ISSN: 1812-0512 (Print) 2790-346X (online)

Wasit Journal for Human Sciences

Available online at: https://wjfh.uowasit.edu.iq

OPEN ACCESS

Original article

Spatial Modeling for Estimating Surface Runoff Volume and Its Flash Flood Hazards in the Zanta Basin, Duhok Governorate Using the SCS-CN Model

Hayam Numan Falih Mohammed
University of Baghdad, College of Arts

ABSTRACT

The study aims to analyze surface runoff and assess hydrological risks in the Zanta Valley Basin located in Duhok Governorate, northern Iraq, using the SCS-CN model to estimate runoff generated by rainfall. Geographic Information Systems (GIS) and a Digital Elevation Model (DEM) with a spatial resolution of 30 m were used, along with annual rainfall data for the period 2000–2024 obtained from the NASA POWER project. The analysis included soil characteristics, geological formations, land cover, and slope to calculate the Curve Number (CN). The results showed that a large portion of the basin falls within the high runoff category due to steep slopes, low-permeability clay soils, and sparse vegetation cover, which increases the likelihood of rapid flash floods. Furthermore, high rainfall events produced runoff volumes exceeding 15 million m^3, particularly in areas dominated by clay formations, indicating environmental vulnerability that necessitates the implementation of water harvesting techniques and sustainable resource management practices.

***Correspondence author**:
hayam.n@coart.uobaghdad.edu.iq

Received:09 **April** 2026
Accepted: 14 **May** 2026
Published: 25 August 2026

DOI:
https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt3.1858

1812-0512 /© 2026 The Author(s). Published by Wasit Journal for Humanities Sciences, Wasit University. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Cite:
Mohammed, H. N. F. (2026). Spatial Modeling for Estimating Surface Runoff Volume and Its Flash Flood Hazards in the Zanta Basin, Duhok Governorate Using the SCS-CN Model. Wasit Journal for Human Sciences, 22(3/Pt3). https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt3.1858

Keywords: Zanṭa Watershed, Surface Runoff, SCS-CN Model, Environmental Risk

النمذجة المكانية لتقدير حجم الجريان السطحي ومخاطرها السيلية لحوض وادي زنطه في محافظة دهوك باستخدام نموذج (SCS–CN)

أ.م.د.هيام نعمان فالح محمد
جامعة بغداد ، كلية الاداب

المُستخلص

تهدف الدراسة إلى تحليل الجريان السطحي وتقييم المخاطر الهيدرولوجية في حوض وادي زنطة بمحافظة دهوك شمال العراق، اعتماداً على نموذج (SCS–CN) لتقدير كميات الجريان الناتج عن الأمطار. استُخدمت تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة 30 متر، مع بيانات الهطول المطري للمدة (2000–2024) المستخرجة من مشروع NASA POWER. شمل التحليل خصائص التربة، والتكوينات الجيولوجية، والغطاء الأرضي، والانحدار لاحتساب رقم المنحنى (CN). أظهرت النتائج أن نسبة كبيرة من مساحة الحوض تقع ضمن الفئة ذات الجريان المرتفع، نتيجة الانحدارات الشديدة والتربة الطينية ضعيفة النفاذية وقلة الغطاء النباتي، مما يزيد من احتمالية الفيضانات السريعة. كما سجلت الحالات المطرية العالية أحجام جريان تجاوزت 15 مليون م^3، خاصة في المناطق ذات التكوينات الطينية، ما يشير إلى هشاشة بيئية تستدعي تطبيق إجراءات حصاد مائي وإدارة مستدامة للموارد.

الكلمات المفتاحية: حوض وادي زنطه، الجريان السطحي، نموذج SCS–CN، المخاطر البيئية

المقدمة:

تُعد الموارد المائية من أهم العناصر الطبيعية التي تواجه ضغوطًا متزايدة نتيجة التغيرات المناخية والنمو السكاني والتوسع العمراني. وتزداد هذه الضغوط خطورة في الأحواض التي تتعرض لهطولات مطرية شديدة وجريان سطحي مرتفع، مما يؤدي إلى تدهور التربة وازدياد مخاطر الفيضانات. يعد حوض وادي زنطه من الأحواض النشطة هيدرولوجيًا، ويقع ضمن نطاقات تكتونية وجيولوجية معقدة في شمال العراق، ما يجعله منطقة مهمة للدراسة من حيث تقييم الجريان السطحي وتأثيره البيئي.

يُعد نموذج SCS–CN من أكثر النماذج شيوعًا في تحليل الجريان السطحي، لكونه يعتمد على خصائص التربة والغطاء الأرضي وشدة المطر. وقد تم تطبيق هذا النموذج في الدراسة باستخدام أدوات التحليل المكاني ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، وبيانات رقمية مستمدة من مصادر عالمية (NASA POWER)، لتحليل العلاقات بين الخصائص الفيزيائية والجيولوجية للحوض، وشدة الهطول، وحجم الجريان الناتج.

مشكلة الدراسة:

يعاني حوض وادي زنطه من تكرار حالات الجريان السطحي المرتفع الناتجة عن الهطول المطري الموسمي، والتي تترافق مع خصائص طبوغرافية وتكوينية تؤدي إلى فيضانات مفاجئة وتعرية شديدة للتربة، في ظل غياب منظومة فعّالة لإدارة المياه السطحية. هذا الواقع يتطلب نمذجة كمية دقيقة للجريان، وتحديد المناطق الحرجة، وربطها بمفهوم الاستدامة البيئية للحد من الخطر الهيدرولوجي وتعزيز كفاءة إدارة الموارد المائية.

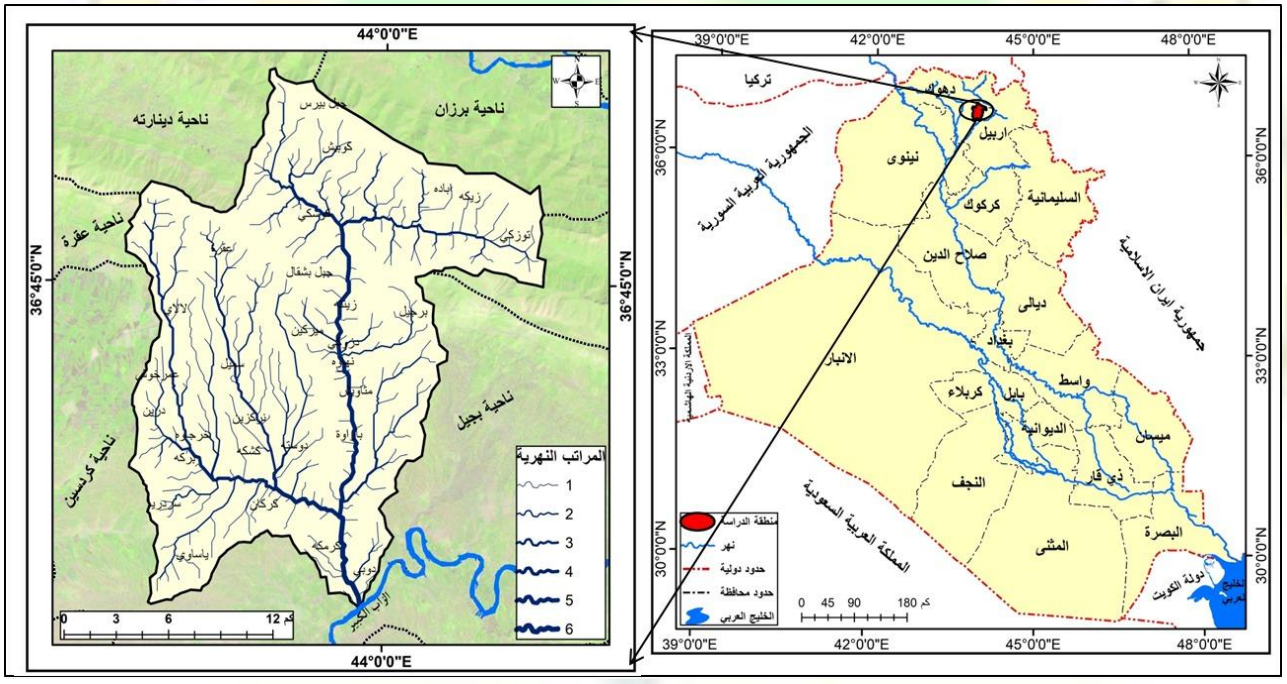
فرضية الدراسة:

يفترض أن التباين في خصائص التربة، الغطاء الأرضي، والتكوينات الجيولوجية في حوض وادي زنطه، بالإضافة إلى شدة الهطول المطري، يؤدي إلى اختلاف مكاني واضح في قيم الجريان السطحي، ويمكن تحليل هذه الاختلافات وتحديد مناطق الخطر البيئي باستخدام نموذج SCS–CN المدمج بنظم المعلومات الجغرافية.

موقع الدراسة:

يقع وادي زنطه ضمن محافظة دهوك في شمال العراق، وتحديدًا ضمن قضاء عقرة التابع إداريًا لمحافظة دهوك، اما من الناحية الفلكية فيقع بين خطي عرض(36°35'12"N–36°51'24"N) شمالاً، وخطي طول(44°6'23"E – 43°49'51"E) شرقاً. يبدأ الوادي من المنحدرات الجبلية المحيطة بجبل سرتك ويمتد باتجاه الجنوب الشرقي ليغذي نهر الزاب الكبير، ويُعد من الأودية الموسمية التي تنشط خلال فصل الأمطار، ويتميز بتدرج طبوغرافي واضح من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي، يقع بالقرب من قرية زنطه. يلاحظ خريطة (1).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: بالاعتماد على: وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الادارية، مقياس 1/1000000، سنة 2021، ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة منهجًا تحليليًا– كميًا، قائمًا على دمج النمذجة الهيدرولوجية مع التحليل المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، لتقدير الجريان السطحي في حوض وادي زنطه وتقييم خطورته البيئية.

إذ تم تطبيق نموذج SCS–CN **(Soil Conservation Service – Curve Number)** لاحتساب عمق الجريان السطحي (Q) وحجمه (V)، استنادًا إلى مجموعة من المتغيرات الجغرافية والمناخية، مثل نوع التربة، الغطاء الأرضي، الانحدار، والهطول المطري الأقصى.وتمثلت مراحل تنفيذ الدراسة فيما يلي:

- جمع البيانات المناخية (2000–2024) من مصادر رقمية دقيقة.
- إعداد الطبقات الطبوغرافية والجغرافية اللازمة لتحليل التضاريس وشبكة التصريف.
- تحليل التكوينات الجيولوجية والتربة والغطاء الأرضي لتوليد خرائط CN.
- بناء نموذج SCS–CN داخل بيئة ArcGIS لحساب Q و V.
- تحليل الخرائط الناتجة وتصنيف المخاطر البيئية .

