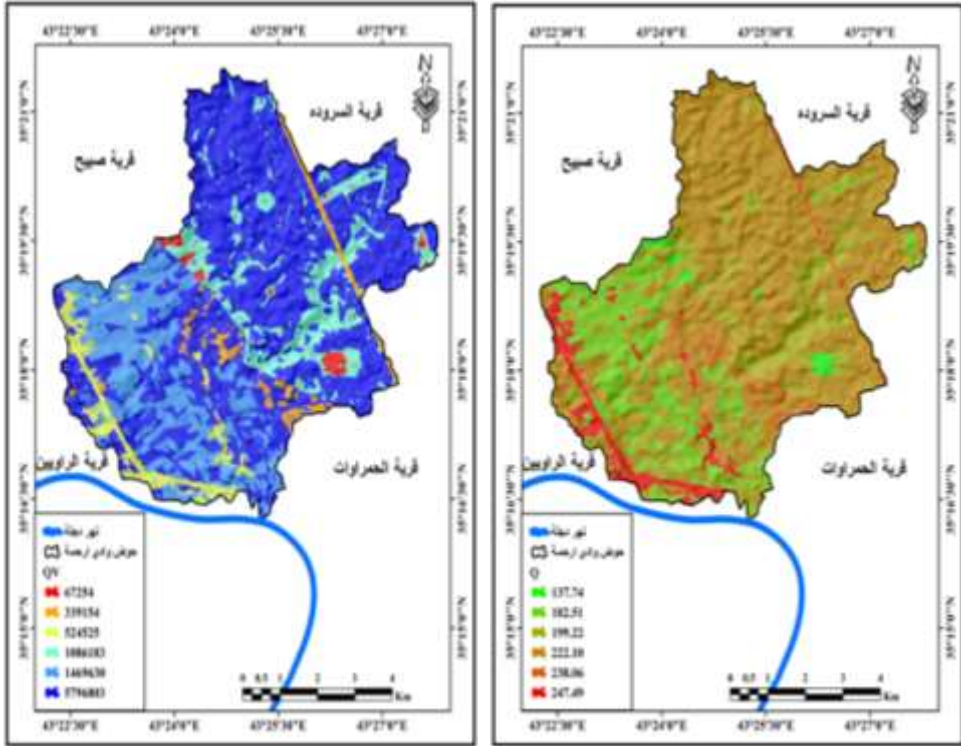
٩٤	٧٤	٦١	٩١	٧٩	٨٦	CN
٢٤٧,٤٩	١٨٢,٥١	١٣٧,٧٤	٢٣٨,٠٦	١٩٩,٢٢	٢٢٢,١	Q (ملم)
٢,١	٨,١	٠,٥	١,٤	٥,٥	٢٦,١	المساحة (كم ^٢)

المصدر: الخريطة (١٠).

توضح القيم المبينة في جدول (٦) وجود تباين واضح في عمق الجريان السطحي داخل الحوض تبعا لاختلاف خصائص التربة والغطاء الأرضي، فمناطق رقم المنحنى المرتفع مثل: (٩١، ٩٤) أظهرت أعلى أعماق للجريان السطحي تجاوزت فيها (٥٠) ملم مما يعكس انخفاض السعة التخزينية وسرعة استجابة السطح للهطول المطري في المقابل سجلت مناطق رقم المنحنى المنخفض مثل (٦١) أقل أعماق للجريان السطحي، وبلغ الجريان فيها (٧ ملم) فقط، نتيجة القدرة العالية للتربة على امتصاص المياه غير

أن التأثير الأكبر في الاستجابة العامة للحوض يرتبط بالفئة السائدة (٨٦) التي تغطي المساحة الأكبر من الحوض، إذ بلغ عمق الجريان فيها حوالي (٤١ ملم)، وهو ما يعكس السلوك الهيدرولوجي الغالب للحوض.

الخريطة (٩): عمق الجريان للحوض (Q) الخريطة (١٠): حجم الجريان للحوض (QV)



المصدر: المرئية الفضائية للقمر (لاند سات ٨) بدقة تمييز (٣٠م) ومخرجات برنامج Arc Map GIS10.8

تشير هذه النتائج إلى أن حوض وادي آر حمه يتسم باستجابة هيدرولوجية متوسطة إلى مرتفعة للعواصف المطرية المتوسطة الشدة. فمعظم أجزاء الحوض تولد كميات ملحوظة من الجريان السطحي عند حدوث عاصفة مطرية مقدارها (٧٥ ملم)، وهو ما يرتبط بهيمنة الأراضي الجرداء والتراب متوسطة إلى منخفضة النفاذية. وبالتالي

فإن الجريان السطحي في هذا الحوض لا ينتج عن عامل منفرد، بل عن تفاعل مركب بين الغطاء الأرضي والبنية التكوينية للتربة.

٤. حساب حجم الجريان السطحي (QV) : يمثل حجم الجريان السطحي كمية المياه الكلية المتدفقة من الحوض نتيجة العاصفة المطرية، وهو مؤشر أساسي في الدراسات الهيدرولوجية لأنه يحدد مقدار المياه التي تصل إلى شبكة التصريف خلال فترة زمنية معينة. كما يستخدم في تقدير مخاطر السيول وتصميم المنشآت الهيدروليكية مثل السدود والقنوات ومشاريع حصاد المياه وبعد حساب عمق الجريان السطحي (Q) لكل فئة من فئات رقم المنحنى، يمكن تحويل هذا العمق إلى حجم كلي للجريان من خلال ضربه في مساحة الفئة المعنية.

يُحسب حجم الجريان السطحي وفق العلاقة: $V=Q \times AV = Q \times A$:

$$AV=Q \times A \text{ حيث:}$$

$$\begin{array}{l} V = \text{حجم الجريان السطحي} \\ Q = \text{عمق الجريان السطحي} \\ A = \text{مساحة الحوض (م}^2\text{)} \end{array}$$

ومن خلال التطبيق على حوض وادي آر حمه يتضح:

جدول (٨): حجم الجريان السطحي لفئات الحوض

المجموع	٩٤	٧٤	٦١	٩١	٧٩	٨٦	CN
٩,٢٨٣,٥٤٩	٥٢٤,٥٢٥	١,٤٦٩,٦٣٠	٦٧,٢٥٤	٣٣٩,١٥٤	١,٠٨٦,١٨٣	٥,٧٩٦,٨٠	حجم الجريان (م ^٣)
٤٣,٦	٢,١	٨,١	٠,٥	١,٤	٥,٥	٢٦,١	(المساحة كم ^٢)
١٠٠	٥,٦	١٥,٨	٠,٧	٣,٧	١١,٧	٦٢,٤	(%) النسبة

المصدر: الخريطة (١٠).

أظهرت نتائج تطبيق نموذج رقم المنحنى أن الحجم الكلي للجريان السطحي المتولد عن العاصفة المطرية التصميمية في حوض وادي آر حمه يبلغ نحو (١.٥٨) مليون متر مكعب وأن الجزء الأكبر منه يتولد في المناطق ذات رقم المنحنى (٨٦) حيث أسهمت وحدها بحوالي (٦٨%) من إجمالي حجم الجريان في الحوض ويعكس ذلك

الدور الكبير لتوزيع استعمالات الأرض ونوع التربة في تحديد شدة الاستجابة الهيدرولوجية داخل الحوض، ومن منظور هيدرولوجي، تشير هذه النتائج إلى أن الحوض يمتلك قابلية ملحوظة لتوليد كميات كبيرة من الجريان السطحي خلال العواصف المطرية المتوسطة، وهو ما يعكس تأثير الغطاء الأرضي شبه الجرداء والتراب متوسطة إلى منخفضة النفاذية في تشكيل استجابة الحوض.

