مجلة التربية للعلوم الانسانية

مجلة علمية فصلية محكّمة، تصدر عن كلية التربية للعلوم الإنسانية / جامعة الموصل

توظيف الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة نظم المعلومات الجغرافية لاختيار مواقع حصاد المياه: دراسة حالة حوض محمد ئاوا في محافظة دهوك

حسين علي رشيد [1] **فراس حسن سلمان** [2] **محمد موسى خضر** [3]

جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الإنسانية / قسم الجغرافيا / نينوى – العراق [1، 3]

المديرية العامة لتربية محافظة نينوى/ قسم تربية دهوك / نينوى – العراق [2]

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام : 2026/6/8

تاريخ المراجعة : 2026/7/17

تاريخ القبول : 2026/7/23

تاريخ النشر : 2026/9/1

الكلمات المفتاحية :

الذكاء الاصطناعي؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ حصاد المياه؛ الملاءمة المكانية؛ حوض محمد ئاوا.

معلومات الاتصال

حسين علي

Hussein.alzoury@uomosul.edu.iq

الملخص

يهدف البحث إلى توظيف الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية في تحديد المواقع الأولية المقترحة لحصاد المياه في حوض محمد ئاوا بمحافظة دهوك. اعتمد البحث على بناء قاعدة بيانات مكانية شملت الارتفاع، والانحدار، والتربة، والجيولوجيا، والقرب من شبكة التصريف، ورقم المنحنىCN ، والغطاء الأرضي/استعمالات الأرض. واستُخدمت خوارزمية Random Forest ضمن منصة Google Earth Engine لتصنيف مرئيات Sentinel-2 وإنتاج خريطة الغطاء الأرضي، ثم أُدخلت الطبقات المعاد تصنيفها في نموذج Weighted Sum داخل ArcGis Pro 3.4.0 لإنتاج خريطة الملاءمة المكانية. أظهرت النتائج أن فئة الملاءمة المتوسطة شغلت 43.38% من مساحة الحوض، تلتها فئة الملاءمة العالية بنسبة 32.39%، بينما لم تتجاوز فئة الملاءمة العالية جدًا 3.06%. وبعد استخراج فئتي الملاءمة العالية والعالية جدًا وتقاطعها مع نطاق 100 م من شبكة التصريف، تم تحديد 16 موقعًا أوليًا مقترحًا لحصاد المياه. وتؤكد الدراسة أن هذه المواقع تمثل مقترحات أولية تحتاج إلى تحقق ميداني ودراسات هندسية وهيدرولوجية تفصيلية قبل اعتمادها للتنفيذ

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Journal of Education for Humanities

A peer-reviewed quarterly scientific journal issued by College of Education for Humanities / University of Mosul

Utilizing Artificial Intelligence to Enhance the Efficiency of Geographic Information Systems in Selecting Water Harvesting Sites: A Case Study of the Mohammed Awa Basin in Duhok Governorate

Hussein Ali Rasheed [1] **Firas Hasan Salman** [2] **Mohammed Musa Khuder** [3]
University of Mosul / College of Education for Humanities /Geography / Nineveh – Iraq [1,3]
General Directorate of Education in Nineveh/ Duhok Education / Nineveh – Iraq [2]

Article information

Received : 8/6/2026
Revised 17/7/2026
Accepted : 23/7/2026
Published 1/9/2026

Keywords:
Artificial Intelligence; Geographic Information Systems; Water Harvesting; Spatial Suitability; Mohammed Awa Basin

Correspondence:
Hussein Ali
Hussein.alzoury@uomosul.edu.iq

Abstract

This study aims to employ artificial intelligence and geographic information systems to identify preliminary water harvesting sites in the Mohammed Awa Basin, Duhok Governorate. A spatial database was developed using elevation, slope, soil, geology, distance to drainage network, Curve Number (CN), and land use/land cover layers. The Random Forest algorithm was applied in Google Earth Engine to classify Sentinel-2 imagery and produce the land use/land cover map. The reclassified spatial layers were then integrated using the Weighted Sum model in ArcGis Pro 3.4.0 to generate the final spatial suitability map. The results showed that the moderate suitability class occupied 43.38% of the basin area, followed by the high suitability class with 32.39%, while the very high suitability class covered only 3.06%. After extracting the high and very high suitability classes and intersecting them with a 100 m buffer around the drainage network, 16 preliminary water harvesting sites were identified. The study emphasizes that these sites should be considered initial proposals requiring field verification and detailed engineering and hydrological assessments before implementation

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

تعتبر مياه الامطار والجريان السطحي موردًا مهمًا في الأحواض الصغيرة، وخصوصا في المناطق التي تتباين فيها الأمطار موسميًا، إذ لا تكمن المشكلة دائمًا في قلة المطر، بل في سرعة فقدان جزء منه عبر الجريان السطحي من دون استثمار مناسب. ويمثل حصاد المياه أحد الأساليب التي تساعد على تحسين الاستفادة من هذا المورد، غير أن اختيار مواقعه لا يتم بصورة عشوائية، بل يرتبط بعوامل مكانية متعددة، مثل الانحدار، والتربة، وشبكة التصريف، وغيرها من العوامل. ومن هنا تبرز أهمية نظم المعلومات الجغرافية في دمج هذه العوامل ضمن نموذج مكاني واحد لتحديد المواقع الأكثر ملاءمة. ولأن دقة النموذج تعتمد على دقة الطبقات المدخلة إليه، يوظف هذا البحث خوارزمية Random Forest داخل منصة Google Earth Engine لإنتاج طبقة الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض من مرئيات Sentinel-2 ، ثم دمجها مع بقية الطبقات المكانية لاختيار المواقع الأولية المقترحة لحصاد المياه في حوض محمد ئاوا في دهوك.

مشكلة البحث

1. ما العوامل الطبيعية والهيدرولوجية الأكثر تأثيرًا في اختيار مواقع حصاد المياه داخل منطقة الدراسة.
2. كيف يمكن توظيف خوارزمية Random Forest داخل Google Earth Engine في إعداد خريطة الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض؟ وهل للذكاء الاصطناعي دور في تحسين النموذج؟
3. هل يمكن دمج الطبقات المكانية المختلفة باستخدام Weighted Sum لإنتاج خريطة نهائية لملاءمة مواقع حصاد المياه؟ واين تتركز تلك المواقع ؟

فرضيات البحث

1. تؤثر العوامل الطبيعية والهيدرولوجية في اختلاف درجة ملاءمة مواقع حصاد المياه داخل حوض محمد ئاوا.
2. يمكن لخوارزمية Random Forest داخل Google Earth Engine أن توفر خريطة غطاء أرضي/استعمالات أرض مناسبة للاستخدام ضمن نموذج الملاءمة المكانية.
3. تسهم طبقة الغطاء الأرضي المصنفة بالذكاء الاصطناعي في تحسين تمثيل خصائص السطح في النموذج، لأنها تعكس اختلاف استجابة الأرض للمطر والجريان.

أهداف البحث

4. بناء قاعدة بيانات مكانية لحوض محمد ئاوا تضم أهم العوامل الطبيعية والهيدرولوجية المؤثرة في اختيار مواقع حصاد المياه، وتشمل الارتفاع، والانحدار، والتربة، والجيولوجيا وعوامل اخرى .
5. توظيف مرئيات Sentinel-2 وخوارزمية Random Forest ضمن منصة Google Earth Engine لإنتاج خريطة للغطاء الأرضي/استعمالات الأرض، واستخدامها في الملائمة المكانية.

6. تحديد المواقع الاولية المقترحة لحصاد المياه وتصنيفها حسب الاولية، مع التاكيد على ضرورة التحقق الميداني واجراء الدراسات الهندسية والهيدرولوجية قبل اعتمادها للتنفيذ .