الأدوات المستخدمة:

التفاصيل	المصدر	نوع البيانات
شدة الهطول القصوى لكل سنة (2000–2024)	NASA POWER	البيانات المناخية (الهطول)
نموذج ارتفاع رقمي (DEM) بدقة 30 م	ASTER GDEMأو SRTM	الخرائط الطبوغرافية
أصناف رئيسية للغطاء الأرضي	Sentinel–2 / Google Earth / تصنيف يدوي	خريطة الغطاء الأرضي
تصنيف الترب الهيدرولوجية	FAO Soil Map	خريطة التربة
منكشفات جيولوجية ضمن الحوض	المسح الجيولوجي العراقي	التكوينات الجيولوجية
الانحدار وفق تصنيف زنك	محسوبة منDEM	خريطة الانحدار

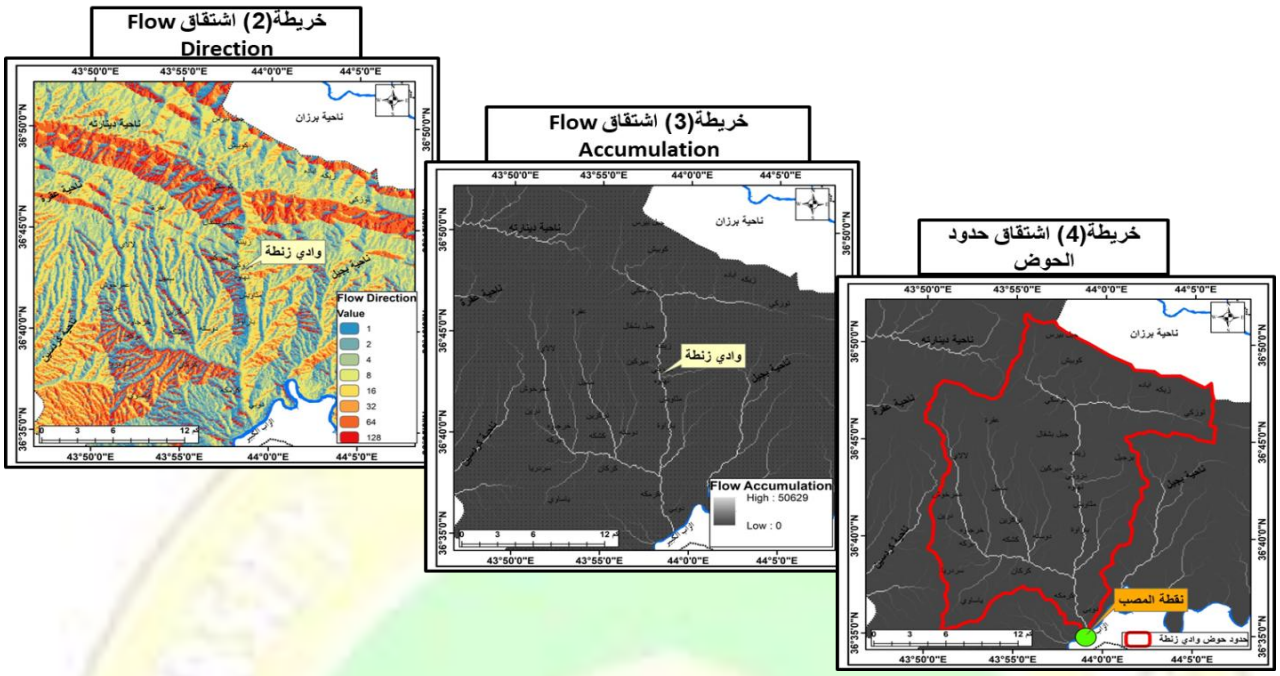
البرامج المستخدمة:

الأداة / البرنامج	الاستخدام
ArcGIS (ModelBuilder, Spatial Analyst)	تحليل مكاني، بناء نموذج CN وQ، إنتاج الخرائط
Excel	تحليل إحصائي، معالجة بيانات الهطول
Raster Calculator	حساب S و Ia و Q وفق معادلاتSCS
Con & Reclassify	تصنيف الجريان وتحليل الخطورة
Google Earth Pro	معاينة ميدانية للغطاء الأرضي والملامح الجغرافية
Data Access Viewer (NASA POWER)	تحميل بيانات المطر الدقيقة للمدة(2000–2024)

اولاً: تحديد واستخراج حدود الحوض لوادي زنطه:

يعد استخراج حدود الحوض المائي وشبكة التصريف من الخطوات الأساسية في التحليل الهيدرولوجي لأي منطقة، لما لهما من دور كبير في فهم ديناميكية الجريان السطحي، تحديد مناطق تجمع المياه، وتقييم مخاطر الفيضانات. اذ تم استخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة 30 متر **(USGS, 2024)** . واستخراج شبكة التصريف وتحديد نقطة المصب باستخدام أدوات Spatial Analyst Tools ضمن بيئة برنامج Arc Map10.8 ، اذ تمت معالجة (DEM) ، لإزالة أي أخطاء أو (حفر) من خلال الاداة (Fill) لضمان استمرارية تدفق المياه ، وبعدها تم تطبيق الخطوات التالية:

- تحديد اتجاه انحدار كل خلية باستخدام أداة (Flow Direction)، التي تحدد اتجاه تدفق المياه نحو الخلايا المجاورة ، يلاحظ خريطة (2).
- حساب تجميع التدفق (Flow Accumulation) ، وبناءً على اتجاه التدفق، تُحسب كمية المياه التي تجمعها كل خلية (عدد الخلايا التي تصب فيها) لتحديد مسارات المياه الرئيسية ، يلاحظ خريطة(3).
- تحديد نقطة مصب الحوض اذ تم اختيار نقطة المصب في وادي زنطه اذ يلتقي الحوض بنهر الزاب الكبير، كنقطة خروج المياه ، واستخراج حدود الحوض (Watershed Boundary) باستخدام أداة Watershed في ArcGIS، تم تحديد كل الخلايا التي تصب في نقطة المصب المختارة، وبهذا تم رسم حدود الحوض بدقة ، اذ بلغت مساحة حوض وادي زنطه (405.8) كم2، يلاحظ خريطة (4).

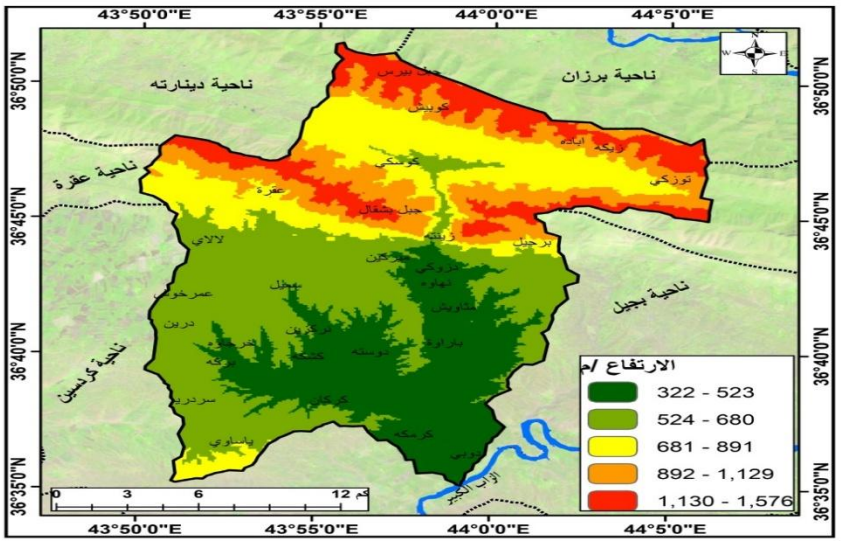


المصدر: مخرجات برنامج (arc map).

ثانياً: التحليل المكاني لحوض وادي زنطه:

1- التحليل التضاريسي لحوض وادي زنطه ودوره في الخصائص الهيدرولوجية:

تم تقسيم وادي زنطه إلى خمس فئات ارتفاعية ، تتراوح بين (322 –1,576) م، فوق مستوى سطح البحر، وتم حساب المساحات المقابلة لكل فئة باستخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM). ويوضح هذا التحليل خصائص التدرج الطبوغرافي للوادي، وأثره في الجريان السطحي. ويبيّن خريطة (2) والجدول (1) العلاقة بين الارتفاع والمساحة، وعلى النحو الاتي: خريطة(2) التوزيع المكاني لفئات الارتفاع لحوض وادي زنطة



المصدر: مخرجات برنامج (arc map).

جدول (1) يوضح مساحة فئات الارتفاع

الفئة	الارتفاع (م)	المساحة (م²)	النسبة من المساحة الكلية (%)
1	322 – 523	97.1	23.93%
2	524 – 680	129.6	31.94%
3	681 – 891	78.2	19.27%
4	892 – 1,129	58.4	14.39%
5	1,130 – 1,576	42.5	10.47%
	المجموع	405.8	100%

المصدر: مخرجات برنامج (arc map).

- الفئة الأولى (322 – 523 م): تمثل المناطق المنخفضة من الوادي، وتشكل حوالي 24% من المساحة. غالبًا ما تحتوي على قنوات التصريف الرئيسة، ومواضع الجريان الدائم أو الموسمي. هذه المناطق تكون عرضة للفيضانات، وقد تكون ملائمة للأنشطة الزراعية أو السكنية في بعض المواضع المستوية.
- الفئة الثانية (524 – 680 م): تمثل أكبر نسبة من المساحة (31.94%)، ما يدل على اتساع النطاقات الانتقالية بين قاع الوادي والمنحدرات الجانبية. تتسم بوجود التراكمات الرسوبية القديمة والمراوح الفيضية. من الممكن أن تحتضن أراضٍ قابلة للاستصلاح أو للرعي.
- الفئة الثالثة (681 – 891 م): تمثل مناطق المنحدرات المتوسطة، وقد تشكل أكتاف الوادي والضفاف العالية. تعكس نشاطًا جيومورفولوجيًا أقدم من السفوح السفلية. وتنمو فيها الأشجار البرية أو النباتات الموسمية.
- الفئة الرابعة (892 – 1,129 م): تُمثل المرتفعات الجبلية المتوسطة المحيطة بحوض الوادي. تُعد مصادر محتملة لتغذية الجريان السطحي نتيجة لتجمع مياه الأمطار. التضاريس فيها أكثر وعورة، وتقل فيها الاستعمالات البشرية المباشرة.
- الفئة الخامسة (1,130 – 1,576 م): مناطق القمم الجبلية والرؤوس العليا للحوض. أقل نسبة من اذ المساحة (10.47%) لكنها تلعب دورًا مهمًا في تغذية الينابيع وتحديد مسارات الجريان. وتُظهر فيها بداية تشكيل الشبكة المائية للروافد العليا.

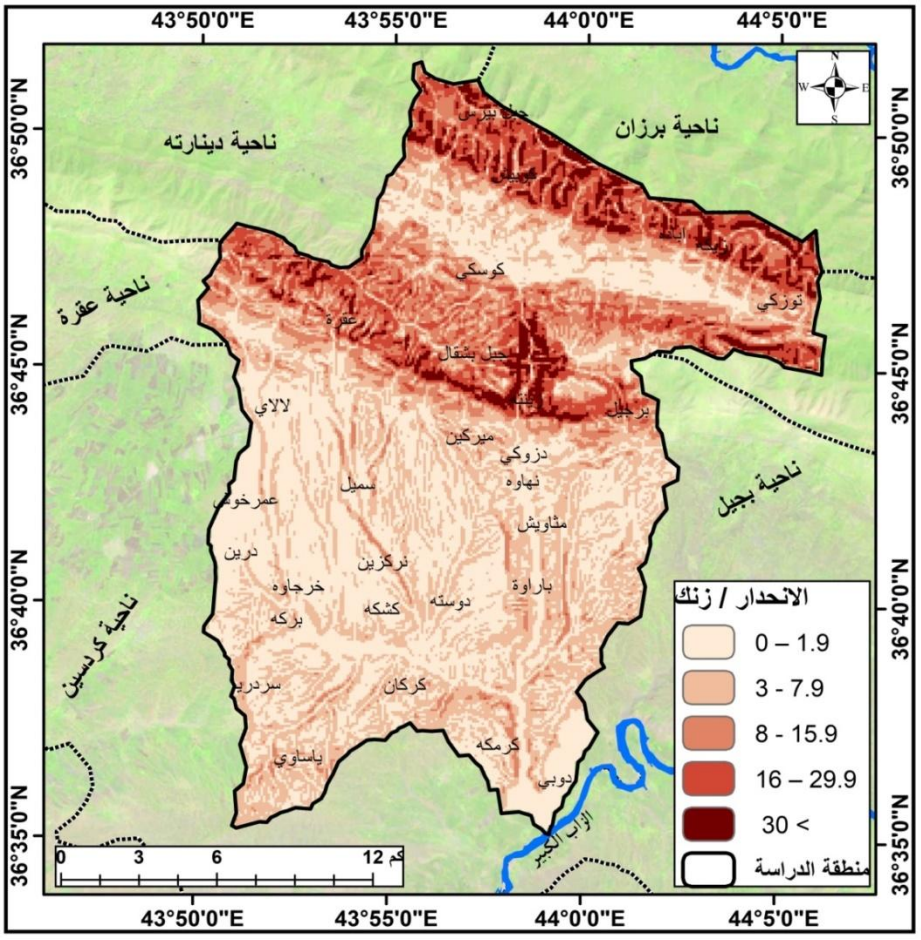
يستنتج مما سبق، أن أكثر من 55% من مساحة وادي زنطه تقع تحت ارتفاع 680 متر، مما يعكس الطبيعة المنخفضة والمتوسطة الارتفاع للحوض، ويشير إلى قابلية عالية للجريان السطحي، مع تدرج طبوغرافي يسمح بتشكل نظام تصريف فعال. أما الفئات الأعلى، فهي تعكس الطابع الجبلي المحيط بالحوض، وتؤدي دورًا هيدرولوجيًا مهمًا كمصادر مياه وكمناطق تغذية.

2- خصائص الانحدار لحوض وادي زنطه ودوره في الخصائص الهيدرولوجية:

تم تصنيف الانحدار في حوض وادي زنطه اعتمادًا على تصنيف جيومورفولوجي يربط درجة الانحدار بالشكل الأرضي الناتج عنه، وذلك بهدف تقييم خصائص التضاريس ومدى تأثيرها على الجريان السطحي، والتعرية، واستعمالات الأرض.