رابعاً: الهيدروغراف والتصريف الأقصى للحوض:

لتيقن أكثر من دقة النتائج الخاصة بالنموذج لاسيما ما يتعلق بحجم الجريان وللاغراض اشتقاق الهيدروغراف الناتج عن العاصفة المطرية تم اعتماد منحني العاصفة القياسي SCS Type II في هذه الدراسة لأنه يمثل العواصف المطرية الشديدة التي تتميز بتركيز كبير للهطول في فترة زمنية قصيرة، وهي الخصائص التي تتوافق مع طبيعة العواصف المطرية في المناطق شبه الجافة في شمال العراق مما يؤدي إلى زيادة سرعة تشكل الجريان السطحي داخل الأحواض المائية ينظر الشكل (1) ويعد الهيدروغراف من أهم الأدوات التحليلية في الدراسات الهيدرولوجية لأنه يوضح العلاقة بين كمية الجريان والزمن. ويتكون عادة من ثلاث مراحل رئيسية (مرحلة الصعود، ذروة التصريف، مرحلة الانحسار) ويمكن حساب هذه المراحل وفق التالي مرحلة الصعود (زمن الذروة) وفق العلاقة:

$$Tp = 0.6 \times Tc \quad \text{حيث } Tp = \text{زمن الذروة، } Tc = \text{زمن التركيز}$$

وبتطبيق المعادلة على حوض البحث نجد أن ذروة التصريف تحدث بعد حوالي ٣٨.١ ساعة من بداية الجريان. أما حساب التصريف الأقصى فيتم حساب التصريف الأقصى وفق معادلة الهيدروغراف

$$Q_{peak} = (0.208 \times A \times Q) / Tp \quad \text{حيث:}$$

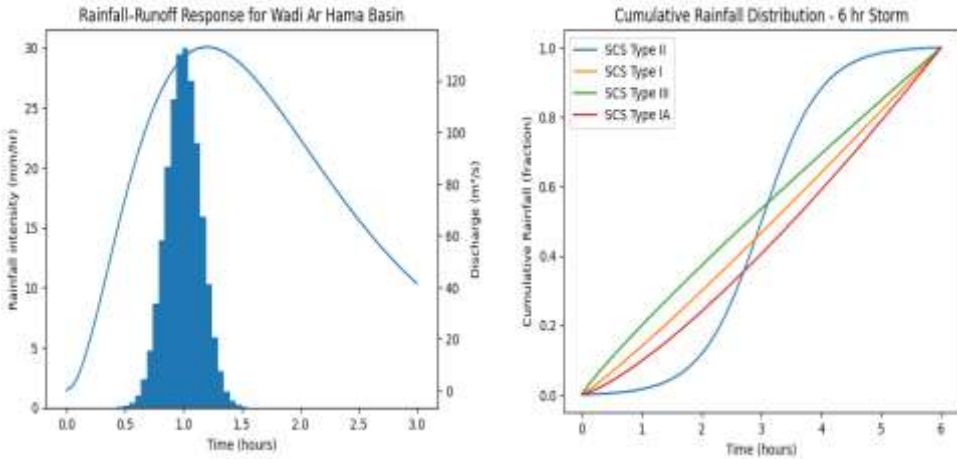
$$Q_{peak} = \text{التصريف الأقصى (م}^3\text{/ثا)} \quad A = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)}$$

$$Q = \text{عمق الجريان السطحي (ملم)} \quad Tp = \text{زمن الذروة (ساعة)}$$

وباستخدام القيم المحسوبة للحوض: نحصل على: ٢٣٤.٨ م^٣/ثا.

تشير قيمة التصريف الأقصى المحسوبة إلى أن الحوض يمتلك قدرة على توليد تدفقات مرتفعة نسبياً خلال فترة زمنية قصيرة، وهو ما يعكس طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض التي تم تحليلها سابقاً من خلال قيم رقم المنحنى والسعة التخزينية إذ يؤدي انتشار الأراضي الجرداء والترب متوسطة إلى منخفضة النفاذية إلى تسريع انتقال مياه الأمطار نحو شبكة التصريف، مما يؤدي إلى ارتفاع الذروة الهيدرولوجية خلال زمن قصير نسبياً. كما يوضح شكل (1) الهيدروغراف التقديري للحوض، والذي يظهر مرحلة الصعود السريع للتصريف تليها ذروة واضحة ثم مرحلة انحسار تدريجي.

شكل (1): الهيدروغراف التقديري لحوض وادي آر حمه.



المصدر: بالاعتماد على حساب زمن ذروة الجريان ومخرجات خوارزمية (Random Forest) ويتضح من الشكل (1) أن ذروة الهطول المطري تسبق ذروة الجريان السطحي بفترة زمنية قصيرة، وهو ما يعكس زمن الاستجابة الهيدرولوجية للحوض. وقد بلغت ذروة التصريف حوالي (٢٣٤.٨ م³/ثا) بعد نحو (١.٣٨ ساعة) من بداية الجريان، في حين استمر الانحسار التدريجي للتصريف حتى نهاية الحدث المطري ويعكس هذا النمط السلوكي استجابة هيدرولوجية سريعة نسبياً للحوض، ترتبط بانتشار القيم المرتفعة لرقم المنحنى، إضافة إلى سيادة الأراضي الجرداء والترب متوسطة إلى

منخفضة النفاذية التي تقلل من القدرة التخزينية للتربة وتسرع انتقال المياه نحو شبكة التصريف.

خامساً: الاستجابة الهيدرولوجية:

يبين جدول (٢) أن الأراضي الجرداء تمثل الفئة السائدة بنسبة ٤٠.٨٪، تليها المراعي الطبيعية بنسبة ٣٣٪، مما يعني أن حوالي ٧٤٪ من مساحة الحوض يغطيها غطاء نباتي متوسط الكثافة. ويشير ذلك إلى ضعف الاعتراض النباتي، وانخفاض خشونة السطح، وكذلك انخفاض معدلات الرشح الفعلي. ونظرًا لأن الاستجابة الهيدرولوجية تعكس تراكبًا بين الخصائص الفيزيائية العميقة (التربة) والخصائص السطحية الظاهرة (الغطاء الأرضي)، فإنه من الضروري دراسة هذه الاستجابة لتوضيح واقعها ومقارنته مع نتائج النموذج الهجين. كما تم تمثيل خريطة الحساسية الناتجة عن الاستجابة الهيدرولوجية باستخدام المعادلة التالية: (Mishra and Singh, 2004, p.) (3325).

$$Q = (P - Ia)^2 / (P - Ia + S)$$

Q = عمق الجريان السطحي (ملم)

P = عمق الهطول المطري (ملم)

Ia = الفقد الابتدائي (ملم) : Ia = 0.2 S

S = السعة التخزينية القصوى للتربة (ملم) وتنتج عن المعادلة: S = (25400 / CN)