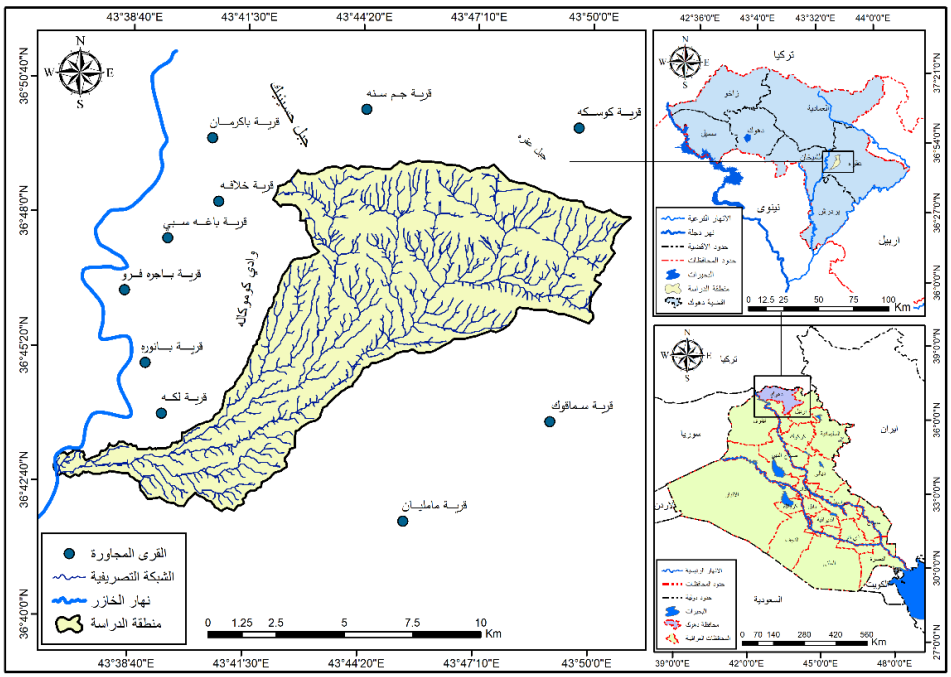
أهمية البحث

تأتي أهمية البحث من كونه يعالج موضوعًا تطبيقيًا يرتبط بإدارة مياه الأمطار والجريان السطحي في حوض صغير ضمن محافظة دهوك. كما أنه لا يكتفي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بصورة تقليدية، بل يدخل خوارزمية Random Forest لتحسين إعداد إحدى الطبقات المهمة في النموذج وهي طبقة الغطاء الأرضي.

موقع منطقة الدراسة

يقع حوض محمد ئاوا إداريًا ضمن قضاء عقرة، في الجزء الغربي منه، ضمن محافظة دهوك في شمال العراق. اما فلكيا فتقع منطقة الدراسة بين دائرتي عرض (36° 49 ′ 16.284″ – 36° 41 ′ 59.109″) درجة شمالا وبين خطي طول (43° 36 ′ 24.245″ – 43° 51 ′ 2.760″) درجة شرقا. وتبلغ مساحة منطقة الدراسة نحو 96.76 كم². ويظهر من خريطة الموقع أن الحوض تحيط به مجموعة من القرى والتجمعات الريفية، منها قرية خلافة وباكرمان وباخه سبي من الجهة الغربية والشمالية الغربية، وقرية كوسكه من الجهة الشمالية الشرقية، وقرية سماقوك من الجهة الشرقية، فضلًا عن قرية ماملیان في الجهة الجنوبية.(خريطة1)

خريطة (1): موقع حوض محمد ئاوا ضمن محافظة دهوك



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الحدود الإدارية، ونموذج الارتفاع الرقمي DEM، وبرنامج ArcGis Pro 3.4.0.

منهجية البحث

اعتمد البحث على المنهج الوصفي في دراسة الخصائص العامة لحوض محمد ئاوا في محافظة دهوك، والمنهج التحليلي المكاني في تحليل الخرائط والطبقات الجغرافية المرتبطة باختيار مواقع حصاد المياه، فضلًا عن المنهج الكمي في حساب المساحات والنسب والأوزان الخاصة بالمعايير الطبيعية والهيدرولوجية المؤثرة في نموذج الملاءمة المكانية .

المواد وطرائق العمل

أولًا: إعداد الخرائط الموضوعية

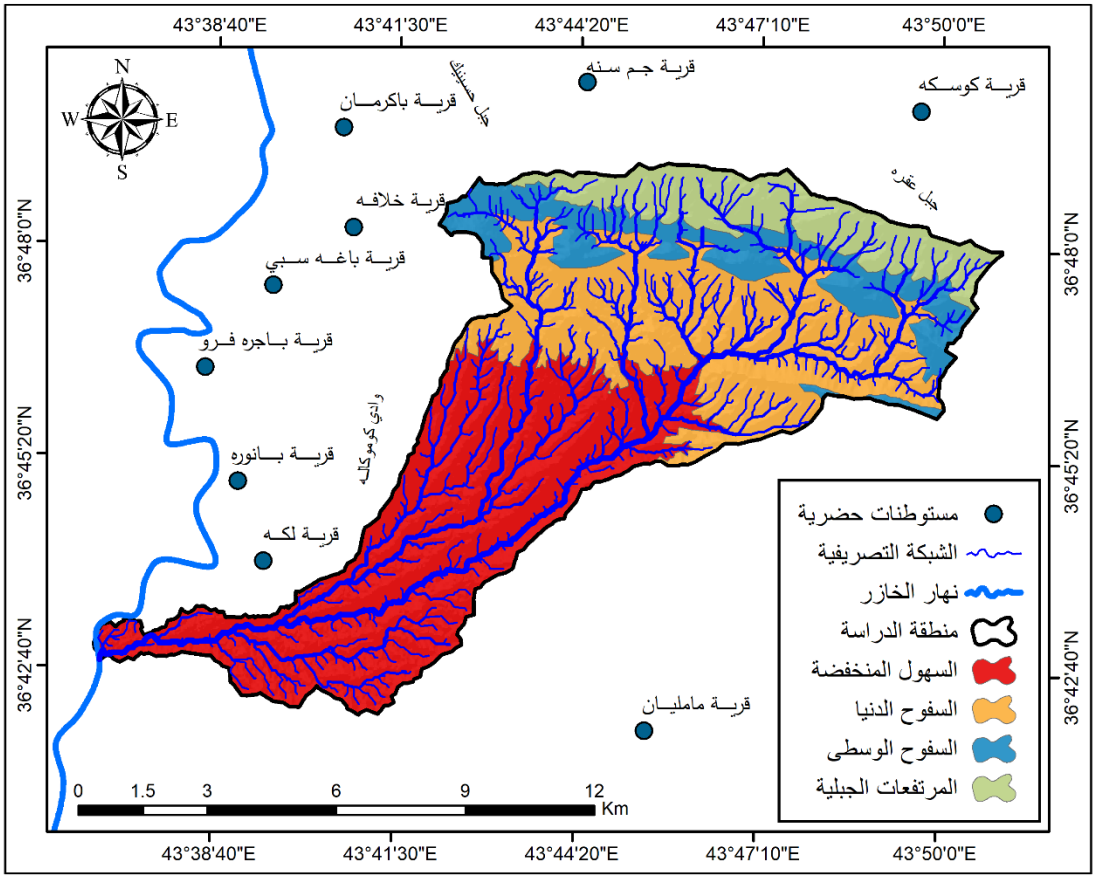
اعتمد إعداد الخرائط الموضوعية في هذا البحث على تحويل البيانات المكانية الخام إلى طبقات قابلة للتحليل داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية. وقد شملت هذه الطبقات العوامل الطبيعية والهيدرولوجية المؤثرة في اختيار مواقع حصاد المياه، وهي كالتالي :

اولا: قيم الارتفاعات في منطقة الدراسة

تساهم الارتفاعات في الجريان السطحي من خلال تفسير سلوك الجريان السطحي داخل الاحواض المائية، كونها ترتبط بحركة المياه من مناطق المنابع العليا نحو الاجزاء الاقل ارتفاعا . وهناك العديد من الدراسات التي اكدت على اهمية ادراج الارتفاعات ضمن المعايير الداخلة في نماذج الملائمة المكانية كما في دراسة (Al-Hussein et al,2025). حيث تؤكد على أن دمج الطبقات الطبوغرافية مع بيانات RS و GIS يساعد في بناء نموذج أكثر قدرة على تفسير ملاءمة مواقع حصاد المياه.

تم انتاج خريطة الارتفاعات لمنطقة الدراسة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي ALOS PALSAR بدقة مكانية 12.5 م، ثم صُنفت إلى أربع فئات تراوحت بين 387 و1424 م فوق مستوى سطح البحر. أظهرت النتائج أن فئة السهول المنخفضة شغلت المساحة الأكبر، إذ بلغت 42.14 كم² وبنسبة 43.55% من مساحة الحوض، وجاءت فئة السفوح الدنيا بالمرتبة الثانية بمساحة 30.58 كم² وبنسبة 31.61%، اما فئة السفوح الوسطى فقد بلغت 12.30 كم² وبنسبة 12.71%، في حين شغلت المرتفعات الجبلية 11.74 كم² وبنسبة 12.13%، (الخريطة2). ويشير هذا التوزيع المساحي إلى وجود تدرج طبوغرافي واضح داخل الحوض، يؤثر في اتجاه الجريان السطحي وتزداد اهميته بازدياد درجة الانحدار في المنطقة والقرب من شبكة التصريف المائي .

الخريطة 2 : التوزيع الجغرافي لقيم الارتفاعات في منطقة الدراسة



المصدر : إعداد الباحث بالاعتماد على DEM بدقة مكانية 12.5 م، وبرنامج ArcGis Pro 3.4.0.