من ملاحظة خريطة (3) وجدول (2) أن السهول والوديان ذات الانحدارات المنخفضة (0– 7.9°) تشكل النسبة الأكبر من مساحة الحوض (حوالي 70.3%)، ما يعكس هيمنة التضاريس المنبسطة نسبيًا، والتي تُعد مناطق مناسبة لتجميع المياه، وتتميز بجريان سطحي بطيء وفرصة أكبر للرشح والتغذية الجوفية. في المقابل، تمثل التلال المنخفضة والمتوسطة (8– 29.9°) ما نسبته 24.9% من الحوض، وهي مناطق انتقالية جيومورفولوجيًا، إذ يبدأ تشكّل المجاري المائية وازدياد تأثير التعرية. أما المناطق الجبلية ذات الانحدار العالي (≤30°)، فتغطي فقط 4.8% من المساحة، إلا أنها تُعد المصدر الأساسي للجريان السطحي السريع، وتُظهر حساسية عالية للهطول المطري وخطر الانجراف، مما يجعلها مناطق حرجة في إدارة مياه الحوض والفيضانات.

خريطة (3) التوزيع المكاني لدرجات الانحدار لحوض وادي زنطه وفق تصنيف زنك



المصدر: مخرجات برنامج (arc map).

جدول (2) مستويات درجات الانحدار لحوض وادي زنطه وفق تصنيف زنك

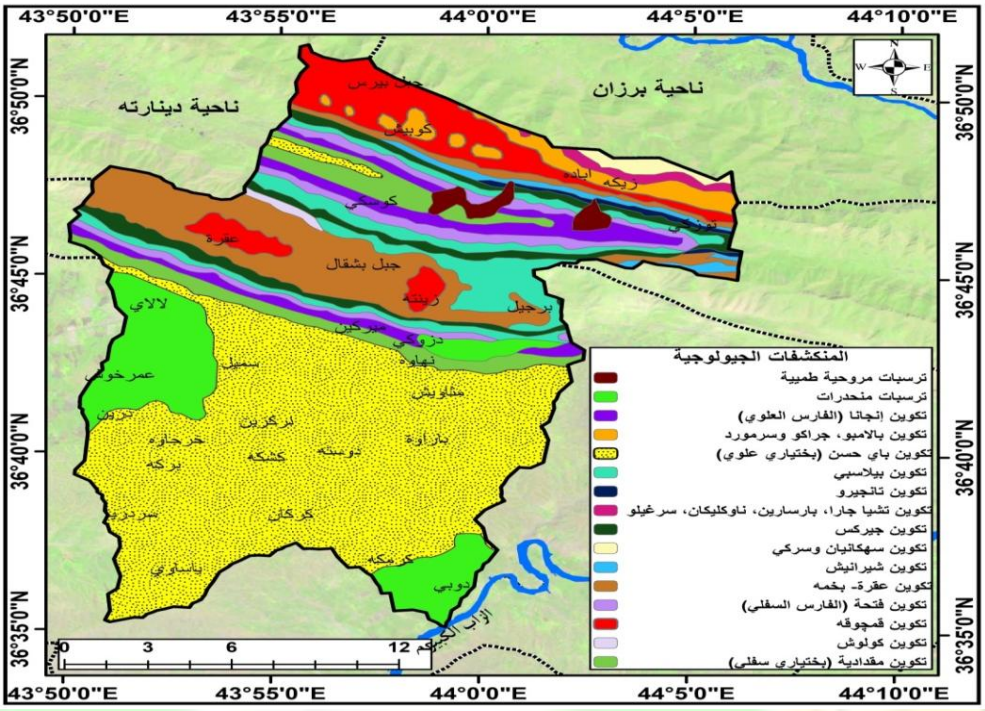
الشكل الأرضي	الانحدار (°)	التصنيف الجيومورفولوجي	المساحة (كم²)	النسبة المئوية
مسطح مستوي	0 – 1.9	سهول ووديان	155.8	38.40%
تموج خفيف	2 – 7.9	سهول تحاتية وأقدام الجبال	129.3	31.90%
متموّج	8 – 15.9	تلال منخفضة	59.7	14.70%
متقطّع مفرّس	16 – 29.9	تلال مرتفعة	41.5	10.20%
مقطّع بدرجة عالية	≥30	مناطق جبلية	19.5	4.80%
المجموع الكلي			405.8	100%

المصدر: مخرجات برنامج (arc map).

3-التحليل الجيولوجي لحوض وادي زنطه ودوره في الخصائص الهيدرولوجية:

إن التكوينات السطحية متباينة في الصلابة (شنيشل و امين، 2020) يُظهر التوزيع الجيولوجي لحوض وادي زنطه، تنوعًا واضحًا في التكوينات الصخرية، مما يُسهم في تكوين نظام هيدرولوجي غير متجانس، لاسيما من حيث حجم الجريان السطحي، والنفاذية. ويمتد هذا التنوع ما بين التكوينات (الطينية– الرملية) ضعيفة النفاذية، إلى التكوينات (الكلسية والكربوناتية) عالية النفاذية، بالإضافة إلى المناطق الترسيبية والمنحدرات الحادة. ومن ملاحظة خريطة (4) وجدول (3)، يتبين ان هناك تنوعًا في الخواص الفيزيائية للصخور والترسبات التي تُشكل حوض وادي زنطه، وهو ما يؤثر بشكل مباشر على خصائص الجريان السطحي داخل الحوض **(الموسوي والخفاجي، 2022)**.

خريطة(4) التوزيع المكاني لمنكشفات الصخرية لحوض وادي زنطه



Sissakian, V. K. (1998). The geology of Erbil and Mahabad quadrangle: Sheet NJ-38-14 & NJ-38-15 (GM 5 & 6), scale 1: 250,000. Baghdad: Iraq Geological Survey.

جدول (3) مساحة ونسب المنكشفات الصخرية لحوض وادي زنطه

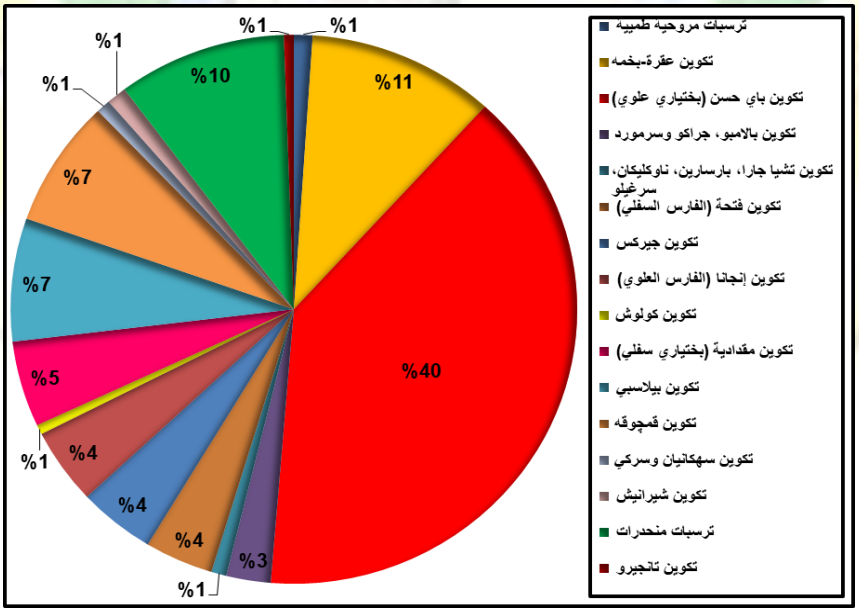
التكوينات الرئيسية	المساحة (كم²)	النسبة (%)	الأثر الهيدرولوجي
تكوين باي حسن (بختياري علوي)	160.4	39.53%	طيني رملي، نفاذية منخفضة، جريان سطحي معتدل
ترسبات منحدرات	39.1	9.64%	منحدرات وعرة، جريان سريع، خطر تعرية
تكوين عقرة– بخمة	43.5	10.72%	كربونات صلبة ، نفاذية متوسطة إلى عالية
تكوين قمچوقه	30.4	7.49%	كربونات متشققة، خزان جوفي محتمل
تكوين بيلاسبي	29.4	7.24%	كلسي نفاذ ، يسمح بتسرب المياه
تكوين مقدادية (بختياري سفلي)	20.5	5.05%	رواسب نهرية، نفاذية معتدلة، تغذية جوفية ضعيفة
تكوين إنجانا	18.1	4.46%	طيني رملي، تخزين محدود، جريان سطحي متوسط
تكوين جيركس	17.9	4.41%	طينية كلسية، جريان سطحي عالٍ
تكوين فتحة (فارس سفلي)	15.9	3.92%	طيني– جبسي، نفاذية ضعيفة

ترسبات مروحية طمية	4.3	1.06%	مناطق تجمع المياه في نهايات الأودية، جريان متقطع
تكوين تانجيرو	2.3	0.57%	طيني رملي، جريان سطحي مرتفع
تكوين كولوش	2.3	0.57%	نطاق محدود التأثير
تكوين شيرانيش	4.6	1.13%	كلسي– مارلي، نفاذية محدودة
تكوين سهكانيان وسركي	3.3	0.81%	كلسي متشقق، نفاذية متوسطة
تكوين بالامبو، جراكو، سرمورد	10.3	2.54%	صخور صلبة نسبياً، تسرب معتدل
تكوين تشيا جارا، بارسارين، ناوكليكان، سرغيلو	3.5	0.86%	درجة نفاذية ضعيفة إلى متوسطة ، و تحتوي على شقوق بنيوية ناتجة عن النشاط التكتوني، ما يسمح في بعض المواضع بتغذية جوفية محدودة
المجموع	405.8	100	

Sissakian, V. K. (1998). The geology of Erbil and Mahabad quadrangle: Sheet NJ-38-14 & NJ-38-15 (GM 5 & 6), scale 1: 250,000. Baghdad: Iraq Geological Survey.

ومن ملاحظة شكل (1)، يظهر ان التكوينات ذات النفاذية العالية، لاسيما تكوين باي حسن، الذي يغطي أكبر مساحة بنسبة (39.5) %، تحتوي على طبقات رملية وحصوية تسمح بتسرب كمية كبيرة من المياه إلى الطبقات الجوفية، مما يقلل من الجريان السطحي ويزيد من تخزين المياه الجوفية.

شكل (1) يوضح مساحة المنكشفات الصخرية لحوض وادي زنطه



المصدر: بالاعتماد على جدول (3) ومخرجات (Microsoft Excel Worksheet).

بالمقابل، نجد أن التكوينات ذات النفاذية المنخفضة مثل الترسبات الطينية في تكوينات فتحة ومقدادية، تحد من نفاذ المياه إلى الطبقات السفلية، مما يؤدي إلى زيادة الجريان السطحي، اذ تعمل هذه التكوينات كطبقات عازلة أو حاجزة، فتمنع تسرب المياه وتسبب تراكمها على السطح، وبالتالي ترفع من سرعة وجريان المياه فوق الأرض. علاوة على ذلك، فان ترسبات المنحدرات التي تغطي مساحة بمقدار (39.1 كم²) تؤثر على اتجاه وسرعة الجريان السطحي، إذ يميل انحدار هذه التكوينات إلى تسريع حركة المياه وتقليل فرص الامتصاص، مما يزيد من احتمالية تشكل الفيضانات السطحية في مناطق معينة من الحوض. يستنتج مما سبق، أن معظم مساحة الحوض تغطيها تكوينات ضعيفة النفاذية مثل باي حسن وإنجانا، مما يرفع احتمالية تشكل الجريان السطحي، ويقلل من معدل تسرب المياه إلى الخزانات الجوفية. بينما تُمثل التكوينات الكلسية مثل قمچوقه وبيلاسبي مناطق مهمة للتغذية الجوفية نتيجة لتشققها وارتفاع نفاذيتها. أما رواسب المنحدرات والترسبات المروحية، فهي الأكثر تأثرًا بالجريان السطحي السريع والتعرية، وتشكل مناطق حرجة من الناحية الهيدرولوجية في حالة الهطول الشديد.