- 254

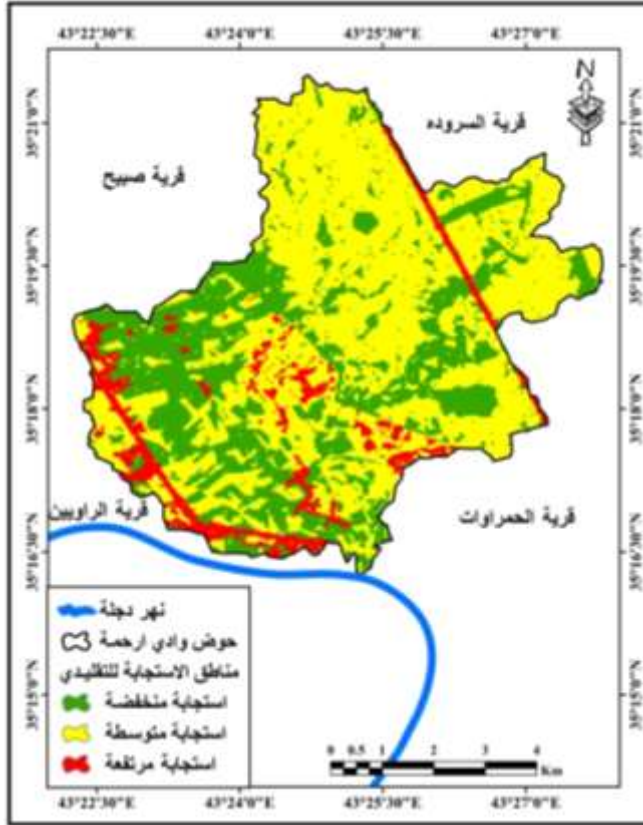
جدول (٩): توزيع مناطق الاستجابة الهيدرولوجية في الحوض

نوع الاستجابة	المساحة	% النسبة
منخفضة	٠,٥ كم ^٢	١,٦
متوسطة	٣٧,٨ كم ^٢	٨٦,٦
مرتفعة	٥,٣ كم ^٢	١١,٧
المجموع	٤٣,٦ كم ^٢	١٠٠

المصدر: الخريطة (١٠).

توضح الخريطة (١٠) التوزيع المكاني لمناطق الاستجابة الهيدرولوجية في حوض وادي آر حمه، حيث تم إعادة تصنيف قيم رقم المنحنى إلى ثلاث فئات تعكس مدى قدرة السطح على توليد الجريان السطحي.

الخريطة (١٠): الاستجابة الهيدرولوجية للحوض



المصدر: بالاعتماد على معادلة حساسية الاستجابة الهيدرولوجية

تشير النتائج المبينة في الجدول (٩) إلى أن مناطق الاستجابة المتوسطة تهيمن على الحوض بنسبة تقارب ٨٦.٦٪ من المساحة الكلية، مما يعكس الطبيعة الانتقالية للنظام الهيدرولوجي للحوض. إذ تعكس القيم المتوسطة لرقم المنحنى وجود توازن نسبي بين قدرة التربة التخزينية وقابلية السطح لتوليد الجريان السطحي. أما مناطق الاستجابة المرتفعة، فتشكل حوالي ١١.٧٪ من مساحة الحوض، وترتبط عادة بالمناطق التي

تجمع بين التربة منخفضة النفاذية والغطاء الأرضي ضعيف الكثافة، مما يؤدي إلى انخفاض السعة التخزينية وزيادة سرعة تكوّن الجريان السطحي، في المقابل تمثل مناطق الاستجابة المنخفضة نسبة محدودة جداً لا تتجاوز ١.٦٪ من مساحة الحوض، وتشمل جيوباً موضعية ذات قدرة تخزينية مرتفعة نسبياً. ومع ذلك، يبقى تأثيرها البنوي على الاستجابة الهيدرولوجية للحوض محدوداً نظراً لصغر امتدادها المكاني.

من منظور هيدرولوجي، يشير هذا التوزيع إلى أن حوض وادي آر حمه يتميز بسيادة الاستجابة المتوسطة مع وجود بؤر محدودة عالية الحساسية، وهو ما يفسر ميل الحوض لتوليد جريان سطحي ملحوظ أثناء العواصف المطرية ذات الشدة المتوسطة.

سادساً: خوارزمية: Random Forest

تُعد خوارزمية الأشجار العشوائية إحدى تقنيات التعلم الآلي، وهي تعتمد على مبدأ "التجميع" وتم تطويرها كإمتداد لأشجار القرار. تقوم الفكرة الأساسية للخوارزمية على إنشاء عدد كبير من أشجار القرار بصورة عشوائية، ثم دمج نتائجها للحصول على تنبؤ أكثر استقراراً وأقل تأثراً بالضوضاء. يمكن تمثيل النموذج رياضياً على النحو التالي:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x) \quad \text{حيث:}$$

$T_b(x)$ = شجرة القرار رقم (b) = عدد الأشجار في الغابة B = القيمة المتوقعة النهائية

تتميز خوارزمية الأشجار العشوائية بقدرتها على تمثيل العلاقات غير الخطية، ومعالجة التفاعلات بين المتغيرات، وتقليل مشكلة الإفراط في المطابقة، فضلاً عن إمكانية حساب أهمية كل متغير ضمن النموذج. في السياق الهيدرولوجي، تكتسب هذه الخوارزمية أهمية خاصة لكونها قادرة على تحليل العلاقات المعقدة بين الانحدار، نوع

التربة، استعمالات الأرض، المتغيرات المناخية، وقيم رقم المنحنى (CN)، دون الحاجة إلى افتراض خطية العلاقة بين هذه المتغيرات. ومع ذلك، يجب التأكيد من منظور فلسفي أن الخوارزمية لا تفسر الظواهر فيزيائياً، بل تكشف عن نمط احتمالي في البيانات. لذلك، يُعد استخدامها الأمثل داخل إطار فيزيائي موجّه، وليس بديلاً عن الفهم الفيزيائي للظواهر الهيدرولوجية (Erzik, 2025, p. 811).

١. الإطار النظري للنمذجة الهجينة في الهيدرولوجيا:

تعتمد النمذجة الهجينة على دمج الأساس الفيزيائي مع التحليل الإحصائي/الذكي، بدلاً من استبدال أحدهما بالآخر. بمعنى أن المعادلة الفيزيائية تحتفظ ببنيتها الأساسية، بينما تقوم الخوارزمية بإعادة توزيع المعاملات مكانياً. في هذه الدراسة، يبقى نموذج SCS-CN هو النواة الفيزيائية، بينما تُستخدم خوارزمية Random Forest لتحليل توزيع قيم CN، ليتم بعدها إنتاج طبقة CN* محسنة مكانياً. وبهذا الشكل، لا يتم التخلي عن المعادلات الفيزيائية الأصلية للنموذج (النفعي، ٢٠١٠، ص ٧٩).