الجدول 1 : المساحات والنسب المئوية لقيم الارتفاعات في منطقة الدراسة

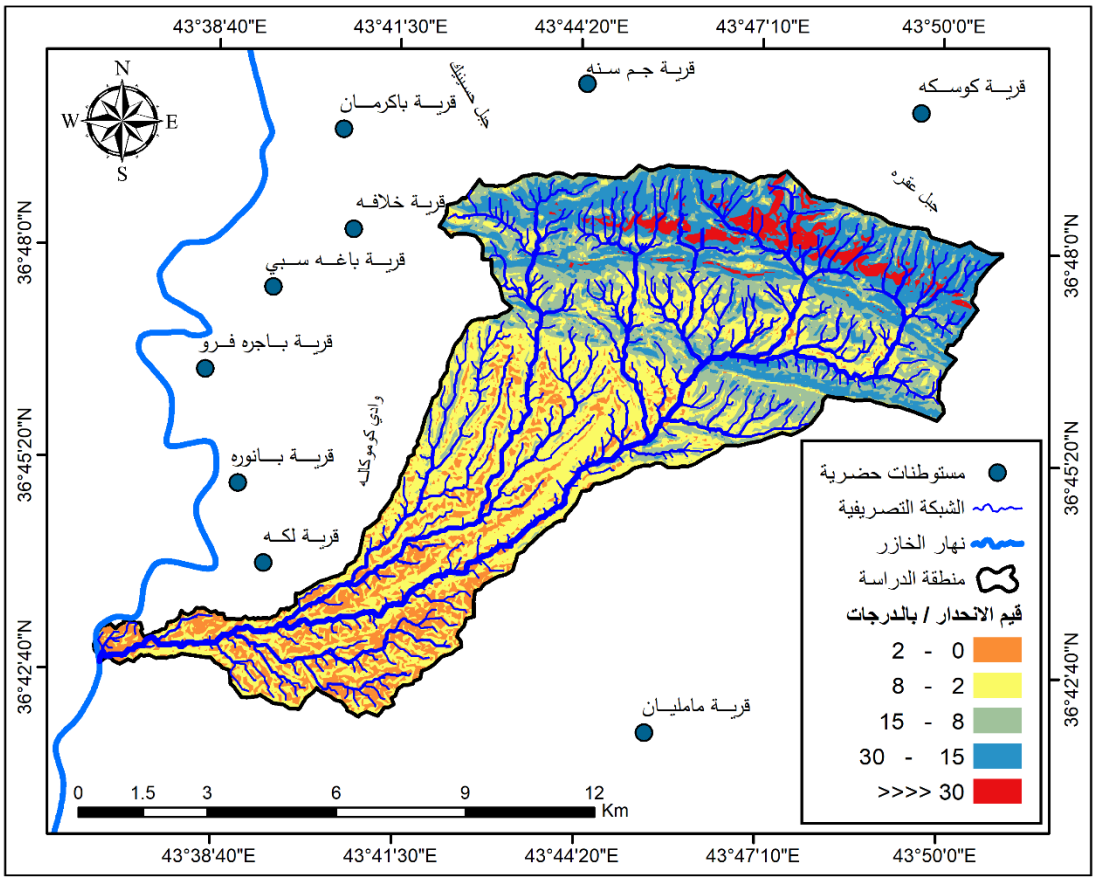
الفئة	المساحة كم²	النسبة %
السهول المنخفضة	42.14	43.55
السفوح الدنيا	30.58	31.61
السفوح الوسطى	12.3	12.71
المرتفعات الجبلية	11.74	12.13
المجموع	**96.76**	**100**

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 2

ثانيا : الانحدار

يتحكم الانحدار في درجة سرعة الجريان السطحي وفرص تجمع المياه وهو بهذا يمثل من المدخلات المهمة في النمذجة المكانية ، ومن الدراسات التي اكدت على ضرورت استخدام الانحدار كمعيار رئيسي عند انشاء او اختيار مواقع منشأت الحصاد المائي هي دراسة (Patel and Chaudhari , 2023) . تم اشتقاق قيم الانحدار وتقسيمه الى عدة فئات بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي واستخدام الاداة Slope داخل بيئةArcGIS Pro 3.4.0 . وأظهرت النتائج أن فئة الانحدارات الخفيفة 2.1–8% هي الأكثر انتشارًا في الحوض، إذ بلغت 40.28 كم² وبنسبة 41.62%، وتتركز في الأجزاء الوسطى والجنوبية وتمتد نحو الغرب باتجاه نهر الخازر.

الخريطة 3 : التوزيع الجغرافي لقيم درجات الانحدار في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي ALOS PALSAR بدقة مكانية 12.5 م، ومعالجته داخل برنامج.ArcGis Pro 3.4.0

أما الأراضي المستوية أقل من 2% فقد شغلت 16.00 كم² وبنسبة 16.54%، في حين شغلت الانحدارات المتوسطة 8.1–15% مساحة 19.58 كم² وبنسبة 20.23%، في المقابل، بلغت مساحة الانحدارات الشديدة 15.1–30% نحو 17.66 كم² وبنسبة 18.25%، بينما لم تتجاوز الانحدارات الجبلية الشديدة أكثر من 30% مساحة 3.25 كم² وبنسبة 3.36% (الخريطة 3 و الجدول 2) ، يتضح من هذا التوزيع ان الحوض تنتشر فيه الانحدارات الخفيفة والمتوسطة على حساب الفئات الاخرى وهي فئات ملائمة لتكوين مواقع منشات الحصاد المائي .

الجدول 2 : المساحات والنسب المئوية لقيم الانحدارات في منطقة الدراسة

فئة الانحدار %	الوصف الطبوغرافي	المساحة كم²	النسبة %
0 – 2	أراضٍ مستوية	16	16.54
2.1 – 8	انحدار خفيف	40.28	41.62
8.1 – 15	انحدار متوسط / متموج	19.58	20.23
15.1 – 30	انحدار شديد	17.66	18.25
اكثر من 30	انحدار جبلي شديد	3.25	3.36
المجموع	—	**96.76**	**100**

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 3

ثالثًا: الأمطار

تمثل الامطار المصدر الرئيسي المباشر لحدوث الجريان السطحي داخل الاحواض المائية، تم الاعتماد على بيانات محطة عقرة المناخية في تفسير الخصائص المطرية وعلاقتها بامكانية توليد الجريان السطحي و للمدة من 2001 – 2024 ، كون هذه المحظة هي الاقرب الى منطقة الدراسة . يوضح (الجدول 3) أن النظام المطري في المنطقة يتسم بتركز واضح خلال أشهر الشتاء والربيع، مقابل جفاف شبه تام في الصيف. فقد سجل كانون الثاني أعلى معدل مطري بلغ 137.56 ملم، يليه كانون الأول 110.65 ملم، وآذار 110.50 ملم، ثم شباط 103.09 ملم. وتدل هذه القيم على أن الموسم الرطب يمتد أساسًا من كانون الأول إلى نيسان، وهي الفترة الأكثر تأثيرًا في تغذية المجاري المائية وتوليد الجريان السطحي داخل الحوض. في حين يبدا التناقص المطري في الربيع المتأخر، إذ بلغ معدل نيسان 71.17 ملم، ثم انخفض في أيار إلى 24.54 ملم. أما أشهر الصيف فتكاد تخلو من الأمطار، إذ سجل حزيران 1.65 ملم، وتموز 0.06 ملم، وآب 0.32 ملم، وأيلول 2.24 ملم. ومع بداية الخريف تعود الأمطار تدريجيًا، إذ بلغ معدل تشرين الأول 27.94 ملم، ثم ارتفع

في تشرين الثاني إلى 73.73 ملم. وبلغ المعدل السنوي العام للأمطار 663.45 ملم، وهو معدل يشير إلى توفر كمية مطرية مناسبة نسبيًا لتوليد الجريان السطحي، ولا سيما عند تزامنها مع انحدارات خفيفة إلى متوسطة، وقرب مناسب من شبكة التصريف.