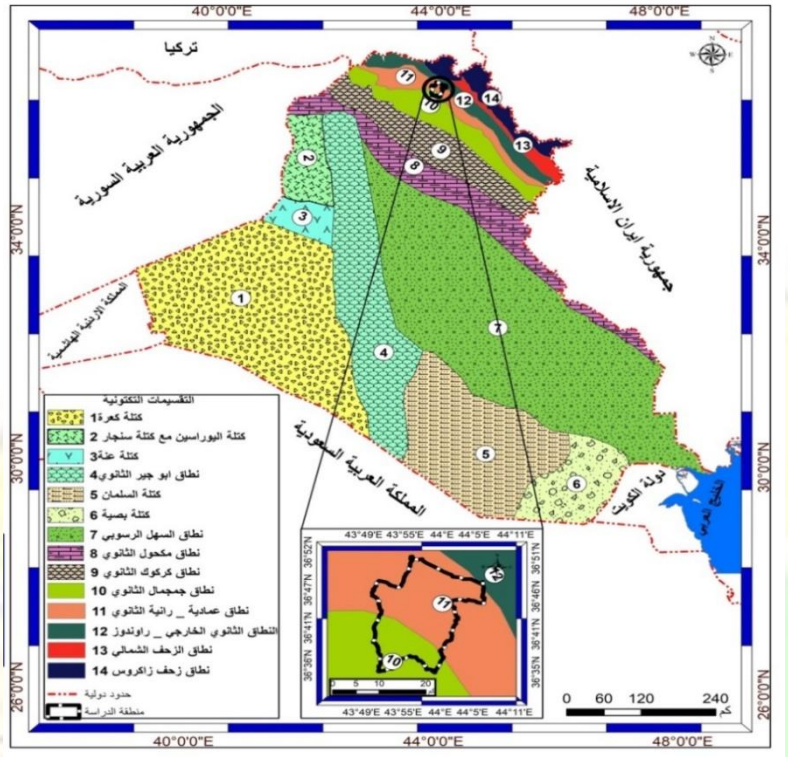
4- التحليل التكتوني لحوض وادي زنطه ودوره في الخصائص الهيدرولوجية:

من ملاحظة خريطة (5)، يتضح ان الحوض يقع ضمن نطاقين، وهما، نطاق جمجمال الثانوي ونطاق العمادية– رانية، هذان النطاقان يُعدّان جزءًا من منطقة الطيات العالية المتأثرة بالحركات الألبية المتأخرة **(Buday, 1987)**، وتُظهر هذه المنطقة خصائص بنيوية معقدة تمثلت في الطيات، الفوالق، والتفاوت الصخري، ما أسهم بشكل كبير في تشكيل الخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية للحوض.

إذ تمتاز المنطقة بوجود طيات معقدة وانكسارات تشير إلى نشاط تكتوني مستمر، وتؤثر بشكل مباشر على اتجاه الجريان والانحدارات. وان نمط التصريف السائد متأثر بالطبيعة البنيويّة للمنطقة، اذ تُظهر شبكة المجاري تداخلًا واضحًا بين التصريف التفرعي في المناطق السهلية والسيطرة البنيوية في المناطق المرتفعة القريبة من الفوالق. ويلاحظ تداخل صخور كربوناتية وطينية نتيجة تعرّض المنطقة لتراكيب تكتونية مركّبة، ما أنتج فروقًا واضحة في النفاذية والجريان السطحي.

يتضح مما سبق إن سيطرة الطبيعة البنيوية على الخصائص الهيدرولوجي للحوض، إذ تمتاز المناطق المرتفعة والوعرة ضمن نطاق الطيات النشطة، بزيادة في شدة الانحدار، وبالتالي تسريع الجريان السطحي وتقليل تغذية المياه الجوفية. كما تسهم الفوالق كمسارات لتغذية الخزانات الجوفية في الصخور الكلسية المتشققة (قمجوفة، بلاسبي)، بينما تعمل الطبقات الطينية مثل) انجانة) كعوائق أمام تسرب المياه. أدت هذه التراكيب إلى تكوين مناطق تجمع مائي في الأحواض المنخفضة، مقابل مناطق جريان شديد في السفوح المرتفعة، مما يعزز خطر الفيضانات الموضعية.

خريطة (5) موقع حوض وادي زنطه من الانطقة التكتونية للعراق



المصدر: Buday. The Regional Geology of Iraq. 1987.

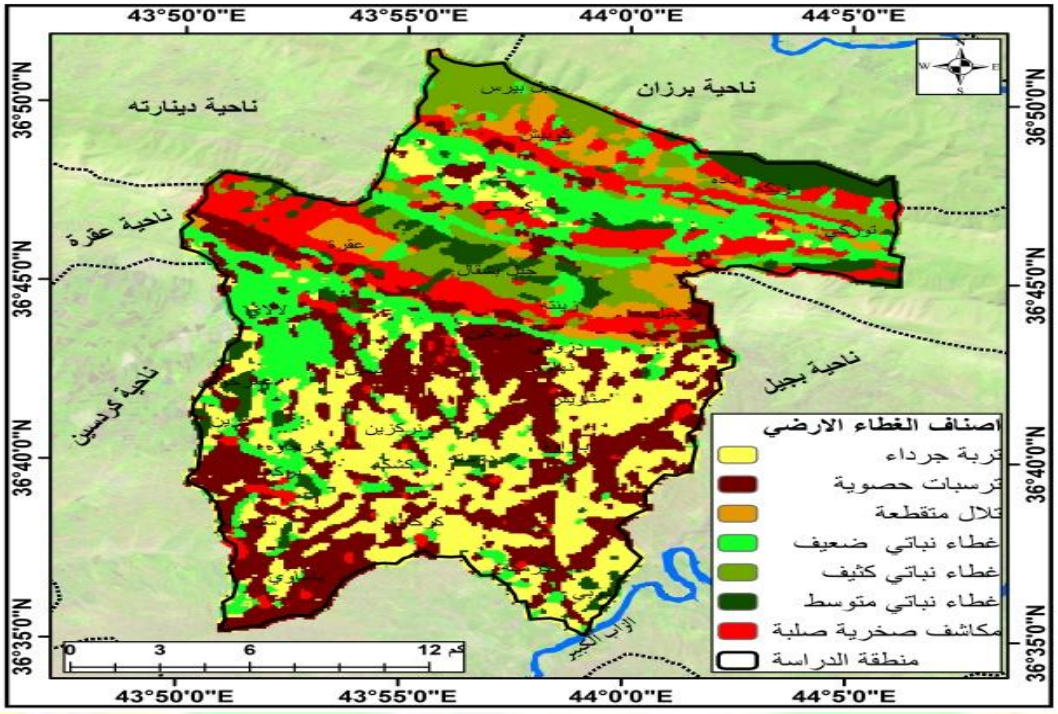
ثالثاً . تطبيق نموذج SCS-CN لحساب الجريان السطحي في حوض وادي زنطه:

يعد نموذج Curve Number **(USDA Soil Conservation Service، 1972)** أحد أهم النماذج الهيدرولوجية المستخدمة على نطاق واسع في تقدير الجريان السطحي الناتج عن الهطول المطري، ويعتمد هذا النموذج على خصائص الأرض، ونوع التربة، بالإضافة إلى الشدات المطرية.

1. تحليل الغطاء الأرضي في حوض وادي زنطه وعلاقته بالجريان السطحي:

يُعد الغطاء الارضي أحد العوامل الأساسية التي تؤثر على العمليات الهيدرولوجية **(علي، 2025)** ولهذا يعتمد نموذج (SCS-CN) على تصنيف الغطاء الأرضي كأساس لتحديد قيمة الرقم المنحني (CN)، الذي يُستخدم في تقدير الجريان السطحي. اذ يمثل الغطاء الأرضي أحد العوامل الحاسمة في تحديد سلوك الجريان السطحي داخل الحوض المائي، اذ يؤثر على معدلات التبخر، التسرب، والتعرية. ومن ملاحظة خريطة (6) وجدول (4)، يتضح وجود تباين واضح بين المناطق المغطاة بالنبات والمناطق العارية، ما أدى إلى تفاوت كبير في قابلية الحوض لتوليد الجريان السطحي.

خريطة (6) اصناف الغطاء الارضي في حوض وادي زنطة



GeoWGS84. (2024). High-resolution satellite imagery of Iraq: Erbil and Mahabad regions. Retrieved from https://www.geowgs84.com/countries/iraq.

جدول (4) اصناف الغطاء الارضي في حوض وادي زنطه

الصنف	المساحة (كم²)	النسبة (%)	التأثير الهيدرولوجي
تربة جرداء	81.2	20.00%	نفاذية منخفضة، جريان سطحي مرتفع، تعرية شديدة
ترسبات حصوية	95.6	23.60%	سطح خشن، جريان سطحي مرتفع وسريع، قدرة تخزين سطحية محدودة
تلال متقطعة	21.9	5.40%	منحدرات متوسطة، جريان سريع، تسرب محدود
غطاء نباتي كثيف	37.4	9.20%	تسرب جيد، تقليل الجريان، مقاومة التعرية
غطاء نباتي متوسط	36.7	9.00%	تسرب معتدل، جريان متوسط

غطاء نباتي ضعيف	74.2	18.30%	جريان أعلى، تسرب محدود، تعرية متوسطة إلى شديدة
مكاشف صخرية صلبة	58.8	14.50%	نفاذية شبه معدومة، جريان سطحي مباشر، تعرية منخفضة
المجموع	504.8	100%	

GeoWGS84. (2024). High-resolution satellite imagery of Iraq: Erbil and Mahabad regions. Retrieved from https://www.geowgs84.com/countries/iraq.

يتبيّن من التحليل أن أكثر من (58%) من مساحة الحوض تغطيها أصناف ذات جريان سطحي مرتفع والتي تتمثل (تربة جرداء، ترسبات حصوية، مكاشف صخرية، غطاء نباتي ضعيف)، مما يجعل الحوض معرضًا لخطر الفيضانات في حال الهطول الغزير، لاسيما في المناطق ذات الانحدارات العالية. في حين، تمثل مناطق الغطاء النباتي المتوسط والكثيف حوالي 18% من المساحة، وهي تساهم في الحد من الجريان وزيادة تغذية المياه الجوفية.

2. **تحليل أصناف التربة الهيدرولوجية في حوض وادي زنطه ودورها في الجريان السطحي:**

يُعد تصنيف التربة الهيدرولوجية **(Hydrologic Soil Group – HSG)** من العناصر الأساسية في تطبيق نموذج (SCS–CN)، اذ تعتمد قيم الرقم المنحنى (CN) بشكل مباشر على خصائص التربة من اذ قدرتها على امتصاص وتسريب المياه. ويُقسّم هذا التصنيف إلى أربع مجموعات رئيسية (A، B، C، D)، اذ تمثل المجموعة A التربة ذات أعلى قدرة تسرب، بينما تمثل المجموعة D الترب الأكثر مقاومة لتسرب المياه. ومن ملاحظة خريطة (7)، وجدول (5) يتبن وجود ثلاث اصناف من الترب الهيدرولوجية في منطقة الدراسة، وعلى النحو الاتي:

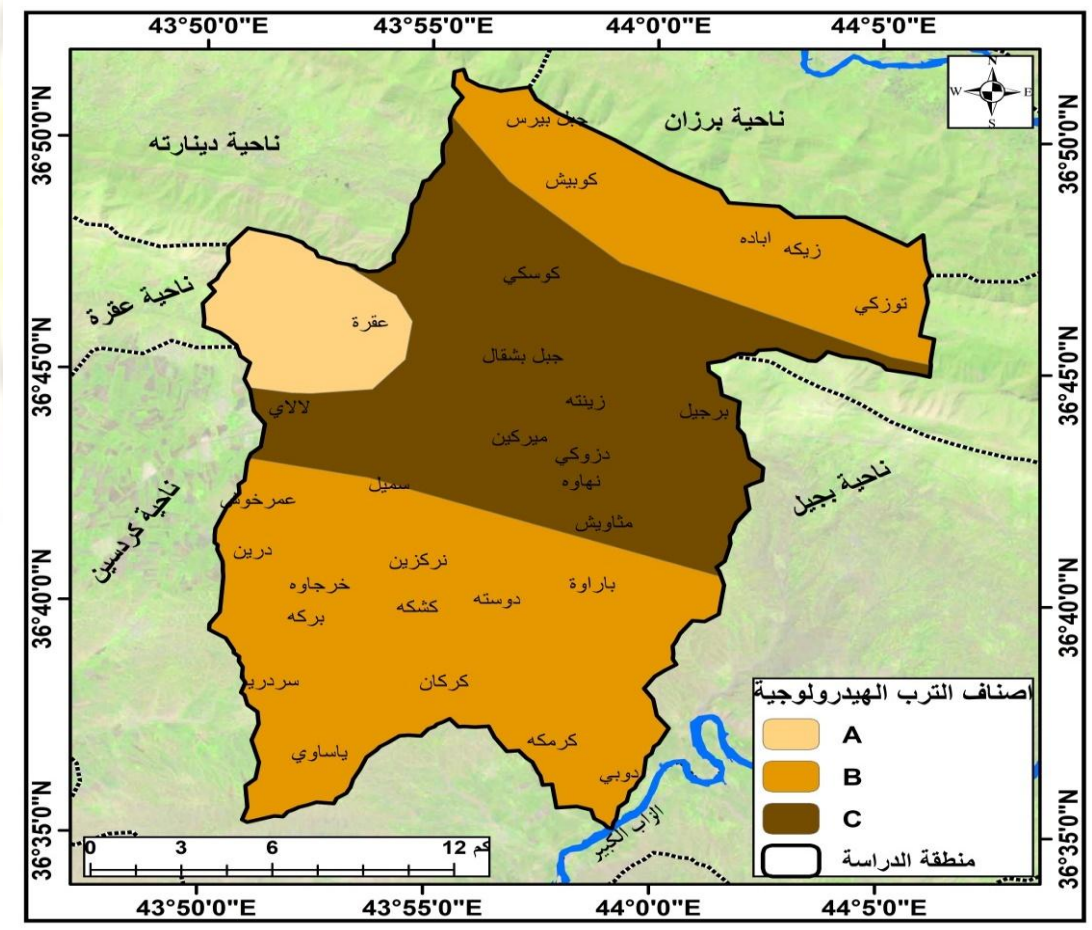
جدول (5) يوضح مساحة أصناف التربة الهيدرولوجية في حوض وادي زنطه

الصنف	الوصف العام	المساحة (كم²)	النسبة المئوية (%)
A	تربة عالية النفاذية (رملية – حصوية)	30.9	7.60%
B	تربة متوسطة النفاذية (طينية– رملية)	219.8	54.20%
C	تربة ضعيفة النفاذية (طينية ثقيلة– مضغوطة)	154.8	38.20%
المجموع		405.5	100%

Soil Conservation Service (SCS). (1986). Urban hydrology for small watersheds (Technical Release 55, TR-55). U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.