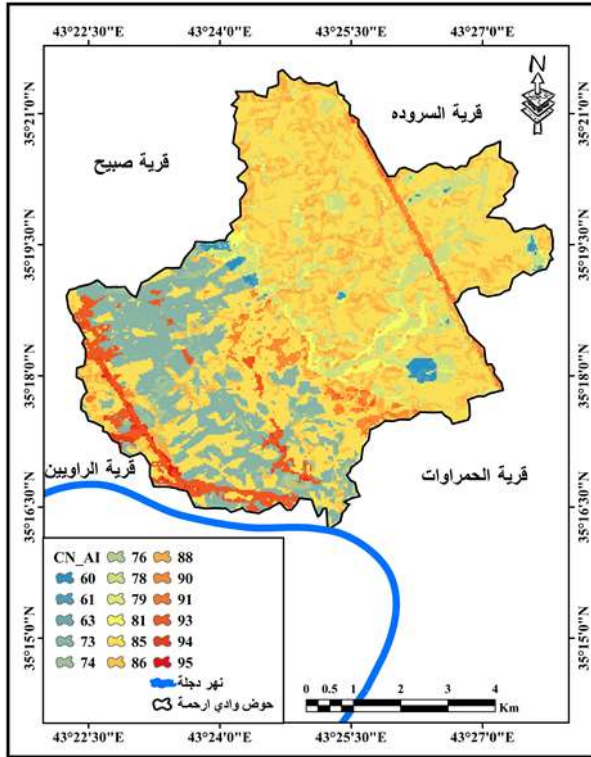
$$S = (25400 / CN) - 254$$

$$Q = (P - 0.2S)^2 / (P - 0.2S + S)$$

يتم في النموذج الهجين تحسين إدخال قيمة CN، بحيث يصبح النموذج التقليدي قائماً على معرفة معيارية ثابتة، بينما يمثل النموذج الذكي معرفة احتمالية قائمة على البيانات، ليؤدي النموذج الهجين إلى معرفة تفسيرية ديناميكية تجمع بين الوضوح النظري والمرونة التطبيقية. وقد تم تطبيق خوارزمية الأشجار العشوائية (Random Forest) بهدف تحسين التوزيع المكاني لقيم رقم المنحنى (CN) داخل حوض وادي آر حمه، بالاعتماد على مجموعة من المتغيرات البيئية، بما في ذلك الانحدار، نوع التربة، واستعمالات الأرض. وأتاح هذا الأسلوب تجاوز القيود المرتبطة بالطريقة

التقليدية التي تعتمد على قيم جدولية ثابتة، مما أدى إلى تمثيل أكثر دقة وتفصيلاً للاستجابة الهيدرولوجية للحوض.

الخريطة (١١): رقم المنحنى المحسنة باستخدام الذكاء الاصطناعي



المصدر: خوارزمية Random Forest بالاعتماد على المرئية الفضائية (DEM)

توضح الخريطة (١١) التوزيع المكاني لرقم المنحنى المحسن (CN_AI) الناتج عن نموذج التعلم الآلي، حيث يعكس تدرجاً مكانياً أكثر واقعية مقارنة بالخريطة التقليدية. وقد تراوحت قيم CN_AI بين ٦٠ و ٩٥، مما يوضح التباين في خصائص السطح داخل الحوض. تشير القيم المرتفعة إلى المناطق ذات النفاذية المنخفضة والغطاء الأرضي المحدود، حيث تقل القدرة التخزينية للتربة وتزداد إمكانية توليد الجريان السطحي. بالمقابل، تمثل القيم المنخفضة مناطق ذات قدرة أعلى على امتصاص المياه، نتيجة لوجود تربة أكثر نفاذية أو غطاء نباتي أفضل. وتبرز خريطة CN_AI

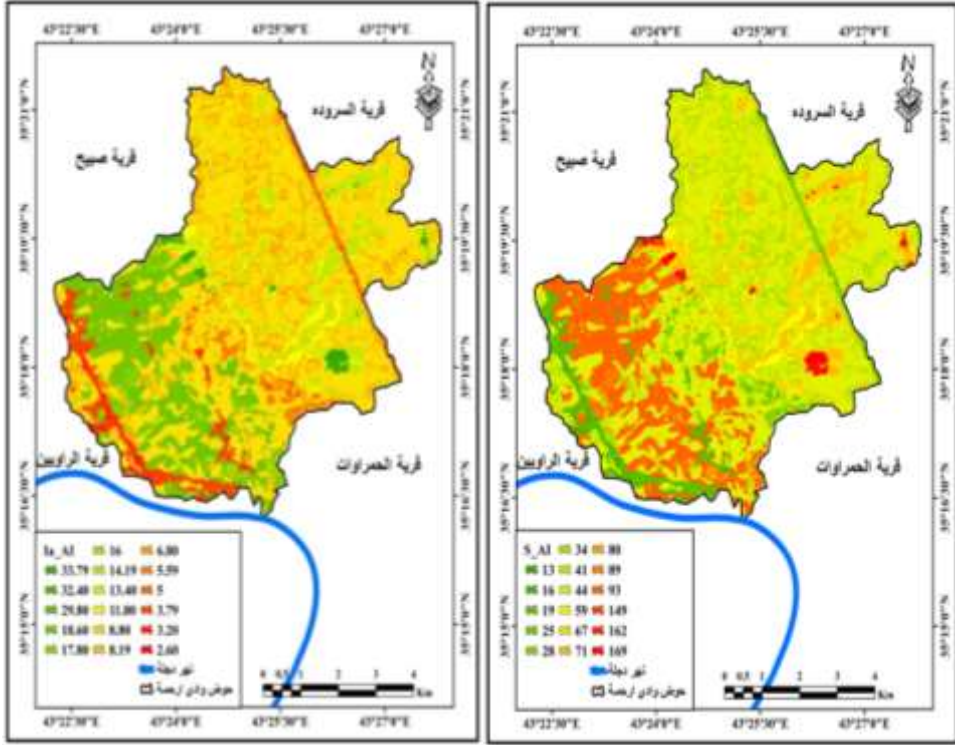
بذلك قدرة نموذج التعلم الآلي على تمثيل التباين المكاني للخصائص الهيدرولوجية للحوض بدقة أكبر من الطريقة التقليدية، مما يعزز موثوقية تقديرات الجريان السطحي في الدراسات الهيدرولوجية..

٢. تحليل خريطة السعة التخزينية المحسنة (S_AI):

تُظهر خريطة السعة التخزينية القصوى للتربة الناتجة عن النموذج الهجين تبايناً مكانياً واضحاً في قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه داخل الحوض. فقد أظهرت الخريطة أن النموذج الهجين يعكس تدرجاً مكانياً أكثر دقة في توزيع السعة التخزينية، إذ لم تعد القيم مرتبطة فقط بالتصنيف العام للتربة أو استعمالات الأرض، بل أصبحت تعكس التأثير المركب لمجموعة من العوامل البيئية المختلفة. يسهم هذا التحسن في تمثيل السعة التخزينية بشكل مباشر في تحسين تقدير الجريان السطحي الناتج عن العواصف المطرية. ويبين الخريطة (١٢) التوزيع المكاني للسعة التخزينية الناتجة عن القيم المحسنة لرقم المنحنى، حيث تراوحت القيم بين ١٣ و ١٦٩ ملم، مما يعكس التباين في قدرة التربة والغطاء الأرضي على تخزين مياه الأمطار في مختلف أجزاء الحوض. تشير القيم المنخفضة للسعة التخزينية إلى المناطق التي تتسم بارتفاع قيم رقم المنحنى، إذ تقل قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه وتزداد سرعة تكوّن الجريان السطحي. أما القيم المرتفعة فتظهر في المناطق التي تتمتع بقدرة أكبر على الامتصاص، مما يؤدي إلى تأخير تشكل الجريان السطحي وزيادة الاستجابة التدريجية للحوض.