الجدول 3 : المعدلات السنوية للامطار / ملم لمحطة عقرة للفترة من (2001–2024)

البيان	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المجموع السنوي
معدل الأمطار	137.6	103.1	110.5	71.17	24.54	1.65	0.06	0.32	2.24	27.94	73.73	110.7	663.5

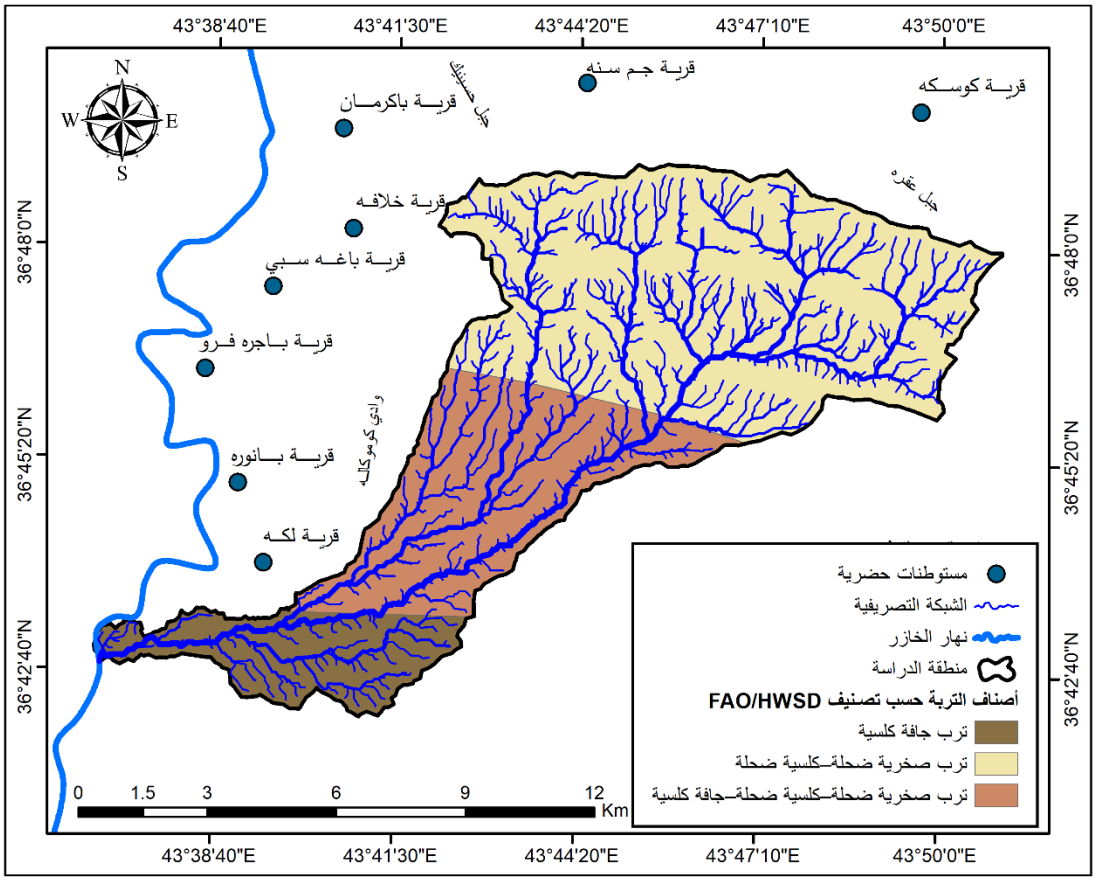
المصدر :إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات محطة عقرة المناخية للفترة .2024–2001

رابعا : أصناف التربة

تدخل التربة كعامل في النمذجة المكانية لتحديد مواقع منشات حصاد المياه كونها تحدد درجة استجابة السطح للامطار من حيث النفاذية والقدرة على الاحتفاظ بالمياه وتوليد الجريان السطحي ، تم اعداد خريطة اصناف التربة في منطقة الدراسة بناءا على بيانات التربة العالمية الموحدة HWSD/FAO وتم استخراج الوحدات الترابية داخل المنطقة والتي تبين انها ثلاث اصناف (FAO & IIASA, 2023) .

ومن (الخريطة 4 والجدول 4) نجد ان صنف الترب الصخرية الضحلة–الكلسية الضحلة تشغل المساحة الأكبر داخل الحوض، إذ بلغ 58.54 كم² وبنسبة 60.50% من المساحة الكلية. وينتشر هذا الصنف بوضوح في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية والشرقية، في حين نجد ان صنف الترب الصخرية الضحلة–الجافة الكلسية في المرتبة الثانية، بمساحة 25.70 كم² وبنسبة 26.56%، ويتركز في الأجزاء الوسطى والجنوبية الغربية ضمن نطاق انتقالي بين المناطق الجبلية الأعلى والمناطق المنخفضة القريبة من مخرج الحوض. أما صنف الترب الجافة الكلسية فقد سجل أقل مساحة، إذ بلغ 12.51 كم² وبنسبة 12.94%، ويظهر أساسًا في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية القريبة من نهر الخازر ومخرج الحوض.

الخريطة 4 : تصنيف التربة في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على قاعدة بيانات التربة العالمية الموحدةFAO/HWSD ، ومعالجتها داخل برنامج.ArcGis Pro 3.4.0

الجدول 4 : النسب والمساحات لفئات التربة في منطقة الدراسة

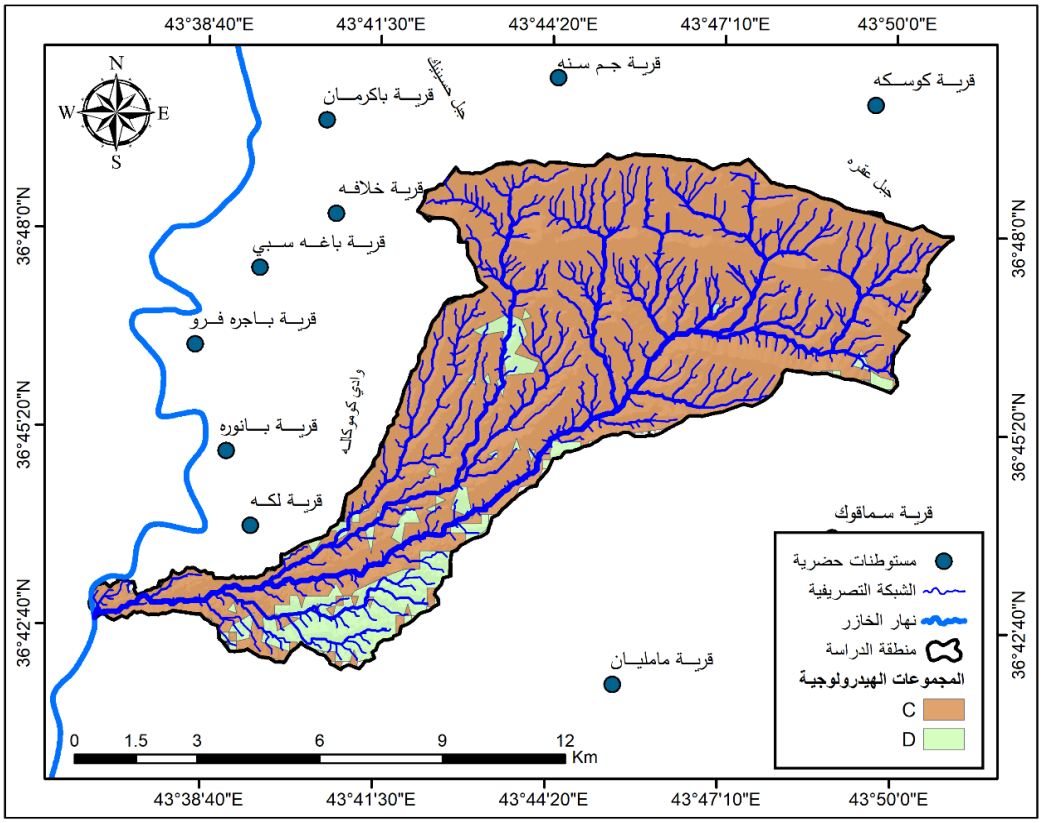
الرمز	صنف التربة	المساحة كم²	النسبة %
I–E–bc	ترب صخرية ضحلة–كلسية ضحلة	58.54	60.5
I–E–Xk–bc	ترب صخرية ضحلة–جافة كلسية	25.7	26.56
Xk28–b	ترب جافة كلسية	12.51	12.94
المجموع	—	**96.76**	**100**

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 4

خامسًا: المجموعة الهيدرولوجية للترب

تمثل المجموعة الهيدرولوجية للترب HSG تصنيفًا يوضح قابلية التربة على تسريب المياه أو توليد الجريان السطحي، إذ تتدرج من المجموعة A ذات الارتشاح العالي والجريان المنخفض، إلى المجموعة D ذات الارتشاح المنخفض والجريان المرتفع. وتُعد هذه المجموعات من المدخلات الأساسية في طريقة رقم المنحنى .CN وفي هذا البحث، اعتُمدت قاعدةHYSOGs250m ، التي توفر خريطة عالمية للمجموعات الهيدرولوجية للترب بدقة مكانية تقارب 250 م، بالاعتماد على قوام التربة وعمق الصخر والمياه الجوفية (Ross et al., 2018).