- تشكل المجموعة B النسبة الأكبر من مساحة الحوض إذ تقدر بنحو (54.2%)، وهي تربة ذات نفاذية معتدلة، وتؤدي إلى جريان سطحي متوسط.
- تحتل المجموعة C مساحة نسبتها حوالي (38.2%)، وهي تربة ذات نفاذية منخفضة، تؤدي إلى ارتفاع الجريان السطحي وخفض معدلات التسرب.
- تمثل المجموعة A أقل نسبة في الحوض اذ شغلت حوالي (7.6%)، وهذه التربة تعتبر مثالية لتسرب المياه وتغذية المياه الجوفية.
- يستنتج مما سبق، ان خصائص التربة الهيدرولوجية تتجه نحو الجريان السطحي المرتفع، إذ تُغطي الترب من النوعين B وC ما نسبته 92.4% من المساحة، ما يعكس أهمية كبرى للعوامل السطحية مثل الانحدار والغطاء النباتي في التحكم بالجريان. أما الترب من الصنف A فتمثل مناطق رئيسية محتملة للتغذية الجوفية، إذا ما توفرت فيها الظروف الملائمة من اذ الانحدار والغطاء النباتي

خريطة (7) التوزيع المكاني لأصناف التربة الهيدرولوجية في حوض وادي زنطه



1- FAO-Unesco, Soil map of the world: 1: 5 000 000.1977.

2- ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

3. تحليل شدة الهطول المطري وأثرها على توليد الجريان السطحي في حوض وادي زنطه:

تم الحصول على بيانات شدة الهطول المطري من نظام الوصول إلى البيانات (Data Access Viewer – DAV) ضمن مشروع NASA POWER، وهو نظام يقدم بيانات مناخية وبيانات هطول مطري دقيقة، مستمدة من الأقمار الصناعية التابعة لوكالة ناسا، وتستخدم هذه البيانات على نطاق واسع في الأبحاث العلمية والهيدرولوجية **(Nasa, 2024)**. إذ تم تحليل بيانات الشدة المطرية وللمدة (2000–2024)، وإن هذه القيم تمثل الذروة المطرية القصوى التي حدثت في كل سنة خلال ساعة واحدة، وهو مؤشر مهم لتقدير احتمالية حدوث فيضانات مفاجئة **(الخالدي، 2025)**. ويتضح من جدول (6) أن أعلى شدة مطرية، تم تسجيلها في عام 2018 بتاريخ 17 شباط (فبراير) عند الساعة 21:00، إذ بلغت 80.54 ملم/ساعة، وهي قيمة تدل على حالة مطرية شديدة قد تُصنف كعاصفة مطرية ضمن التصنيفات المناخية القياسية، واقل قيمة مسجلة هي 59.0 ملم/ساعة في عام 2003، ويتضح ان معظم القيم تتراوح بين 65–78 ملم/ساعة، يلاحظ شكل (2) مما يدل على أن المنطقة تتعرض لهطولات مطرية شديدة بشكل متكرر، وهو أمر ذو دلالة في التحليل الهيدرولوجي. وأن أغلب أحداث الشدة المطرية العالية تحدث في فصلي الربيع والخريف (مارس– مايو، وأكتوبر– نوفمبر)، مما يعكس النمط الموسمي للأمطار في المنطقة.

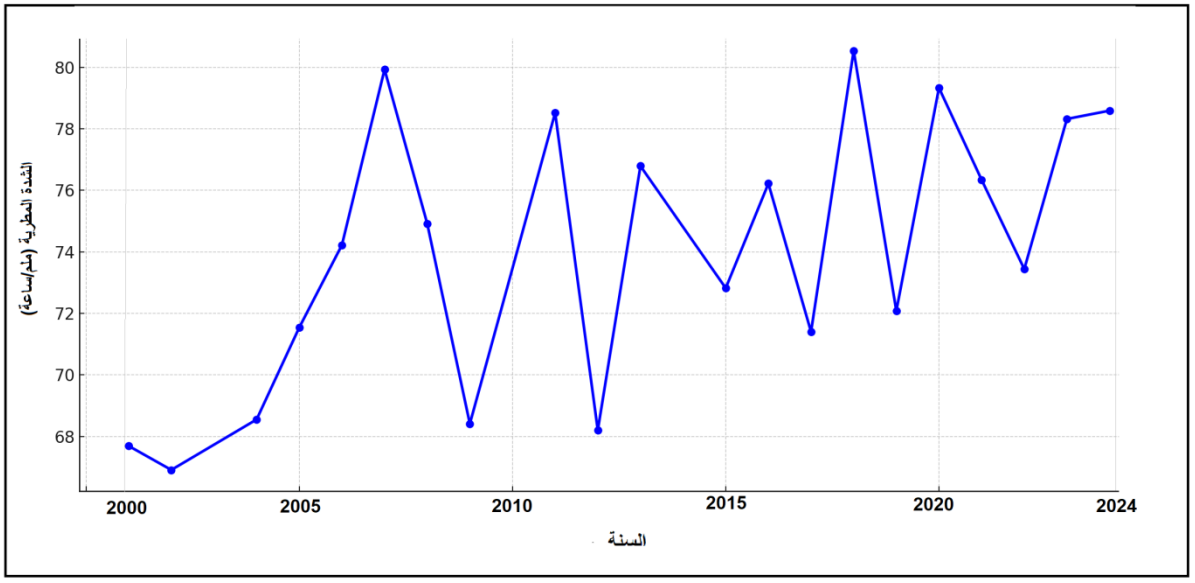
جدول (6) اعلى شدة مطرية مسجلة للمدة (2000–2024)

السنة	الشهر	اليوم	الوقت (نظام 24) ساعة	أعلى شدة (ملم/ساعة)
2000	4	11	20:00	66.7
2001	11	6	21:00	67.7
2002	5	11	11:00	66.9
2003	12	4	8:00	59.0
2004	4	30	21:00	68.6
2005	5	15	21:00	71.5
2006	11	1	12:00	74.2
2007	5	31	16:00	79.9
2008	10	25	16:00	74.9
2009	3	14	1:00	68.4
2010	4	16	3:00	65.2
2011	4	22	20:00	78.5
2012	11	12	8:00	68.2
2013	11	9	15:00	76.8
2014	10	16	13:00	70.5

72.8	21:00	31	12	2015
76.2	23:00	14	12	2016
71.4	2:00	22	11	2017
80.5	21:00	17	2	2018
72.1	9:00	25	3	2019
79.3	12:00	18	3	2020
76.3	1:00	3	11	2021
73.4	21:00	22	10	2022
78.3	20:00	12	4	2023
78.6	12:00	22	3	2024

https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

شكل (2) يوضح أعلى شدة هطول مطري (ملم/ساعة) للمدة (2000-2024)



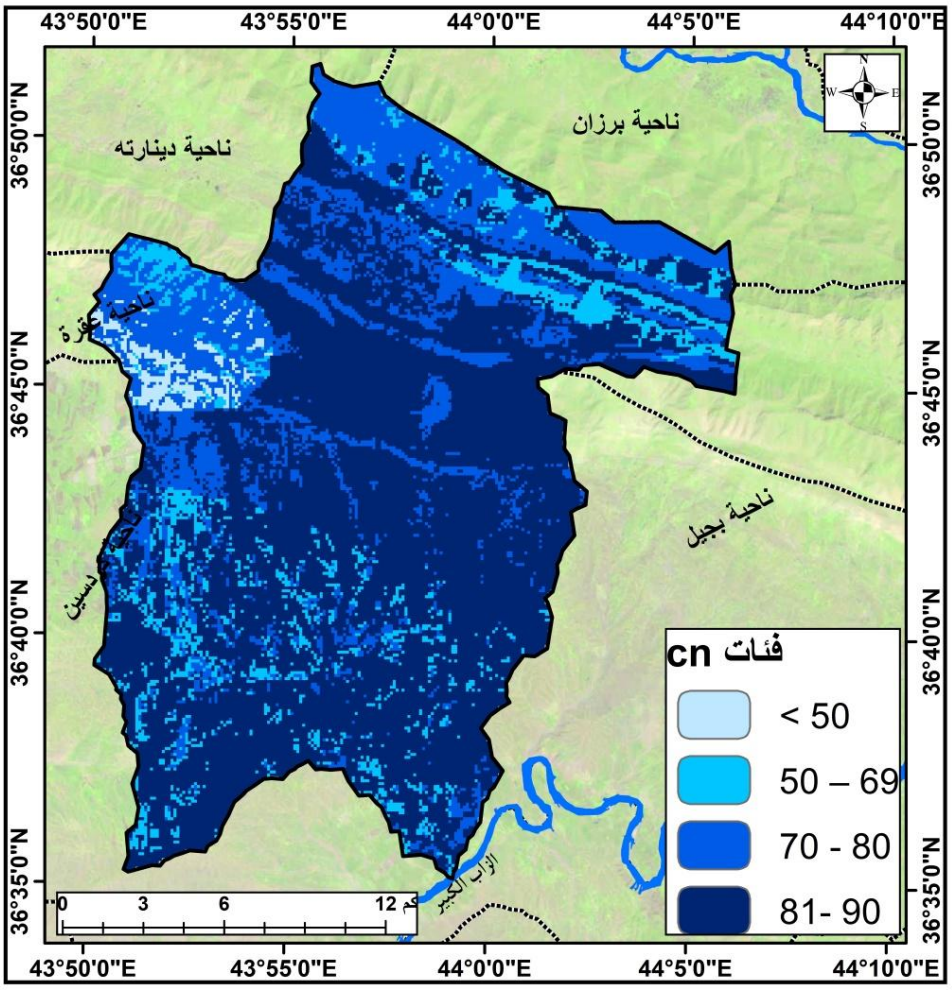
المصدر: بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات Microsoft Excel Worksheet).

ويتضح مما سبق هناك دور فعال للشدات المطرية في الدراسات الهيدرولوجية وتقدير الجريان السطحي، اذ ان القيم العالية لشدة الأمطار، تعني أن حوض وادي زنطه معرض لخطر فيضانات سطحية، لاسيما إذا كانت التربة مشبعة أو غير منفذة. هذه القيم يمكن إدخالها ضمن نماذج تحليل الجريان (مثل نموذج CN) لحساب مقدار الجريان السطحي والاستفادة من المياه المتجمعة لاسيما بطرائق الحصاد المائي (السدود الصغيرة أو الخزانات الترابية).