الخريطة (١٣): الفقد الابتدائي للنموذج المحسن

الخريطة (١٢): السعة التخزينية المحسنة



المصدر: خوارزمية Random Forest بالاعتماد على المرئية الفضائية (DEM)

١. تحليل خريطة الفقد الابتدائي المحسن (La_AI):

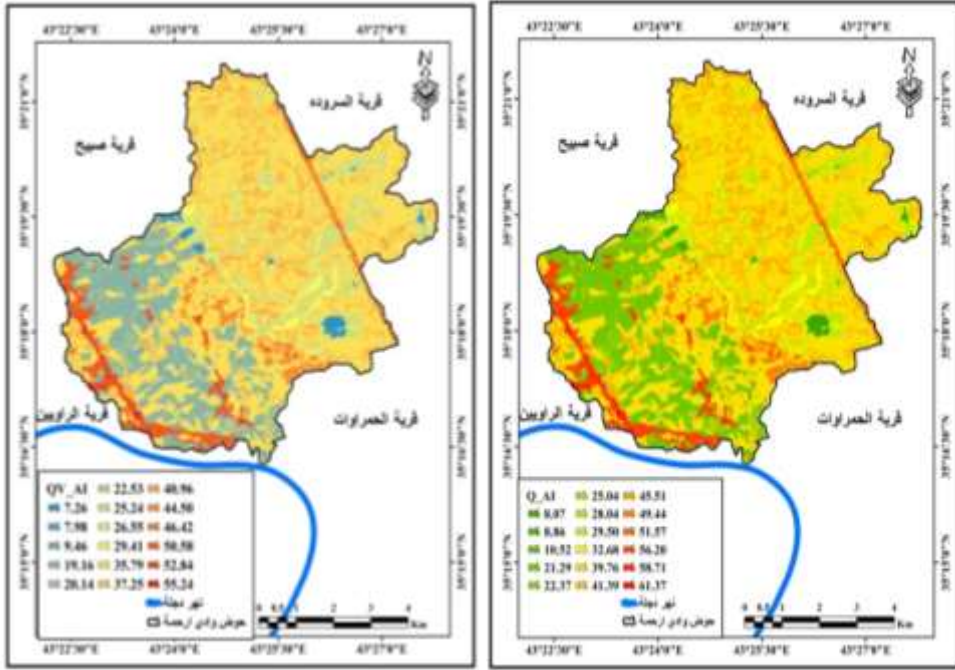
أظهرت الخريطة (١٣) تبايناً مكانياً في قيم الفقد الابتدائي تبعاً لاختلاف السعة التخزينية للتربة داخل الحوض. وعند مقارنة هذه النتائج مع النموذج التقليدي، يتضح أن النموذج الهجين أظهر توزيعاً مكانياً أكثر واقعية للفقد الابتدائي، إذ تم تعديل القيم لتتوافق مع التغيرات الدقيقة في خصائص السطح. يسهم هذا التحسين في تحقيق تقدير أكثر دقة لمرحلة بدء الجريان السطحي، وهي مرحلة حاسمة في تحديد الاستجابة الهيدرولوجية للحوض. تراوحت القيم بين (٢.٦ - ٣٣.٨) ملم، مما يعكس الاختلاف في كمية المياه التي يتم فقدها قبل بدء تولد الجريان السطحي. وتشير القيم المنخفضة للفقد الابتدائي إلى المناطق التي يبدأ فيها الجريان بسرعة بعد سقوط المطر، في حين

تعكس القيم المرتفعة قدرة أكبر للتربة والغطاء الأرضي على امتصاص المياه وتأخير تشكل الجريان السطحي.

٢. تحليل خريطة عمق الجريان السطحي المحسّن (Q_AI):

تُظهر الخريطة (١٤) عمق الجريان السطحي الناتج عن النموذج الهجين التباين المكاني في كمية المياه المتدفقة على سطح الحوض نتيجة العاصفة المطرية. وعند مقارنة هذه الخريطة مع توزيع الجريان السطحي في النموذج التقليدي، يتضح أن النموذج الهجين أعاد توزيع قيم الجريان داخل الحوض، كاشفاً عن مناطق ذات قابلية أعلى لتوليد الجريان السطحي لم تكن ممثلة بدقة في النموذج التقليدي. يعكس ذلك قدرة النموذج الهجين على تمثيل العلاقات غير الخطية بين العوامل البيئية المختلفة، مما يسهم في تحسين تقدير الجريان السطحي. وقد تراوحت قيم الجريان بين (٨.٠٧ - ٦١٣٨) ملم، وهو ما يشير إلى وجود تباين واضح في الاستجابة الهيدرولوجية داخل الحوض، مع إبراز البؤر الحساسة التي تتسم بسرعة توليد الجريان وشدة الاستجابة.

الخريطة (١٤): عمق الجريان النموذج المحسن الخريطة (١٥): حجم الجريان السطحي QV_AI



المصدر: خوارزمية Random Forest بالاعتماد على المرئية الفضائية (DEM)

٣. تحليل خريطة حجم الجريان السطحي المحسّن (QV_AI)

بعد مقارنة الخريطة الناتجة عن النموذج الهجين مع نتائج النموذج التقليدي، يتضح أن النموذج الهجين ساهم في تحسين تقدير حجم الجريان السطحي من خلال تمثيل أكثر دقة للتباين المكاني في خصائص السطح. وقد انعكس ذلك في تحديد أدق للمناطق التي تسهم بشكل أكبر في إنتاج الجريان السطحي داخل الحوض، مما يعزز موثوقية نتائج النمذجة الهيدرولوجية. تعكس خرائط الجريان المحسّنة قدرة نموذج التعلم الآلي على تمثيل التباين المكاني للاستجابة الهيدرولوجية للحوض بدقة أعلى مقارنة بالطريقة التقليدية. وتشير النتائج إلى أن إدماج خوارزمية التعلم الآلي في تقدير رقم المنحنى CN أسهم في تحسين التمثيل المكاني للاستجابة الهيدرولوجية، من خلال إدخال تأثير العوامل الطبوغرافية والبيئية التي لا يأخذها النموذج التقليدي في الاعتبار

بشكل مباشر. وبناءً على ذلك يمثل النموذج الهجين، الذي يجمع بين النمذجة الفيزيائية وتقنيات التعلم الآلي، إطارًا واعدًا لتحسين تقدير الجريان السطحي في الأحواض المائية، خصوصًا في المناطق ذات التباين المكاني الكبير في الخصائص الطبيعية للسطح. كما أظهرت النتائج أن حجم الجريان السطحي الناتج عن النموذج المحسن يتوافق مع التباين المكاني لقيم الجريان، إذ تتركز الكميات الأكبر من المياه في المناطق ذات القيم المرتفعة لرقم المنحنى.