خريطة 5 : المجموعة الهيدرولوجية للترب في حوض محمد ئاوا



المصدر :بالاعتماد على قاعدة بياناتHYSOGs250m: Global Hydrologic Soil Groups ، بدقة مكانية 250 م، Ross et al. (2018)، ومعالجتها داخل.ArcGis Pro 3.4.0

أظهرت النتائج سيادة واضحة للمجموعة C في حوض محمد ئاوا، إذ شغلت 87.40 كم² وبنسبة 90.36% من مساحة الحوض (الخريطة 5 والجدول 5). وتنتشر هذه المجموعة في معظم أجزاء منطقة

الدراسة، وهي ترب ذات قابلية ارتشاح منخفضة نسبيًا، وتميل إلى توليد جريان سطحي متوسط إلى مرتفع عند سقوط الأمطار. أما المجموعة D فقد شغلت 9.32 كم² وبنسبة 9.64%، وتظهر بصورة متفرقة في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية وبعض المواضع الوسطى. وتمثل هذه المجموعة تربًا ذات ارتشاح منخفض جدًا وقابلية أعلى لتوليد الجريان السطحي. وبذلك يشير توزيع HSG داخل الحوض إلى أن خصائص التربة الهيدرولوجية تميل عمومًا إلى دعم توليد الجريان السطحي .

الجدول 5 : النسب والمساحات للمجموعة الهيدرولوجية للترب

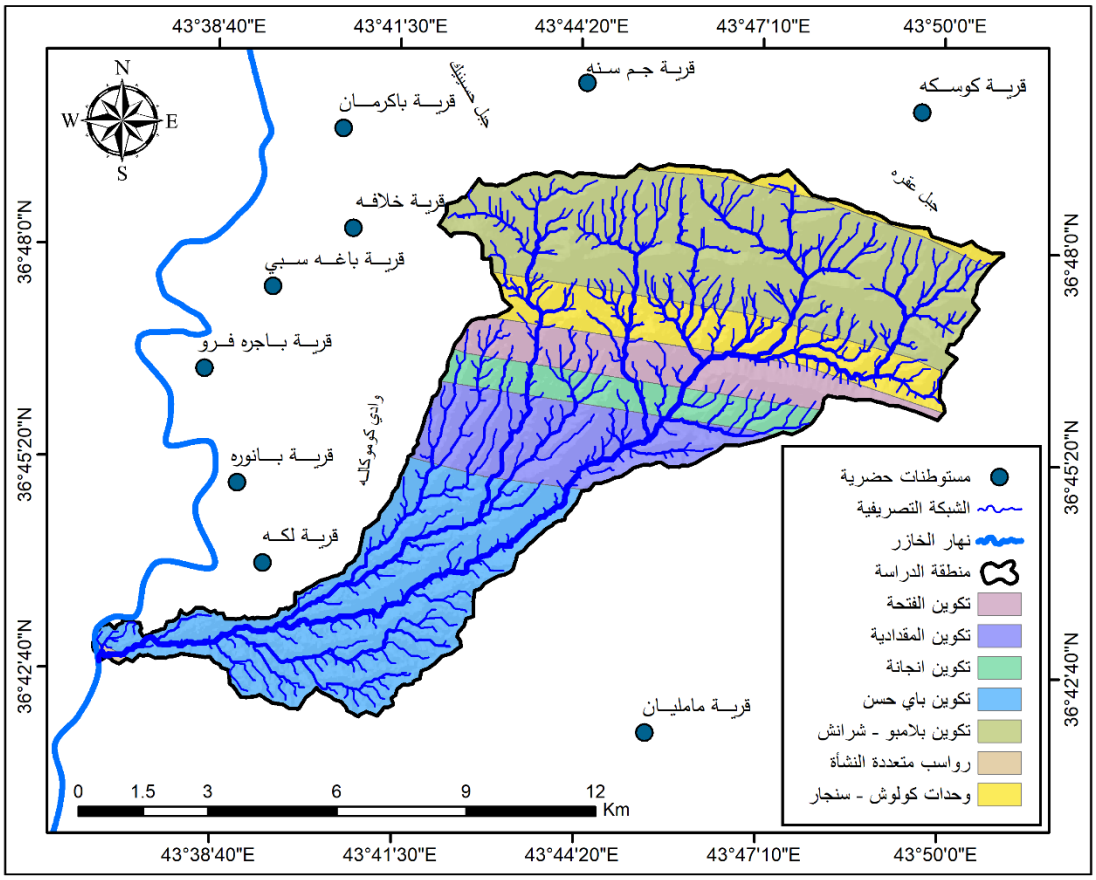
المجموعة الهيدرولوجية	المساحة كم²	النسبة %
C	87.4	90.36
D	9.32	9.64
المجموع	**96.72**	**100**

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 5

سادسًا: البنية الجيولوجية

تُعد البنية الجيولوجية من العوامل المفسرة لطبيعة السطح واستجابته للجريان السطحي، إذ تؤثر خصائص الصخور والتكوينات في درجة النفاذية، وشكل الانحدارات، وكثافة التعرية، وتطور الشبكة التصريفية. وقد أشارت دراسات هيدرولوجية حديثة إلى أن اختلاف الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية ينعكس على تسرب المياه وتوليد الجريان السطحي، كما يسهم اختلاف الليثولوجيا في تفسير التباين في التعرية النهرية وكثافة التصريف .(Tani et al., 2024; Champagnac et al., 2024) . تم اعداد الخريطة الجيولوجية لحوض محمد ئاوا بالاعتماد على خارطة العراق الجيولوجية. أظهرت النتائج أن تكوين بلامبو–شرانش يشغل المساحة الأكبر داخل الحوض، إذ بلغ 32.62 كم² وبنسبة 33.71%، ويتركز بوضوح في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية باتجاه نهر الخازر. وجاء تكوين باي حسن في المرتبة الثانية بمساحة 25.56 كم² وبنسبة 26.41%، وينتشر في النطاق الجنوبي الأوسط ممتدًا باتجاه مجرى التصريف الرئيس، مما يجعله مهمًا في تفسير طبيعة السطح وحركة الرواسب والجريان. أما تكوين المقدادية فقد شغل 11.76 كم² وبنسبة 12.15%، وظهر في الأجزاء الوسطى بوصفه نطاقًا انتقاليًا بين التكوينات الجنوبية والشمالية. وشغلت وحدات كولوش–سنجار مساحة قريبة بلغت 11.75 كم² وبنسبة 12.15%، وتنتشر غالبًا في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية. في حين بلغت مساحة تكوين الفتحة 8.69 كم² وبنسبة 8.98%، وسجل تكوين إنجانة 6.19 كم² وبنسبة 6.39%. أما الرواسب متعددة النشأة فلم تتجاوز 0.20 كم² وبنسبة 0.21%، وتركزت قرب مخرج الحوض باتجاه نهر الخازر. (الخريطة 6 والجدول 6)

الخريطة 6 : التوزيع الجغرافي للتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على خارطة العراق الجيولوجية، وزارة الصناعة والمعادن، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، 2000، ومعالجتها داخل ArcGis Pro 3.4.0.

الجدول 6 : المساحات والنسب للتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

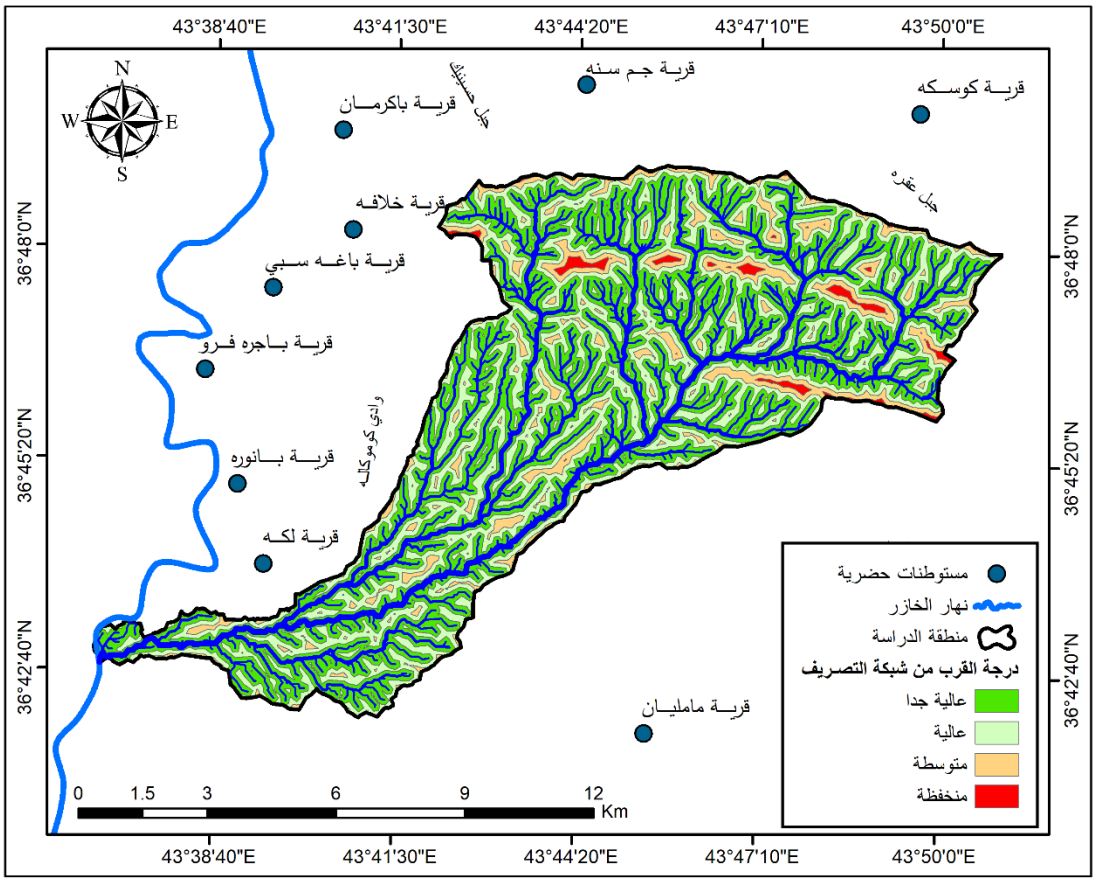
البيان	تكوين بلامبو– شرانش	تكوين باي حسن	تكوين المقدادية	وحدات كولوش– سنجار	تكوين الفتحة	تكوين إنجانة	رواسب متعددة النشأة	المجموع
المساحة كم²	32.62	25.56	11.76	11.75	8.69	6.19	0.2	96.76
النسبة %	33.71	26.41	12.15	12.15	8.98	6.39	0.21	100