4. تحليل توزيع منحنى (CN) وتأثيرها على الجريان السطحي في حوض وادي زنطه:

إن رقم المنحنى (Curve Number – CN) هو قيمة عددية تُستخدم في نموذج SCS لتقدير كمية الجريان السطحي الناتج عن هطول الأمطار على مساحة محددة. يعكس CN قدرة سطح الأرض على تحويل مياه الأمطار إلى جريان سطحي أو امتصاصها في التربة. ويُعتبر CN متغيرًا يعتمد بشكل أساسي على خصائص التربة والغطاء الأرضي. وتختلف قيمة CN حسب حالة رطوبة التربة قبل هطول المطر، اذ تُقسم إلى ثلاث حالات، جافة (AMC I)، متوسطة (AMC II)، ورطبة (AMC III). وفي هذا الدراسة تم استخدام الحالة العادية (AMC II) بعد دمج طبقتي اصناف الترب الهيدرولوجية والغطاء الأرضي، وتم استخراج القيم استنادًا إلى جداول دليل SCS الأمريكي الرسمي **(U.S. Department of Agriculture, 2004)**. ومن ملاحظة خريطة (8) وجدول (7)، تم تقسيم حوض وادي زنطه إلى أربع فئات رئيسية بناءً على قيم رقم المنحنى (CN) والتي تعكس مستويات الجريان السطحي المحتملة، كما يلي:

خريطة(8) التوزيع المكاني لفئات منحنى CN في حوض وادي زنطه



USDA NRCS. (2004). National Engineering Handbook, Part 630: Hydrology. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

جدول (7) يوضح مساحة ونسب فئات منحنى CN في حوض وادي زنطه

فئات CN	وصف الجريان السطحي	التفسير الهيدرولوجي	مساحة (كم²)	النسبة المئوية (%)
< 50	جريان منخفض جداً	تربة عالية النفاذية + غطاء نباتي كثيف ، تسرب عالي	6.3	1.55
56 – 69	جريان منخفض	تربة جيدة + غطاء نباتي متوسط ، احتمالية حدوث جريان	39.8	9.81
70 – 79	جريان متوسط	تربة مزيجية أو طينية + غطاء نباتي متوسط – ضعيف	97.6	24.06
80 – 89	جريان مرتفع	تربة طينية + غطاء نباتي ضعيف أو مكشوف	262.1	64.58
المجموع			405.8	100

USDA NRCS. (2004). National Engineering Handbook, Part 630: Hydrology. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

- **الفئة الأولى (CN < 50) – جريان منخفض جدًا:** تمثل هذه الفئة المناطق التي تتميز بتربة ذات نفاذية عالية، مثل التربة الرملية، مع غطاء نباتي كثيف. هذا المزيج يسمح بامتصاص عالي لمياه الأمطار، مما يقلل من حجم الجريان السطحي. تبلغ مساحة هذه الفئة (6.3 كم²)، أي ما يعادل حوالي 1.55% من مساحة الحوض الكلية، مما يشير إلى محدودية انتشارها.
- **الفئة الثانية (CN من 56 إلى 69) – جريان منخفض:** تشمل المناطق ذات التربة جيدة النفاذية مع غطاء نباتي متوسط الكثافة. في هذه المناطق يحدث جريان سطحي لكن بكميات معتدلة مقارنة بالفئات الأخرى. تغطي هذه الفئة مساحة 39.8 كم².
- **الفئة الثالثة (CN من 70 إلى 79) – جريان متوسط:** تمثل المناطق التي تحتوي على تربة مزيجية أو طينية مع غطاء نباتي متوسط إلى ضعيف. ينتج عنها جريان سطحي متوسط الكمية. وتغطي مساحة قدرها 97.6 كم².
- **الفئة الرابعة (CN من 80 إلى 89) – جريان مرتفع:** تشمل هذه الفئة المناطق التي تهيمن عليها التربة الطينية والغطاء النباتي الضعيف أو المكشوف. بسبب قدرة هذه المناطق المحدودة على امتصاص المياه، ينتج عنها جريان سطحي مرتفع، مما يزيد من احتمالية حدوث الفيضانات. هذه الفئة هي الأكبر من اذ المساحة، اذ تغطي حوالي 262.1 كم²، ما يشير إلى أن أغلب مساحة الحوض معرضة لمستويات عالية من الجريان السطحي.

يتضح مما سبق، ان التحليل المكاني لفئات رقم المنحنى (CN) في حوض وادي زنطه أن الغالبية العظمى من مساحة الحوض (حوالي 64.58%)، تقع ضمن الفئة ذات الجريان المرتفع (CN بين 80 و89)، مما يشير إلى أن معظم المنطقة معرضة لجريان سطحي عالي نتيجة لوجود تربة طينية وغطاء نباتي ضعيف أو مكشوف. بالمقابل، تمثل الفئات ذات الجريان المنخفض والمنخفض جدًا مساحات صغيرة نسبيًا، إذ لا تتجاوز نسبتها مجتمعة 11.36% من الحوض، مما يدل على قلة المناطق التي تتمتع بقدرة عالية على امتصاص مياه الأمطار وتقليل الجريان. يعكس هذا التوزيع ضرورة تبني استراتيجيات فعالة لإدارة الموارد المائية والسيطرة على الفيضانات، لاسيما في المناطق التي تشغلها الفئة ذات الجريان المرتفع.

5. بناء نموذج لاحتساب عمق الجريان السطحي الفعلي (Q):

تم بناء نموذج مكاني لحساب عمق الجريان السطحي (Q) في حوض وادي زنطه، باستخدام بيئة (Model Builder) في برنامج Arc Map، وذلك بالاعتماد على معادلة SCS-CN، والتي تتطلب إدخال مجموعة من المدخلات المكانية والرقمية، يلاحظ شكل (3) تمثلت بما يلي:

- شدة المطر (P)(ملم): أعلى كمية هطول مطري سجلت في كل سنة، وهي العامل المحرك الأساسي لعملية الجريان السطحي.
- رقم المنحنى (CN): قيمة رقمية تعبر عن تأثير خصائص التربة وغطاء الأرض على قدرة الحوض على امتصاص المياه. القيم الأقل تدل على قدرة أعلى على امتصاص الماء، بينما القيم الأعلى تعكس ظروف أقل نفاذية. تم اختيار أربعة قيم متوسطة لفئات CN المستخرجة سابقا، اذ تمثلت (45، 62.5، 74.5، 84.5)، تمثل ظروفًا متنوعة من اذ الغطاء الأرضي والتربة ضمن الحوض.
- الاحتباس المحتمل (S): يمثل أقصى كمية من المياه التي يمكن أن تحتجزها التربة قبل بداية الجريان السطحي، باستخدام أداة (Raster Calculator) واخال صيغة المعادلة ((**USDA Soil Conservation Service, 1972**:

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

- الاحتباس الابتدائي (Ia): يمثل كمية المياه التي تُحتجز في بداية الهطول، ويتم حسابه عادةً كنسبة 20% من S. باستخدام أداة Raster Calculator واخال صيغة المعادلة (USDA Soil Conservation Service, 1972) :

$$Ia = S * 0.2$$

- حجم الجريان السطحي(Q)(ملم): يمثل مقدار المياه التي تتحول إلى جريان سطحي بناءً على شدة المطر، وخصائص التربة والغطاء (CN، S، Ia)، باستخدام أداة Raster Calculator واخال صيغة المعادلة (USDA Soil 1972 Conservation Service, :

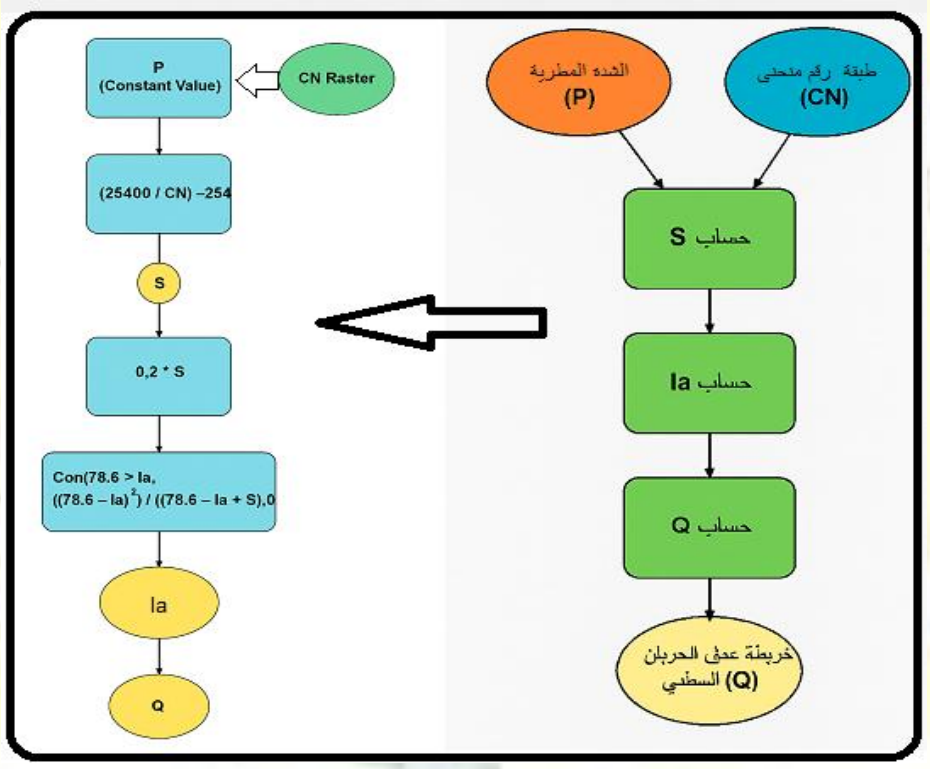
$$Q = (p - Ia)^2 / (p + Ia * s)$$

مع تضمين شرط داخل (Raster Calculator) باستخدام دوال Con، لتصفير Q عندما تكون .($P \leq Ia$ \leq Ia $P \leq Ia$).

إن الهدف من انشاء النموذج هو لتسهيل إمكانية إعادة تنفيذ الحسابات تلقائيًا لأي قيمة مطرية جديدة، أو عند تحديث طبقة CN، مما يجعله أداة مرنة لتحليل سيناريوهات مختلفة للجريان السطحي داخل الحوض. وعلى هذا الاساس تم استخراج قيم (Q)، يلاحظ جدول (8)، اذ يتضح ان كلما ارتفعت قيمة (CN)، زاد قيم(Q) . وذلك لأن ارتفاع قيم (CN) ، يشير إلى تقليل قدرة التربة على تسرب الماء، ما يزيد من كمية الجريان السطحي .فقد سجلت سنة (2000) عند رقم منحنى (45) ، حوالي (6.45) ملم لقيمة Q ، بينما ارتفعت قيمة Q الى حوالي(42.69) ،عند رقم منحنى (84.5).

ويتضح إن قيمة P المتغيرة من سنة إلى أخرى تؤثر مباشرة في Q، لكن تأثيرها يتفاوت حسب قيمة CN، فحتى عندما تكون الشدة المطرية (P) مرتفعة، وبالمقابل CN منخفضة (أي تربة نفاذة)، يبقى Q منخفضًا. ويلاحظ أن قيم (S) و (Ia) ثابتة لكل (CN) لأنها مشتقة مباشرة من معادلة مرتبطة بمنحنى (CN) وليست متغيرة زمنياً.

شكل(3) يوضح بناء نموذج (Model Builder)



المصدر: مخرجات برنامج Arc Map .