سابعًا: تحليل التحسين الناتج عن الذكاء الاصطناعي:

بعد إنتاج خرائط النموذج المحسّن، تم إجراء مقارنة بين نتائج النموذج التقليدي ونموذج الذكاء الاصطناعي، بهدف تحديد مدى التحسن في تمثيل الاستجابة الهيدرولوجية للحوض. أظهرت النتائج أن استخدام خوارزمية Random Forest أدى إلى تحسين التوزيع المكاني لقيم رقم المنحنى، وإظهار تباين أدق في الاستجابة الهيدرولوجية داخل الحوض، مع تقليل الاعتماد على القيم الجدولية الثابتة للنموذج التقليدي. كما مكّن النموذج المحسّن من الكشف عن مناطق ذات استجابة هيدرولوجية مرتفعة لم تكن واضحة سابقًا في النموذج التقليدي.

خرائط الفرق بين النموذجين: لإبراز تأثير الذكاء الاصطناعي، تم حساب الفرق بين قيم الجريان السطحي في النموذجين باستخدام العلاقة التالية:

$$\Delta Q = Q_{AI} - Q_{traditional}$$

تشير القيم الموجبة إلى المناطق التي زادت فيها تقديرات الجريان السطحي بعد تطبيق الذكاء الاصطناعي، بينما تمثل القيم السالبة المناطق التي انخفضت فيها هذه التقديرات. تكشف هذه الخرائط عن قدرة نموذج التعلم الآلي على التقاط التباين

المكاني للخصائص الهيدرولوجية للحوض بدقة أكبر مقارنة بالطريقة التقليدية، مما يعزز موثوقية وواقعية نتائج النمذجة الهيدرولوجية.

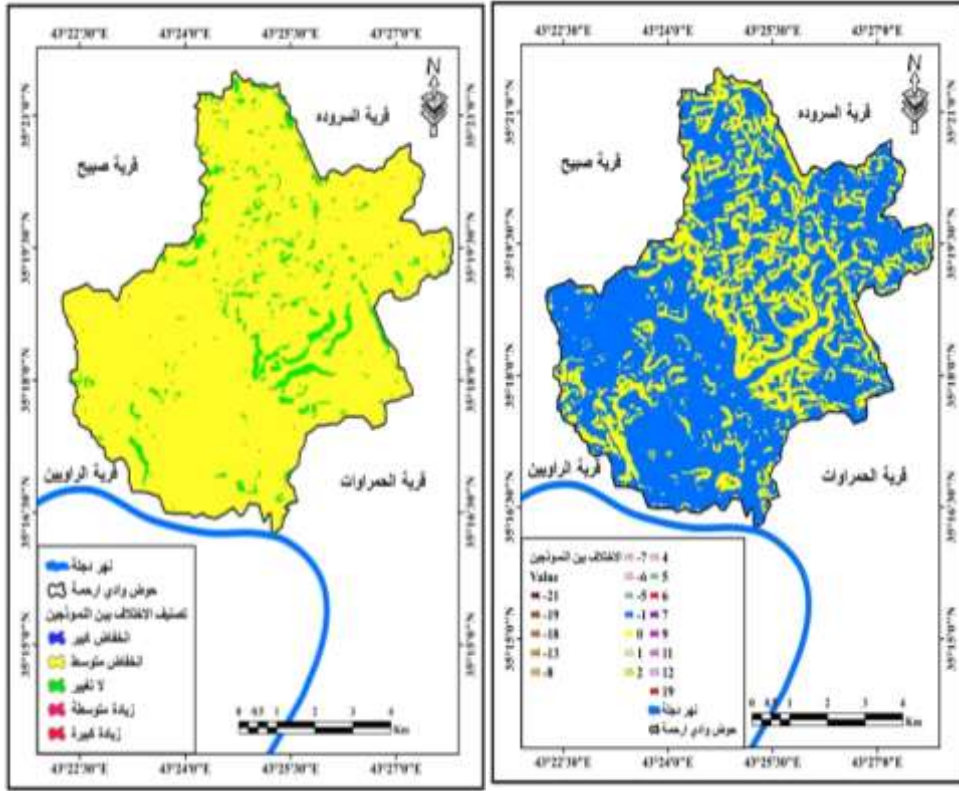
الجدول (١٠) الفرق في قيم (CN) بين النموذجين

الفرق في CN	المساحة	الفئة
≤ ١٠	٠,٠٣	انخفاض كبير
١٠- إلى ٣-	٤٠,٩	انخفاض متوسط
٣- ٣-	٢,٦	لا تغيير
٣ - ١٠	٠,٠٢	زيادة متوسطة
١٠ ≥	٠,٠١	زيادة كبيرة

المصدر: بالاعتماد على المطابقة بين النموذجين

أظهرت نتائج تحليل خريطة الفرق في قيم رقم المنحنى بين النموذج التقليدي والنموذج المحسن باستخدام الذكاء الاصطناعي أن غالبية مساحة الحوض شهدت انخفاضاً في قيم رقم المنحنى. كما تشير الخرائط إلى وجود تباين مكاني واضح في تقديرات الاستجابة الهيدرولوجية داخل حوض وادي آر حمه، حيث تراوحت قيم الاختلاف بين (-٢١) و (+١٩). يعكس هذا التباين التأثير الذي أحدثته خوارزمية التعلم الآلي في إعادة تقدير قيم رقم المنحنى، اعتماداً على المتغيرات البيئية للحوض، مما أدى إلى تمثيل أدق للتباين المكاني في الاستجابة الهيدرولوجية مقارنة بالنموذج التقليدي.

الخريطة (١٦): الفرق بين النموذج التقليدي والهجين الخريطة (١٧): تصنيف الفرق بين النموذجين



المصدر: مطابقة مخرجات النموذج التقليدي مع النموذج الهجين (Random Forest).

وتظهر نتائج التحليل الكمي لخرائط الفرق (١٦ و ١٧) أن الغالبية العظمى من مساحة الحوض شهدت انخفاضا في قيم رقم المنحنى مقارنة بالنموذج التقليدي، إذ بلغت نسبة المناطق التي سجلت انخفاضا متوسطا نحو (٩٣.٨٦%) من مساحة الحوض، أي ما يعادل حوالي (٤٠.٩ كم^٢) ويشير ذلك إلى أن النموذج التقليدي قد بالغ في تقدير قابلية أجزاء واسعة من الحوض لتوليد الجريان السطحي نتيجة اعتماده على قيم جدولية ثابتة لا تأخذ التباين المكاني الدقيق للخصائص الفيزيائية بعين الاعتبار، في المقابل بلغت نسبة المناطق التي لم يطرأ عليها تغير يذكر في قيم رقم المنحنى نحو (٦%) من مساحة الحوض، أي ما يقارب (٢.٦% كم^٢)، وهو ما يدل على وجود أجزاء من الحوض