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 6

سابعًا: شبكة التصريف والقرب منها

تُعد شبكة التصريف من العوامل الهيدرولوجية المهمة في اختيار مواقع حصاد المياه، لأنها تمثل المسارات الطبيعية لحركة الجريان السطحي داخل الحوض. وتظهر شبكة التصريف في حوض محمد ئاوا بنمط متفرع واضح، إذ تتجمع الروافد من الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية والشرقية، ثم تتجه تدريجيًا نحو الجنوب والغرب باتجاه مخرج الحوض ونهر الخازر، بما يعكس أثر الانحدار والبنية الطبوغرافية في توجيه حركة المياه. ولغرض تقييم أثر القرب من المجاري المائية، أُعدت خريطة القرب من شبكة التصريف باستخدام أداة Euclidean DistanceداخلArcGIS Pro 3.4.0 ، ثم صُنفت المسافات إلى أربع فئات كما في الخريطة 7 .

الخريطة 7 : خريطة القرب من شبكة التصريف في حوض محمد ئاوا



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على شبكة التصريف المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي، ومعالجتها داخل ArcGis Pro 3.4.0 باستخدام أداة Euclidean Distance.

بعد دراسة الشبكة وتحليل نتائجها اظهرت أن نطاق 0–100 م شغل المساحة الأكبر، إذ بلغ 57.55 كم² وبنسبة 59.48% من مساحة الحوض، تلاه نطاق 100–200 م بمساحة 29.42 كم² وبنسبة 30.40%. أما نطاق 200–300 م فقد بلغ 8.54 كم² وبنسبة 8.83%، في حين لم يتجاوز نطاق 300–451 م مساحة 1.23 كم² وبنسبة 1.27% (الجدول 7) .ويشير هذا التوزيع إلى أن معظم أجزاء الحوض تقع ضمن مسافات قريبة من شبكة التصريف، مما يعزز أهمية هذا العامل في تحديد المواقع الأولية الملائمة لحصاد المياه. وقد اعتُمد نطاق 100 م حول شبكة التصريف بوصفه شرطًا مكانيًا أوليًا لضمان قرب المواقع المرشحة من مسارات الجريان الفعلية، من دون أن يمثل معيارًا هندسيًا نهائيًا؛ إذ يبقى قابلًا للتعديل في الدراسات الميدانية والهندسية اللاحقة.

الجدول 7 : النسب والمساحات ودرجة القرب من شبكة التصريف

درجة القرب من شبكة التصريف	المسافة / م	المساحة كم²	النسبة %
عالية جدًا	0–100	57.55	59.48
عالية	100–200	29.42	30.4
متوسطة	200–300	8.54	8.83
منخفضة	300–451	1.23	1.27
المجموع	—	**96.75**	**100**

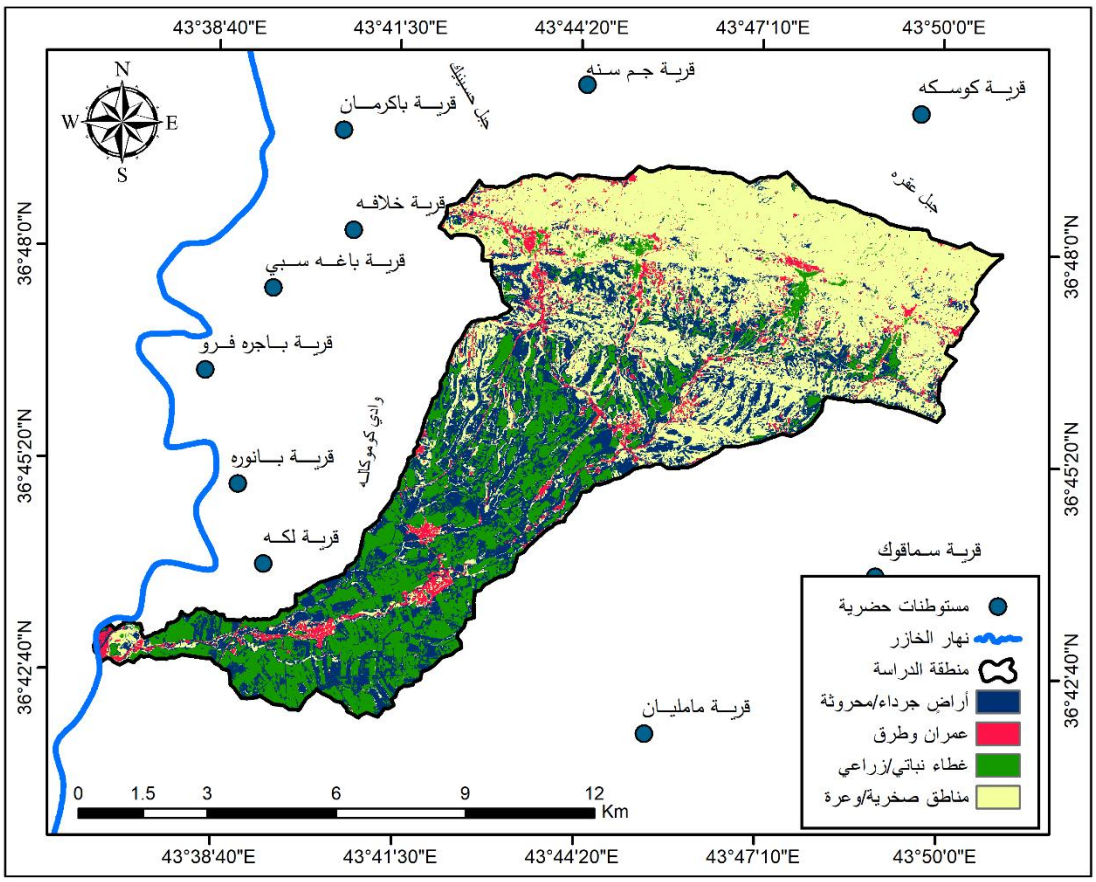
المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 7

ثامنًا: الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض

يعكس الغطاء الارضي طبيعة الجريان السطحي وتاثيره في زيادته او تقليله، فالأسطح الصخرية والجرداء والطرق تميل غالبًا إلى زيادة الجريان وتقليل التسرب، في حين يعمل الغطاء النباتي/الزراعي على اعتراض مياه الأمطار وخفض سرعة الجريان نسبيًا. وبناءً على ذلك، أُنتجت خريطة الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض لحوض محمد ئاوا بالاعتماد على مرئيات Sentinel-2 ضمن منصة Google Earth Engine. للفترة الممتدة من 2026/3/25 إلى 2026/4/15، بدقة مكانية تصل إلى 10 م لبعض الحزم، مما يجعلها ملائمة لتصنيف الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض (ESA, 2015). وقد عولجت المرئيات داخل منصة Google Earth Engine، وهي منصة سحابية تتيح معالجة البيانات الجغرافية واسعة النطاق بكفاءة عالية (Gorelick et al., 2017)، من خلال اختيار المشاهد الأقل تأثرًا بالغيوم، وإنشاء مركب وسطي Median Composite، ثم إضافة مؤشرات NDVI و NDWI و NDBI لتحسين الفصل بين الأصناف الرئيسة.