جدول (8) احتساب قيم (S) ملم (Ia) ملم (Q) ملم وفق نموذج (Model Builder)

السنة	أعلى شدة مطرية P (ملم)	CN	(S) ملم	(Ia)ملم	(Q) ملم
2000	66.7	45	307.56	61.51	6.45
		62.5	154.4	30.88	25.49
		74.5	84.2	16.84	38.25
		84.5	46.04	9.21	42.69

6.62	61.51	307.56	45	67.7	2001
26.02	30.88	154.4	62.5		
38.87	16.84	84.2	74.5		
43.38	9.21	46.04	84.5		
6.17	61.51	307.56	45	66.9	2002
25.06	30.88	154.4	62.5		
37.71	16.84	84.2	74.5		
42.11	9.21	46.04	84.5		
3.31	61.51	307.56	45	59	2003
19.01	30.88	154.4	62.5		
29.02	16.84	84.2	74.5		
32.28	9.21	46.04	84.5		
7.04	61.51	307.56	45	68.6	2004
26.85	30.88	154.4	62.5		
40.18	16.84	84.2	74.5		
44.72	9.21	46.04	84.5		
8.58	61.51	307.56	45	71.5	2005
29.06	30.88	154.4	62.5		
43.48	16.84	84.2	74.5		
48.58	9.21	46.04	84.5		
10	61.51	307.56	45	74.2	2006
31.07	30.88	154.4	62.5		
46.3	16.84	84.2	74.5		
51.6	9.21	46.04	84.5		
13.96	61.51	307.56	45	79.9	2007
35.97	30.88	154.4	62.5		
52.87	16.84	84.2	74.5		
58.98	9.21	46.04	84.5		

10.38	61.51	307.56	45	74.9	2008
31.43	30.88	154.4	62.5		
46.84	16.84	84.2	74.5		
52.29	9.21	46.04	84.5		
6.92	61.51	307.56	45	68.4	2009
26.63	30.88	154.4	62.5		
39.76	16.84	84.2	74.5		
44.22	9.21	46.04	84.5		
5.29	61.51	307.56	45	65.2	2010
23.99	30.88	154.4	62.5		
35.63	16.84	84.2	74.5		
39.67	9.21	46.04	84.5		
13	61.51	307.56	45	78.5	2011
35.01	30.88	154.4	62.5		
51.89	16.84	84.2	74.5		
58.11	9.21	46.04	84.5		
6.81	61.51	307.56	45	68.2	2012
26.48	30.88	154.4	62.5		
39.47	16.84	84.2	74.5		
43.88	9.21	46.04	84.5		
12.08	61.51	307.56	45	76.8	2013
33.94	30.88	154.4	62.5		
49.67	16.84	84.2	74.5		
55.75	9.21	46.04	84.5		
8.94	61.51	307.56	45	70.5	2014
28.95	30.88	154.4	62.5		
42.68	16.84	84.2	74.5		
47.57	9.21	46.04	84.5		

9.82	61.51	307.56	45	72.8	2015
30.47	30.88	154.4	62.5		
44.98	16.84	84.2	74.5		
50.27	9.21	46.04	84.5		
11.69	61.51	307.56	45	76.2	2016
33.63	30.88	154.4	62.5		
49.19	16.84	84.2	74.5		
55.12	9.21	46.04	84.5		
8.69	61.51	307.56	45	71.4	2017
28.56	30.88	154.4	62.5		
42.26	16.84	84.2	74.5		
47.13	9.21	46.04	84.5		
14.7	61.51	307.56	45	80.5	2018
36.8	30.88	154.4	62.5		
53.55	16.84	84.2	74.5		
59.75	9.21	46.04	84.5		
9.45	61.51	307.56	45	72.1	2019
29.85	30.88	154.4	62.5		
44.25	16.84	84.2	74.5		
49.35	9.21	46.04	84.5		
13.52	61.51	307.56	45	79.3	2020
35.46	30.88	154.4	62.5		
52.56	16.84	84.2	74.5		
58.63	9.21	46.04	84.5		
11.72	61.51	307.56	45	76.3	2021
33.68	30.88	154.4	62.5		
49.3	16.84	84.2	74.5		
55.18	9.21	46.04	84.5		

10.09	61.51	307.56	45	73.4	2022
31.63	30.88	154.4	62.5		
46.76	16.84	84.2	74.5		
52.17	9.21	46.04	84.5		
12.75	61.51	307.56	45	78.3	2023
34.35	30.88	154.4	62.5		
51.37	16.84	84.2	74.5		
57.33	9.21	46.04	84.5		
12.92	61.51	307.56	45	78.6	2024
34.58	30.88	154.4	62.5		
51.64	16.84	84.2	74.5		
57.56	9.21	46.04	84.5		

المصدر: جدول (6)(7).

6. احتساب حجم الجريان السطحي (v) م3:

يُعد حساب حجم الجريان السطحي (Runoff Volume) من الخطوات الأساسية لتقدير مخاطر الفيضانات وتحديد كمية المياه السطحية المتجمعة في أحواض التصريف. تمّ اعتماد طريقة خدمة الحفاظ على التربة الأمريكية (SCS–CN method) لحساب الجريان السطحي، وهي من أكثر الطرق شيوعًا ودقة. ويتم احتساب حجم الجريان السطحي (V) بوحدة المتر المكعب (م³) من خلال المعادلة الاتية **(USDA Soil Conservation Service, 1972)** :

$$V=Q\times A\times 1000$$

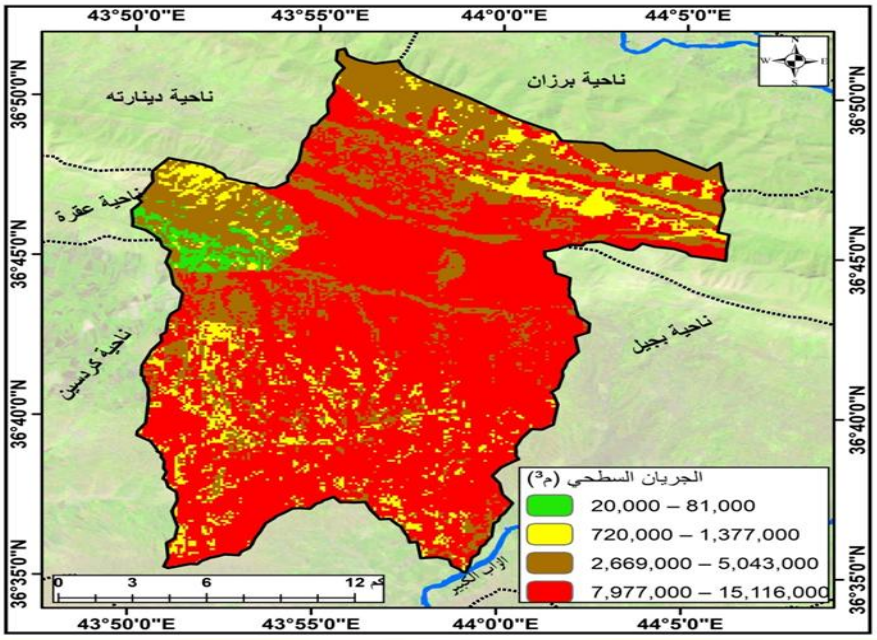
إذ أن:

- V = حجم الجريان السطحي (م³)
- Q = عمق الجريان السطحي (ملم)، يُحسب باستخدام معادلةSCS
- A = مساحة المنطقة (كم²)
- 1000 = معامل التحويل من (كم² * ملم) إلى (م³)

ومن ملاحظة خريطة (8)، وجدول (9)، اذ تم تقسيم شدة الهطول المطري إلى ثلاث فئات رئيسية تمثلت بشدة قليلة، شدة متوسطة، شدة عالية، وتم اعتماد هذه الفئات كأساس لحساب كل من عمق الجريان السطحي (Q) وحجم الجريان (V) بوحدة المتر المكعب، باستخدام طريقة SCS المعتمدة على رقم المنحنى (CN) والمساحة، وعلى النحو الاتي:

- شدة مطرية قليلة: اذ تمتاز هذه الفئة بهطول قليل نسبيًا، وجريان منخفض لاسيما في المناطق ذات قيم CN (45)، فقد سجلت عمق جريان حوالي (3.2 ملم)، ما يدل على قدرة ارتشاح عالية (تربة جيدة التصريف). في حين سجلت أعلى حجم جريان ضمن هذه الفئة ضمن مناطق (CN) (84.5)، فقد بلغت عمق الجريان (30.44) ملم، اذ بلغت مساحتها حوالي 262.1 كم²، ويُقدّر حجم الجريان بحوالي (7.9) مليون م³.
- شدة مطرية متوسطة: يظهر ضمن هذه الفئة زيادة في كمية الهطول، اذ ارتفعت قيم الجريان لكل منطقة. ويتبن أن المناطق ذات CN المرتفع (84.5) ما تزال تسجل أعلى جريان نتيجة انخفاض قدرة التربة على الامتصاص، اذ وصل الحجم إلى حوالي 11.76 مليون م³. والمناطق ذات CNالمنخفضة المتمثلة برقم (45)، فقد بلغت حجم الجريان حوالي (48,951) م³، على الرغم من زيادة الهطول إلى (70.8) ملم، بسبب خصائص التربة الجيدة.
- شدة مطرية عالية: هذه الفئة تُظهر التأثير الأكبر على الجريان، لاسيما في المناطق ذات رقم منحنى عالٍ(CN) (84.5). فقد بلغت أعلى قيمة للجريان وبمقدار (57.65) ملم، وبحجم جريان يتجاوز (15) مليون م³. اذ بلغت مساحتها حوالي (262.1) كم²، في حين المناطق ذات CN المنخفض بقيت تسجّل جريانًا ضئيلًا، بنحو (81,144 م³) لـ CN (45).

خريطة (8) التوزيع المكاني لحجم الجريان السطحي /م3 وفق شدات مطرية مختلفة (قليلة – متوسطة – عالية)



جدول (8). مخرجات برنامج Arc map 10.8.

جدول (9) احتساب حجم الجريان السطحي (v) م3 وفق شدات مطرية مختلفة (قليلة – متوسطة – عالية)

الفئة المطرية	متوسط P (ملم)	CN	(Q)ملم	مساحة (كم²)	حجم الجريان (م³)
شدة قليلة	63.6	45	3.2	6.3	20,160
		62.5	18.12	39.8	720,576
		74.5	27.36	97.6	2,669,536
		84.5	30.44	262.1	7,977,524
شدة متوسطة	70.8	45	7.77	6.3	48,951
		62.5	27.97	39.8	1,112,206
		74.5	40.4	97.6	3,943,040
		84.5	44.88	262.1	11,765,448
شدة عالية	78.6	45	12.88	6.3	81,144
		62.5	34.62	39.8	1,377,276
		74.5	51.68	97.6	5,043,968
		84.5	57.65	262.1	15,116,765

المصدر: جدول (8) ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

رابعاً. تحليل المخاطر البيئية الناتجة عن الجريان السطحي المرتفع في حوض وادي زنطه:

يُعد الجريان السطحي المرتفع من أبرز العوامل المؤثرة في تدهور البيئات الطبيعية، خصوصًا في الأحواض ذات الخصائص الجيومورفولوجية المعقدة، كما هو الحال في حوض وادي زنطه، الذي يتعرض سنويًا لهطولات مطرية شديدة ضمن فصول الربيع والخريف، ما يؤدي إلى حدوث موجات جريان فجائية، لاسيما في المناطق التي تفتقر إلى الغطاء النباتي أو التي تتكون من ترب ضعيفة النفاذية. وتشير نتائج تطبيق نموذج SCS–CN في حوض وادي زنطه إلى سيادة فئة الجريان السطحي المرتفع المتمثلة برقم منحنى(CN) من (80–89)، والتي تغطي حوالي 64.58% من مساحة الحوض، أي ما يعادل (262.1) كم². وقد ارتبطت هذه الفئة بالتكوينات الجيولوجية ذات النفاذية المنخفضة، مثل تكوين باي حسن ومقدادية، والترب الطينية المتمثلة بالترب الهيدرولوجية (B وc)، بالإضافة إلى ضعف الغطاء النباتي أو انعدامه، ما جعل هذه المناطق غير قادرة على امتصاص كميات الأمطار العالية، لاسيما في فترات الشدة المطرية الموسمية.

وقد بيّنت نتائج تحليل حجم الجريان السطحي (V) أن هذه المناطق تنتج أكبر كمية من المياه المتدفقة، إذ تجاوز حجم الجريان فيها خلال الشدة المطرية العالية المتمثلة بالشدة (78.6 ملم)، حوالي (15.1) مليون م³، وهي قيمة تعكس عبئًا هيدرولوجيًا شديدًا، لاسيما إذا ما تزامن مع تشبّع التربة أو فيضان الأودية. هذا التدفق المرتفع يُعدّ أحد المحركات الأساسية لمخاطر التعرية

الشديدة، تدهور التربة، فقدان الغطاء النباتي، تهديد الأراضي الزراعية، ونقل الرواسب إلى المجاري الرئيسة، ما يؤدي إلى انسداد بعض مقاطع الأودية أو تغيير مسارات الجريان.

إضافة إلى ذلك، فإن ارتفاع قيم الجريان في المناطق ذات التضاريس الحادة المتمثل (المنحدرات المتقطعة بدرجة عالية حسب تصنيف زنك)، يزيد من احتمالية الفيضانات المفاجئة، لاسيما في مواقع الالتقاء بين الأودية والسهول. وتشير هذه العوامل مجتمعة إلى ضرورة إنشاء خرائط خطر مائي، وتحديد أولويات التدخل البيئي والمائي. لذلك، فإن فهم وتحديد مناطق الجريان المرتفع يُعدّ مدخلًا ضروريًا لتقليل المخاطر البيئية، عبر تبنّي سياسات حصاد مائي، وزيادة الغطاء النباتي، وبناء منشآت تنظيم الجريان كالحواجز الترابية أو السدود الصغيرة، في إطار رؤية استدامة بيئية شاملة تعتمد على تحليل علمي مكاني دقيق.