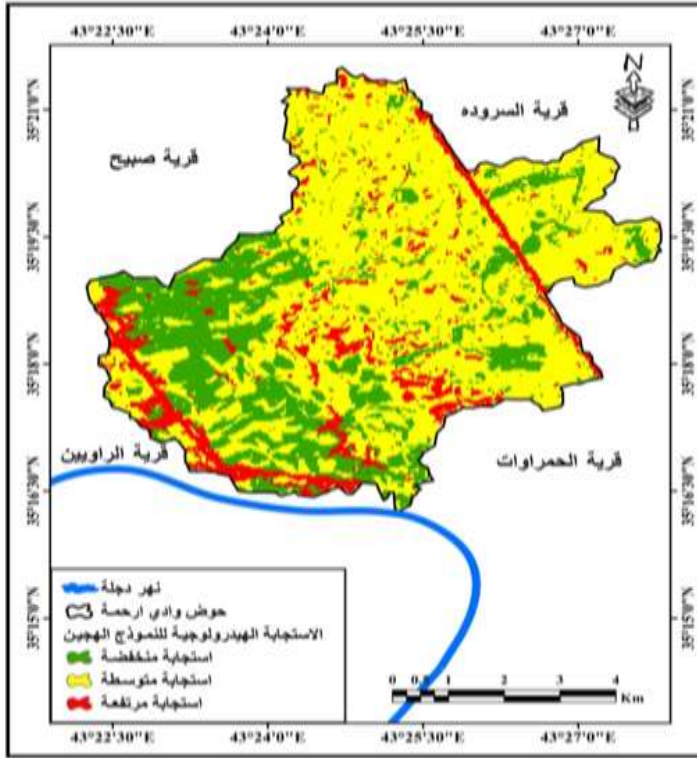
تتوافق فيها تقديرات النموذج التقليدي مع النتائج التي توصل إليها نموذج الذكاء الاصطناعي. أما المناطق التي سجلت زيادة في قيم رقم المنحنى فقد كانت محدودة جداً، إذ لم تتجاوز نسبتها (٠.٠٧%) من مساحة الحوض، وهي مساحة ضئيلة لا تتعدى بضعة أجزاء من الكيلومتر المربع. وتشير هذه الزيادة إلى أن النموذج التقليدي كان يقلل من تقدير الاستجابة الهيدرولوجية في تلك المواقع، وهو ما تم تصحيحه بعد إدخال تأثير متغيرات مثل الانحدار واستعمالات الأرض ومجموعات التربة الهيدرولوجية ضمن نموذج التعلم الآلي. وبناء على ذلك يمكن القول إن إدماج خوارزمية (Random Forest) في عملية تقدير رقم المنحنى أسهم في تحسين التمثيل المكاني للاستجابة الهيدرولوجية داخل الحوض، من خلال إعادة توزيع القيم بما يتلاءم مع الخصائص البيئية الفعلية للسطح، وهو ما انعكس في انخفاض عام لقيم رقم المنحنى مقارنة بالطريقة التقليدية. وفيما يخص الاستجابة الهيدرولوجية للحوض فمن خلال تحليل معطيات الجدول (١١) والخريطة (١٨) أشارت نتائج المقارنة بين خريطة للنموذج التقليدي ونموذج الذكاء الاصطناعي إلى وجود اختلاف واضح في توزيع شدة الاستجابة داخل حوض وادي آر حمه.

جدول (١١): المقارنة بين النموذجين في طبيعة الاستجابة الهيدرولوجية

الفرق	% الذكاء الاصطناعي	% النموذج التقليدي	فئة الاستجابة
↓ ٥,٨%	٢٦,٤	٣٢,٢	الاستجابة المنخفضة
↑ ٢,٥%	٦٢,٢	٥٩,٧	الاستجابة المتوسطة
↑ ٣,٣%	١١,٤	٨,١	الاستجابة المرتفعة

المصدر: خوارزمية Random Forest بالاعتماد على المرئية الفضائية (DEM)

الخريطة (١٨): الاستجابة الهيدرولوجية للنموذج الهجين



المصدر: خوارزمية Random Forest بالاعتماد على المرئية الفضائية (DEM)

فقد أظهر النموذج التقليدي أن حوالي (٣٢.٢٪) من مساحة الحوض تقع ضمن فئة الاستجابة المنخفضة، في حين بلغت نسبة الاستجابة المتوسطة (٥٩.٧٪) أما الاستجابة المرتفعة فلم تتجاوز (٨.١٪) من مساحة الحوض. في المقابل أظهرت نتائج النموذج المحسن باستخدام الذكاء الاصطناعي تغيرا ملحوظا في توزيع هذه الفئات، إذ انخفضت نسبة الاستجابة المنخفضة إلى (٢٦.٤) من مساحة الحوض، في حين ارتفعت نسبة الاستجابة المتوسطة إلى (٦٢.٢٪)، كما سجلت فئة الاستجابة المرتفعة زيادة لتصل إلى (١١.٤٪) من مساحة الحوض. ويشير هذا التحول في توزيع فئات الاستجابة إلى أن نموذج الذكاء الاصطناعي قد أعاد تمثيل التباين المكاني للاستجابة الهيدرولوجية بصورة أكثر دقة، إذ قلل من مساحة المناطق المصنفة ضمن

الاستجابة المنخفضة، مقابل زيادة في مساحة المناطق ذات الاستجابة المتوسطة والمرتفعة. ويعكس ذلك قدرة نموذج التعلم الآلي على التقاط تأثير المتغيرات البيئية مثل الانحدار واستعمالات الأرض ونوع التربة في تحديد قابلية أجزاء الحوض لتوليد الجريان السطحي.

الاستنتاجات:

1. أظهرت التحليلات أن تقدير الجريان السطحي باستخدام نموذج رقم المنحنى التقليدي (SCS-CN) في حوض وادي آر حمه يتأثر بشكل رئيسي بخصائص استعمالات الأرض ومجموعات التربة الهيدرولوجية، غير أن الاعتماد على القيم الجدولية القياسية يؤدي إلى تبسيط التباين المكاني الفعلي للخصائص البيئية للحوض.
2. تشير النتائج إلى أن النموذج التقليدي يعالج الحوض كوحدة شبة متجانسة، متجاهلاً الفروقات الطبوغرافية الدقيقة التي تؤثر فعلياً في تولد الجريان السطحي، مما يحد من دقة التمثيل المكاني للاستجابة الهيدرولوجية.
3. دمج خوارزمية Random Forest مع نموذج SCS-CN أسهم بوضوح في تحسين توزيع قيم رقم المنحنى، إذ تراوح فرق القيم بين (-21) و(+19)، ما يعكس قدرة النموذج الهجين على إعادة معايرة القيم وفق الخصائص البيئية الدقيقة لكل جزء من الحوض.
4. كشفت خريطة الفرق بين النموذجين أن الغالبية العظمى من مساحة الحوض شهدت انخفاضاً طفيفاً في قيم CN مقارنة بالنموذج التقليدي، ما يشير إلى ميل الطريقة التقليدية إلى المبالغة في تقدير الاستجابة الهيدرولوجية في بعض المناطق.
5. أظهرت نتائج تحليل الاستجابة الهيدرولوجية للنموذج التقليدي أن (59.7%) من مساحة الحوض تقع ضمن فئة الاستجابة المتوسطة، فيما بلغت نسبة الاستجابة

المنخفضة (٣٢.٢٪)، في حين اقتصرت الاستجابة المرتفعة على نحو (٨.١٪) من مساحة الحوض.

٦. انعكست تأثيرات النموذج المحسن باستخدام الذكاء الاصطناعي في توزيع فئات الاستجابة، إذ ارتفعت نسبة الاستجابة المتوسطة إلى (٦٢.٢٪)، وتزايدت مساحة المناطق ذات الاستجابة المرتفعة لتصل إلى (١١.٤٪) من مساحة الحوض، مما يدل على تحسن تمثيل الاستجابة المكاني.