استُخدمت خوارزمية Random Forest في التصنيف، وهي من خوارزميات التعلم الآلي القائمة على بناء عدد من أشجار القرار ودمج نتائجها لتحسين دقة التصنيف (Breiman, 2001). وقد نُفذت داخل Google Earth Engine باستخدام المصنف ee.Classifier.smileRandomForest (Google Earth Engine Developers, 2026). واعتمد التصنيف على 108 عينات مرسومة داخل الحوض، وبلغ مجموع البكسلات المستخرجة من العينات 8982 بكسلًا، قُسمت بنسبة 70% للتدريب و30% للتحقق، بواقع 6338 بكسلًا للتدريب و2644 بكسلًا للتحقق. كما استُخدمت 100 شجرة في نموذج Random Forest، وأظهرت نتائج التحقق دقة كلية بلغت 96.26%، ومعامل كابا بلغ 0.943، مما يشير إلى موثوقية جيدة للتصنيف. (الخريطة 8– الجدول 8 – الشكل 1)

الخريطة 8 : خريطة استعمالات الأرض والغطاء الأرضي في حوض محمد ئاوا



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على مرئيات Sentinel-2 للفترة 2026/3/25–2026/4/15، ومعالجتها باستخدام خوارزمية Random Forest ضمن منصةGoogle Earth Engine ، وبرنامج ArcGis Pro 3.4.0.

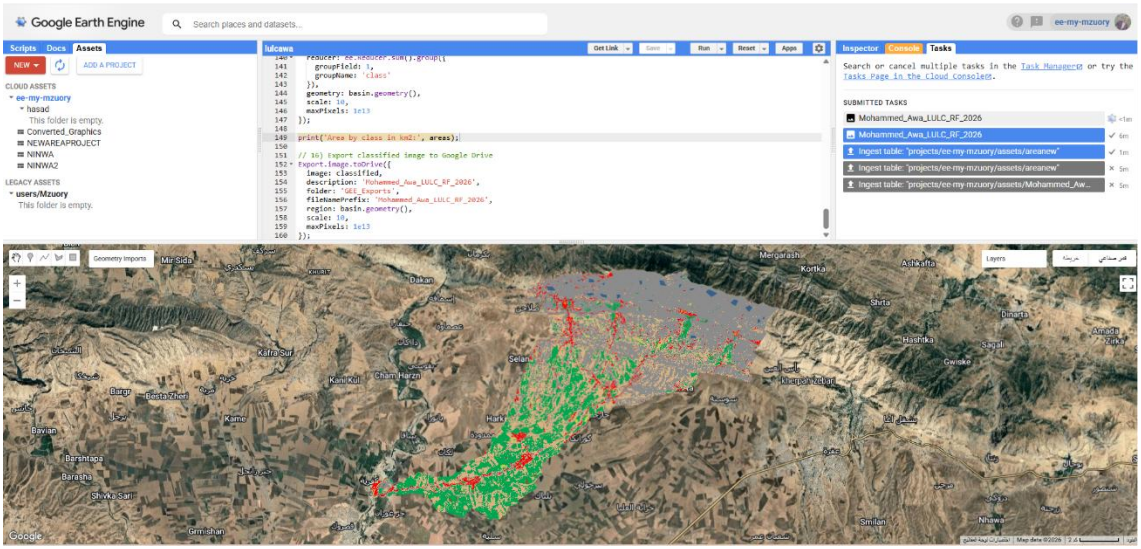
شملت خريطة الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض أربعة أصناف رئيسة: الغطاء النباتي/الزراعي، والأراضي الجرداء/المحروثة، والمناطق الصخرية/الوعرة، والعمران والطرق. وقد جاءت المناطق الصخرية/الوعرة في المرتبة الأولى بمساحة 44.19 كم² وبنسبة 45.67%، وتركزت غالبًا في الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية والشرقية. تلتها الأراضي الجرداء/المحروثة بمساحة 26.85 كم² وبنسبة 27.75%، ثم الغطاء النباتي/الزراعي بمساحة 20.28 كم² وبنسبة 20.96%، وتركز بصورة أوضح في الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية. أما العمران والطرق فقد بلغت 5.44 كم² وبنسبة 5.62%. (الجدول 8). وتدل هذه النتائج على غلبة الطابع الصخري والوعر في الحوض، مع وجود نطاق زراعي واضح جنوبًا وجنوب غربه.

جدول 8: توزيع عينات التصنيف ومساحات أصناف الغطاء الأرضي في حوض محمد ئاوا

الصنف	عدد العينات	جميع البكسلات المستخرجة	عينات التدريب	عينات التحقق	المساحة كم²	النسبة %
الغطاء النباتي/الزراعي	27	1495	1068	427	20.28	20.96
الأراضي الجرداء/المحروثة	30	1708	1220	488	26.85	27.75
المناطق الصخرية/الوعرة	21	4550	3196	1354	44.19	45.67
العمران والطرق	30	1229	854	375	5.44	5.62
المجموع	108	8982	6338	2644	96.76	100

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 8

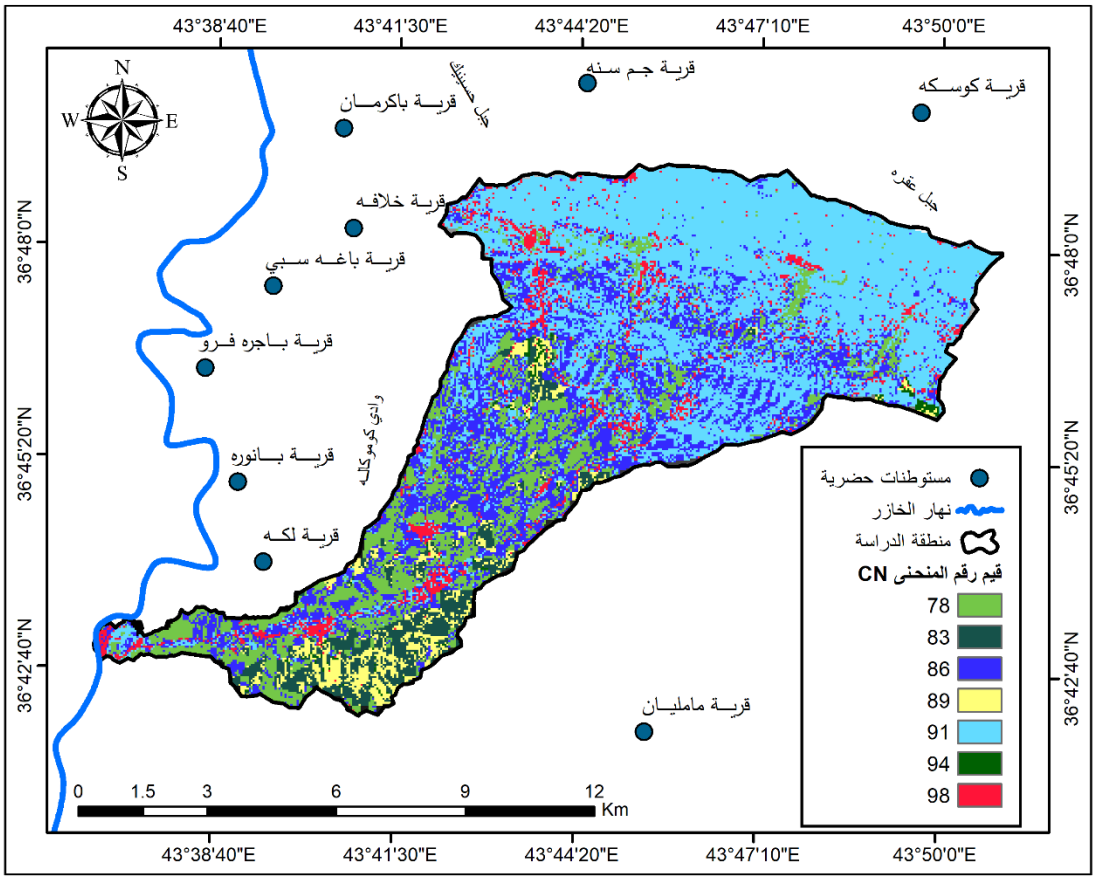
شكل 1 : تنفيذ تصنيف الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة داخل منصةGoogle Earth Engine



تاسعًا: رقم المنحنىCN

يعتبر رقم المنحنى Curve Number (CN) من المؤشرات الهيدرولوجية المهمة في تقدير قابلية السطح لتوليد الجريان السطحي، لأنه يربط بين الغطاء الأرضي، والمجموعة الهيدرولوجية للتربة. وتعتمد طريقة SCS–CN على المركب الهيدرولوجي للتربة–الغطاء Hydrologic Soil–Cover Complex، إذ تُسند قيم CN بحسب طبيعة الغطاء السطحي والمجموعة الهيدرولوجية للتربة، وكلما ارتفعت قيمة CN دلّ ذلك على انخفاض قابلية التسرب وزيادة احتمالية الجريان السطحي (Soil Conservation Service [SCS], 1986; USDA–NRCS, 2004).