ولأجل توليد خريطة المخاطر، تم دمج ثلاث طبقات مكانية رئيسية تمثلت بكل من (الانحدار، نوع التكوينات الجيولوجية، وحجم الجريان السطحي)، وذلك باستخدام أدوات التحليل المكاني ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وتم تصنيف كل عامل الى اربعة مستويات من درجة خطورة تبدأ بمستوى (1) وهي تمثل الاقل خطورة إلى مستوى (4) التي تمثل الاعلى خطورة، ثم تحسب متوسط هذه الدرجات لنحصل على مستوى الخطر النهائي، يلاحظ جدول (10).

جدول (10) يوضح مستويات الخطورة لكل من (الانحدار – المنكشفات الصخرية – حجم الجريان السطحي /م3)

الوصف	مستويات الخطورة	الانحدار/زنك	التكوينات الجيولوجية	حجم الجريان /م3
منخفض	1	2 – 7.9	بيلاسبي – قمجوقة – ترسبات مروحية طموية – كولوش	20,000 – 81,000
متوسط	2	8 – 15.9	انجانا – بالامبو– جراكو – سرمورد– تشيا جارا، بارسارين، ناوكليكان، سرغيلو – سهكانيان وسركي – شيرانيش – عقرة وبخمة – مقدادية	720,000 – 1,377,000
مرتفع	3	16 – 29.9	باي حسن – تانجيرو – جيركس	2,669,000 – 5,043,000
مرتفع جدا	4	≥30	ترسبات منحدرات – الفتحة	7,977,000 – 15,116,000

المصدر: بالاعتماد على جدول (2)، (3)، (9).

ومن خلال ملاحظة خريطة (9)، وجدول (11)، التي تمثل المحصـــلة للمخاطر البيئية ضـــمن حوض وادي زنطه، اذ تم الحصول على أربع مستويات من الخطورة، وعلى النحو الاتي:

أ- فئة الخطر المنخفض:

تشغل مساحة تقدر بحوالي (4.6) كم²، أي ما يعادل (1.20) % من مساحة الحوض. تتواجد في مناطق ذات انحدار بسيط ومعتدل، وتكوينات ذات نفاذية عالية، وأحجام جريان منخفضة. هذه المناطق تتميز بقدرتها على امتصاص مياه الأمطار، ومقاومتها لمخاطر التعرية والفيضانات. غالبًا ما تكون مناسبة للأنشطة الزراعية أو العمرانية دون تدخل هندسي كبير.

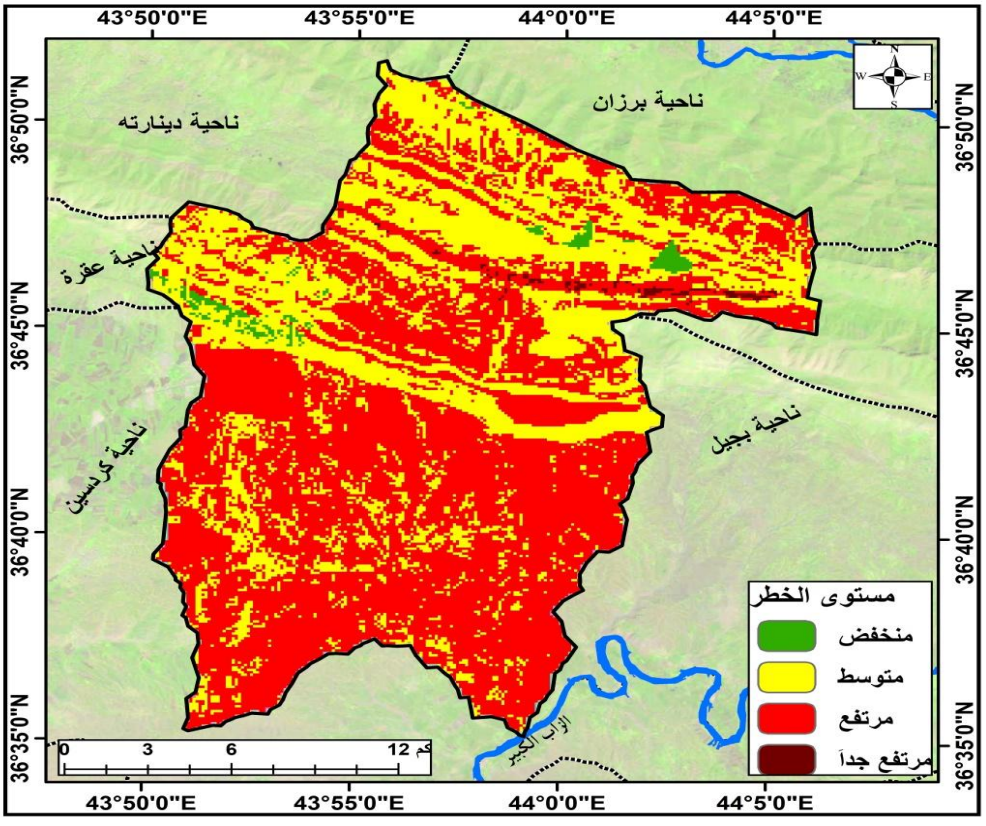
ب- فئة الخطر المتوسط:

تغطي هذه الفئة مساحة واسعة تقدر بنحو (145.6) ك م2 وبنسبة (35.90%)، تشمل مناطق ذات انحدار معتدل وتكوينات متوسطة النفاذية. والجريان السطحي فيها لا يُعد خطيرًا في الظروف العادية، لكنه قد يصبح مصدر خطر عند تكرار الأمطار الشديدة أو تشبّع التربة. تحتاج إلى مراقبة دورية وتدخل جزئي مثل زراعة الغطاء النباتي وتحسين إدارة الأراضي.

ت- فئة الخطر المرتفع:

تمثّل هذه الفئة النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ تبلغ (253.4) ك م2، وبنسبة (62.40%)%، تنتشر هذه الفئة ضمن مناطق ذات تضاريس متموجة إلى شديدة الانحدار، وتحتوي على تكوينات جيولوجية ضعيفة النفاذية، وحجم جريان مرتفع يتجاوز (2) مليون م³، وتتعرض هذه المناطق الى التعرية، وتدهور التربة، ونقل الرواسب، والتي تتطلب تدخلًا فوريًا عبر إقامة حواجز مائية، ومشاريع حصاد مياه، وتشجير المنحدرات لتقليل حدة التعرية.

خريطة (9) التوزيع المكاني لمستويات الخطورة البيئية في حوض وادي زنطه



المصدر: جدول (10) ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

جدول (11) يوضح المساحة لمستويات الخطورة البيئية في حوض وادي زنته

معدل R	مستوى الخطر النهائي	نوع الأثر البيئي المحتمل	المساحة (كم²)	النسبة المئوية
1.0 – 1.5	منخفض	تسرب جيد + استقرار بيئي نسبي	4.9	1.20%
1.6 – 2.5	متوسط	ترسيب + تعكر مياه + فقد جزئي للغطاء	145.6	35.90%
2.6 – 3.4	مرتفع	تعرية واضحة + تلف الزراعة + تدهور الغطاء النباتي	253.4	62.40%
3.5 – 4.0	مرتفع جدًا	فيضانات سريعة + تعرية تامة + فقد التربة	1.9	0.50%
المجموع			405.8	100%

المصدر: جدول (10) ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

ث- فئة الخطر المرتفع جدًا:

تُعد هذه الفئة الأقل مساحة بواقع (1.9 كم²)، أي ما يعادل (0.50%) من مساحة الحوض، لكنها شديدة الخطورة محليًا. غالبًا تقع في مناطق جبلية شديدة الانحدار ذات جريان عنيف، وتسبب فيضانات سريعة مفاجئة تهدد التجمعات السكنية أو الزراعية في السفوح أو الأودية المجاورة.

يستنتج مما سبق ان أغلب مساحة الحوض والبالغة (98.3%) تقع بين فئتي الخطر المتوسط إلى المرتفع. يشير ذلك إلى أن وادي زنطه بحاجة ماسة إلى إدارة متكاملة للمخاطر المائية، وتطوير خطط استدامة تشمل الغطاء النباتي، الحصاد المائي، وتقنيات التحكم في الجريان.

الاستنتاجات:

1. سيادة الجريان السطحي المرتفع في حوض وادي زنطه، إذ تغطي فئة رقم المنحنى (CN) بين (80–89) ما نسبته 64.58% من مساحة الحوض، ما يدل على قابلية عالية لتوليد الجريان السطحي، لاسيما في فترات الشدة المطرية.
2. . ارتباط الجريان المرتفع بتكوينات جيولوجية ذات نفاذية منخفضة مثل تكوين باي حسن ومقدادية، إضافة إلى الترب من المجموعتين B وC التي تشغل أكثر من 90% من الحوض، مما يحدّ من قدرة المنطقة على امتصاص مياه الأمطار.

3. . ضعف الغطاء النباتي وانتشار المكاشف الصخرية والترب الجرداء في حوالي 58% من الحوض يساهم في زيادة خطر التعرية والتدهور البيئي، لاسيما في السفوح ذات الانحدار العالي.

4. سجلت المناطق ذات CN المرتفع أعلى قيم لحجم الجريان السطحي (V)، إذ تجاوزت في الفئة المطرية العالية (78.6 ملم) حوالي (15) مليون م^3، مما يُمثل عبئًا مائيًا قد يسبب فيضانات موضعية خطيرة.

5. أوضح التحليل المكاني أن 98% من مساحة الحوض تقع ضمن فئتي الخطورة البيئية المتوسطة والعالية، ما يؤكد هشاشة النظام البيئي المائي وضرورة التدخل الفوري في هذه المناطق.

التوصيات:

1.اعتماد استراتيجية إدارة متكاملة للمخاطر المائية تشمل تعزيز الغطاء النباتي، وتطبيق تقنيات الحصاد المائي، لاسيما في السفوح والمنحدرات ذات الجريان العالي.

2.تصميم منشآت حصاد مائي (سدود صغيرة – خزانات ترابية) في المواقع التي سجّلت أعلى قيم لحجم الجريان، لتقليل الفقد السطحي والاستفادة من المياه لأغراض الزراعة أو التغذية الجوفية.

3.إعادة تأهيل المناطق ذات الغطاء النباتي الضعيف عبر برامج تشجير محلية باستخدام نباتات مقاومة للجفاف والتعرية، للحد من خطر التدهور البيئي.

4.إنشاء خريطة دورية لخطر الفيضانات باستخدام أدوات GIS وربطها ببيانات الأمطار المحدثة من NASA، لتحديث سيناريوهات الجريان وتحديد أولويات التدخل.

5.تشجيع البحوث الميدانية المحلية لاستكمال تحليل خصائص التربة والتكوينات بدقة أعلى، لتغذية نماذج الهيدرولوجيا بمعلومات محلية موثوقة.

6.الاستفادة من نتائج نموذج SCS–CN في خطط التنمية الحضرية والزراعية، لاسيما في المناطق القريبة من مجرى وادي زنطه، من خلال تحديد المناطق المحظورة للبناء أو التي تحتاج إلى حماية.

المصادر

علي ، اسراء عبدالواحد. (2025). دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالجريان السطحي والاستدامة البيئية- دراسة مستقبلية (20205-2050) لحوض وادي حقلان. *مداد الآداب*.الجامعة العراقية . https://doi.org/https://doi.org/10.58564/ma.v15i41.2217

شنيشل ، بلسم شاكر ، امين ، و رقية احمد. (2020). مخاطر الشدات المطرية على سير العمليات الجيومورفية لمحافظة دهوك شمال غرب العراق باستعمال التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية. *مجلة ديالى*. https://doi.org/https://doi.org/10.57592/djhr.v1i85.933

الخالدي، رافد صالح مهدي. (2025). تحليل تأثير التغير المناخي على الخصائص الكمية للأمطار والجفاف اليومية في العراق. *مجلة واسط للعلوم الإنسانية*. https://doi.org/https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol21.Iss2.895

الموسوي ، شذى سالم، الخفاجيج ، سين عذاب. (2022). الخصائص المورفومترية لحوض وادي شوشيرين شمال شرقي محافظة واسط. *مجلة واسط للعلوم الانسانية،جامعة واسط*. https://doi.org/https://doi.org/10.31185/.Vol17.Iss49.44

المصادر الإنكليزية:

Buday .The Regional Geology of Iraq .(1987) .

.(2024) .Nasa. https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer

Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. ..*National Engineering Handbook, Part 630: Hydrology.(2004)* .USDA NRCS

U.S. Department of Agriculture. .National engineering handbook, section 4: Hydrology .U.S. Department of Agriculture.(1972) ،*Soil Conservation Service (SCS)*

. .(2024)*United States Geological Survey* .USGS. https://earthexplorer.usgs.gov