٧. تؤكد هذه النتائج أن إدماج خوارزمية التعلم الآلي في تقدير رقم المنحنى يعزز القدرة على تمثيل التباين المكاني للاستجابة الهيدرولوجية، من خلال دمج تأثير عوامل إضافية مثل الانحدار، واستعمالات الأرض، ونوع التربة، دون الإخلال بالبنية الفيزيائية للنموذج التقليدي.

التوصيات:

١. يُوصى بالاعتماد على النماذج الهجينة التي تجمع بين النماذج الهيدرولوجية التقليدية وتقنيات التعلم الآلي في دراسات تقدير الجريان السطحي، نظراً لقدرتها الفائقة على تمثيل التباين المكاني بدقة أكبر داخل الأحواض المائية.
٢. يُنصح بتوظيف بيانات مكانية أكثر تفصيلاً، مثل نماذج الارتفاع الرقمي عالية الدقة وخرائط التربة المفصلة، لتعزيز دقة نماذج التنبؤ بالجريان السطحي وتحسين تمثيل الخصائص البيئية للحوض.
٣. تطبيق منهجية الدمج بين نموذج (SCS-CN) وخوارزميات التعلم الآلي في أحواض مائية أخرى ذات خصائص بيئية متنوعة، بهدف اختبار كفاءة النموذج في ظروف هيدرولوجية مختلفة وتعميم النتائج.

٤. يُوصى بإدخال متغيرات إضافية ضمن نماذج الذكاء الاصطناعي، مثل كثافة الغطاء النباتي أو مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، نظراً لتأثيرها المحتمل على معدلات التسرب وتوليد الجريان السطحي.

٥. يمكن الاستفادة من نتائج هذه الدراسة في دعم التخطيط المائي وإدارة مخاطر السيول، من خلال تحديد المناطق الأكثر عرضة لتوليد الجريان السطحي داخل الحوض، بما يسهم في تحسين استراتيجيات إدارة الموارد المائية.

References:

- 1- Ahmed Eyada Kudiar Abaas AL-Hadethi, The Hydrogeomorphological Evaluation of the Area Between the West of Anah Valley and Albughars' Sabkhah in Aljazera Desert of Iraq, PhD thesis, Unpublished, University of Anbar, College of Education for Humanities, 2020, p.170.
- 2- Ali Suleiman Erzik, Salah Othman Adnan, Ahmed Mahmoud Ali Sameeh Abdulghafour Jassim, Using the Mathematical Methodology (SCS-CN) and the Linear Regression Algorithm to Estimate the Amount of Surface Water Runoff and Its Harvesting Potential for Human, Journal of Education for Humanities, 2025.
- 3- Dali Khalaf Hameed, Spatial Analysis to Estimate Runoff Using SCS (CN) in Wadi Al Mur Watershed, North of Iraq, University of Tikrit, 2016, p.118.
- 4- Jal Vigyan Bhawan, Rainfall-Runoff Modeling for Water Availability Study in Ken River Basin Using SCS-CN Model and Remote Sensing Approach, National Institute of Hydrology, 1997, p.698.
- 5- Surendra Kumar Mishra and Vijay P. Singh, Fellow, Validity and Extension of the SCS-CN Method for Computing Infiltration and Rainfall-Excess Rates, Hydro. Process., 18, published online in Wiley InterScience, 2004, p.3325.
- 6- S.K. Mishra, J.V. Tyagi, V.P. Singh, Ranbir Singh, SCS-CN Based Modeling of Sediment Yield, Journal of Hydrology, 324, 2006.

٧- دلي خلف حميد الجبوري، الهيدروجيومورفولوجية لسهل الحويجة، أطروحة دكتوراه (غير

منشورة)، كلية التربية، جامعة الموصل، الموصل، ٢٠١٢.

- ٨- رحيم حمدان العبيدي، محمد جعفر السامرائي، التعرية المطرية على سفوح تلال حميرين باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مجلة كلية الآداب، جامعة بغداد، العدد ٨١، ٢٠٠٨، ص ٣٢٨.
- ٩- عبود، نهرين حسن، ظاهرة التصحر في محافظة كركوك، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية التربية للبنات، جامعة بغداد، بغداد، ٢٠١١.
- ١٠- علي سليمان أرزيك الكربولي، أساسيات الجغرافية الطبيعية، الطبعة الأولى، عمان، دار المجتمع العربي للنشر والتوزيع، ٢٠٢٣.
- ١١- هيفاء محمد النفيعي، تقدير الجريان السطحي ومخاطر السيول في الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة ماجستير، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، ٢٠١٠، ص ١٢.

References

1. Al-Hadethi, A. E. K. A. (2020). *The Hydrogeomorphological Evaluation of the Area Between the West of Anah Valley and Al-Bughars Sabkha in the Al-Jazira Desert of Iraq* (Unpublished Ph.D. Dissertation). College of Education for Humanities, University of Anbar, p. 170.
2. Erzik, A. S., Adnan, S. O., Ali, A. M., & Jassim, S. A. (2025). Using the mathematical methodology (SCS-CN) and the linear regression algorithm to estimate the amount of surface water runoff and its harvesting potential for human use. *Journal of Education for Humanities*.
3. Hameed, D. K. (2016). Spatial analysis to estimate runoff using the SCS-CN model in Wadi Al-Mur watershed, northern Iraq. University of Tikrit, p. 118.
4. Jal Vigyan Bhawan. (1997). *Rainfall-Runoff Modeling for Water Availability Study in the Ken River Basin Using the SCS-CN Model and Remote Sensing Approach*. National Institute of Hydrology, p. 698.
5. Mishra, S. K., & Singh, V. P. (2004). Validity and extension of the SCS-CN method for computing infiltration and rainfall-excess rates. *Hydrological Processes*, 18, published online in Wiley InterScience, p. 3325.

6. Mishra, S. K., Tyagi, J. V., Singh, V. P., & Singh, R. (2006). SCS-CN based modeling of sediment yield. *Journal of Hydrology*, 324.
7. Al-Jubouri, D. K. H. (2012). *Hydrogeomorphology of Al-Hawija Plain* (Unpublished Ph.D. Dissertation). College of Education, University of Mosul, Mosul, Iraq.
8. Al-Obaidi, R. H., & Al-Samarrai, M. J. (2008). Rainfall erosion on the slopes of Hamrin Hills using Geographic Information Systems (GIS) technology. *Journal of the College of Arts, University of Baghdad*, No. 81, p. 328.
9. Aboud, N. H. (2011). *The Phenomenon of Desertification in Kirkuk Governorate* (Unpublished Master's Thesis). College of Education for Women, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
10. Al-Karbouli, A. S. E. (2023). *Fundamentals of Physical Geography* (1st ed.). Amman: Arab Community Library for Publishing and Distribution.
11. Al-Nafie, H. M. (2010). *Estimation of Surface Runoff and Flood Hazards in the Upper Basin of Wadi Aranah East of Makkah Using Remote Sensing and Geographic Information Systems* (Master's Thesis). College of Social Sciences, Umm Al-Qura University, p. 12.