الخريطة 9 : التوزيع الجغرافي لقيم رقم المنحنى CN في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على خريطة الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض المستخرجة من تصنيف Random Forest، وخريطة HSG ، وجداولSCS–CN/NRCS ، ومعالجتها داخل ArcGis Pro 3.4.0.

تم الاعتماد على تصنيف مرئيات Sentinel-2 باستخدام خوارزمية Random Forest لدمج قيم الغطاء الأرضي المستخرجة مع خريطة المجموعات الهيدرولوجية للترب داخل بيئة ArcGIS Pro 3.4.0. وقد ضمت طبقة الغطاء الأرضي أربعة أصناف رئيسة، في حين ضمت طبقة المجموعات الهيدرولوجية للترب المجموعتين C وD. وبعد الدمج المكاني، أُسندت قيم CN لكل تركيب ناتج بالاستناد إلى جداول SCS-CN/NRCS، مع اعتماد الحالة الرطوبية المتوسطة AMC II بوصفها الحالة القياسية الشائعة في تطبيقات هذه الطريقة (SCS, 1986; USDA-NRCS, 2004) . أظهرت النتائج أن القيمة CN = 91 هي الأكثر انتشارًا في الحوض، إذ بلغت مساحتها 42.94 كم² وبنسبة 44.38% من المساحة الكلية للحوض (الخريطة 9 و الجدول 9)، وترتبط غالبًا بالمناطق الصخرية/الوعرة الواقعة فوق تربة من المجموعة C. وجاءت القيمة CN = 86 بالمرتبة الثانية، بمساحة 23.06 كم² وبنسبة 23.83%، وترتبط في الغالب بالأراضي الجرداء/المحروثة فوق تربة من المجموعة نفسها. أما القيمتان CN = 78 وCN = 83، فقد بلغ مجموع مساحتهما 19.62 كم² وبنسبة 20.28%، وترتبطان بالغطاء النباتي/الزراعي فوق المجموعتين C وD على التوالي. وشغلت القيمة CN = 98 مساحة 5.34 كم² وبنسبة 5.52%، وتمثل العمران والطرق والأسطح الاصطناعية شبه غير النفاذة. وعلى الرغم من محدودية انتشارها المكاني، فإن أثرها الهيدرولوجي مهم بسبب ارتفاع قيمة CN المرتبطة بها، إذ تُعد الطرق والأسطح المعبدة من أكثر الأسطح قدرة على توليد الجريان السطحي في جداول SCS-CN (SCS, 1986). كما ظهرت القيمتان CN = 89 وCN = 94 بمساحات أقل بلغت 3.61 كم² و2.19 كم² على التوالي، وترتبطان بالتركيبات الواقعة فوق تربة من المجموعة D ذات النفاذية المنخفضة. تكشف خريطة CN أن معظم مساحة حوض محمد ئاوا تقع ضمن قيم مرتفعة نسبيًا، ولا سيما 86 و91 و98، مما يدل على قابلية واضحة لتوليد الجريان السطحي. وبالتالي اهميتها في انموذج الملائمة المكانية .

جدول 9 : توزيع قيم رقم المنحنى CN في حوض محمد ئاوا

البيان	CN 78	CN 83	CN 86	CN 89	CN 91	CN 94	CN 98	المجموع
المساحة كم²	14.73	4.89	23.06	3.61	42.94	2.19	5.34	96.76
النسبة %	15.22	5.06	23.83	3.73	44.38	2.26	5.52	100

المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 9

عاشرًا: الملاءمة المكانية لمواقع حصاد المياه

لتحديد مواقع حصاد المياه بدقة يجب بناء نموذج للملائمة المكانية ، ويتم ذلك من خلال دمج مجموعة من العوامل الطبيعية والهيدرولوجية والمورفومترية ضمن اطار تحليلي واحد . وقد اعتمدت الدراسة في هذه المرحلة على التحليل المكاني متعدد المعايير داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، من خلال دمج الطبقات المؤثرة في توليد الجريان السطحي وتوجيهه وتجميعه، وهي: رقم المنحنى CN، والانحدار، والقرب من شبكة التصريف، والغطاء الأرضي/استعمالات الأرض، والتربة، والجيولوجيا، والارتفاع. وقبل تنفيذ الدمج النهائي، أُعيد تصنيف كل طبقة مكانية باستخدام أداة Reclassify داخل ArcGIS Pro 3.4.0، بهدف تحويل القيم الأصلية المختلفة إلى مقياس موحد للملاءمة تراوح بين 1 و5، إذ تمثل القيمة 1 الملاءمة المنخفضة جدًا، والقيمة 5 الملاءمة العالية جدًا (الجدول 10) .

جدول 10 : إعادة تصنيف المعايير المكانية الداخلة في نموذج الملاءمة.

المعيار	الفئات الأصلية	رتب الملاءمة المعتمدة
رقم المنحنى CN	78، 83، 86، 89، 91، 94، 98	2، 2، 3، 4، 4، 5، 5
الانحدار	0–2%، 2.1%–8%، 8.1%–15%، 15.1%–30%، أكثر من 30%	3، 5، 4، 2، 1
القرب من شبكة التصريف	0–100م، 100–200 م، 200–300 م، 300–451 م	5، 4، 3، 2
الغطاء الأرضي	غطاء نباتي/زراعي، أراضٍ جرداء/محروثة، مناطق صخرية/وعرة، عمران وطرق	2، 5، 3، 1
التربة	Xk28–b، I–E–bc، I–E–Xk–bc	3، 4، 5
الجيولوجيا	رواسب متعددة النشأة، تكوين الفتحة ووحدات كولوش–سنجار، تكوينات بلامبو–شرانش والمقدادية وإنجانة، تكوين باي حسن	2، 3، 4، 5
الارتفاع	387–600م، 601–800 م، 801–1000 م، 1001–1424 م	5، 4، 3، 2

. اعتمدت رتب إعادة التصنيف على المنطق الهيدرولوجي المرتبط بملاءمة مواقع حصاد المياه، وعلى ما ورد في الأدبيات العلمية الخاصة بنمذجة الملاءمة المكانية، فضلًا عن خصائص منطقة الدراسة. لذلك مُنحت القيم المرتفعة لرقم المنحنى CN رتبًا أعلى لأنها تشير إلى قابلية أكبر لتوليد الجريان السطحي، كما مُنحت النطاقات القريبة من شبكة التصريف رتبًا مرتفعة لارتباطها المباشر بمسارات الجريان. أما في طبقة الانحدار، فقد عُدت الانحدارات الخفيفة إلى المعتدلة أكثر ملاءمة من الانحدارات الشديدة، لأنها تسمح بتجمع المياه دون

زيادة كبيرة في سرعة الجريان والانجراف. وبالنسبة للغطاء الأرضي/استعمالات الأرض، أُعطيت الأراضي الجرداء/المحروثة رتبة مرتفعة لملاءمتها المبدئية للإنشاء، في حين مُنحت مناطق العمران والطرق رتبة منخفضة رغم قابليتها العالية لتوليد الجريان، لأنها لا تمثل غالبًا مواقع مناسبة لإنشاء منشآت حصاد المياه . وبذلك لم تُستخدم القيم الأصلية للطبقات مباشرة في عملية الدمج، بل استُخدمت الرتب المعيارية الناتجة من إعادة التصنيف. وقد أُدخلت هذه الرتب في نموذج Weighted Sum داخلArcGIS Pro 3.4.0 ، بعد ضرب كل معيار بوزنه النسبي، لإنتاج خريطة الملاءمة المكانية النهائية لمواقع حصاد المياه في حوض محمد ئاوا. اما في ما يخص الاوزان النسبية للمعايير المدخلة في النموذج فقد منحت رقم المنحنى CN الوزن الأعلى، لكونه مؤشرًا مركبًا يعكس أثر الغطاء الأرضي والمجموعة الهيدرولوجية للتربة في توليد الجريان السطحي، تلاه الانحدار لدوره المباشر في التحكم بسرعة الجريان وفرص تجمع المياه، ثم القرب من شبكة التصريف لارتباطه بمسارات الجريان الفعلية داخل الحوض. أما الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض، والتربة، والجيولوجيا، والارتفاع، فقد أُدرجت بوصفها عوامل داعمة تسهم في تفسير طبيعة السطح وملاءمته المكانية والبيئية (الجدول 11).

جدول 11: الأوزان النسبية للطبقات المستخدمة في نموذج الملاءمة المكانية

المعيار	رقم المنحنى CN	الانحدار	القرب من شبكة التصريف	الغطاء الأرضي	التربة	الجيولوجيا	الارتفاع	المجموع
الوزن النسبي %	28	22	17	12	9	7	5	100

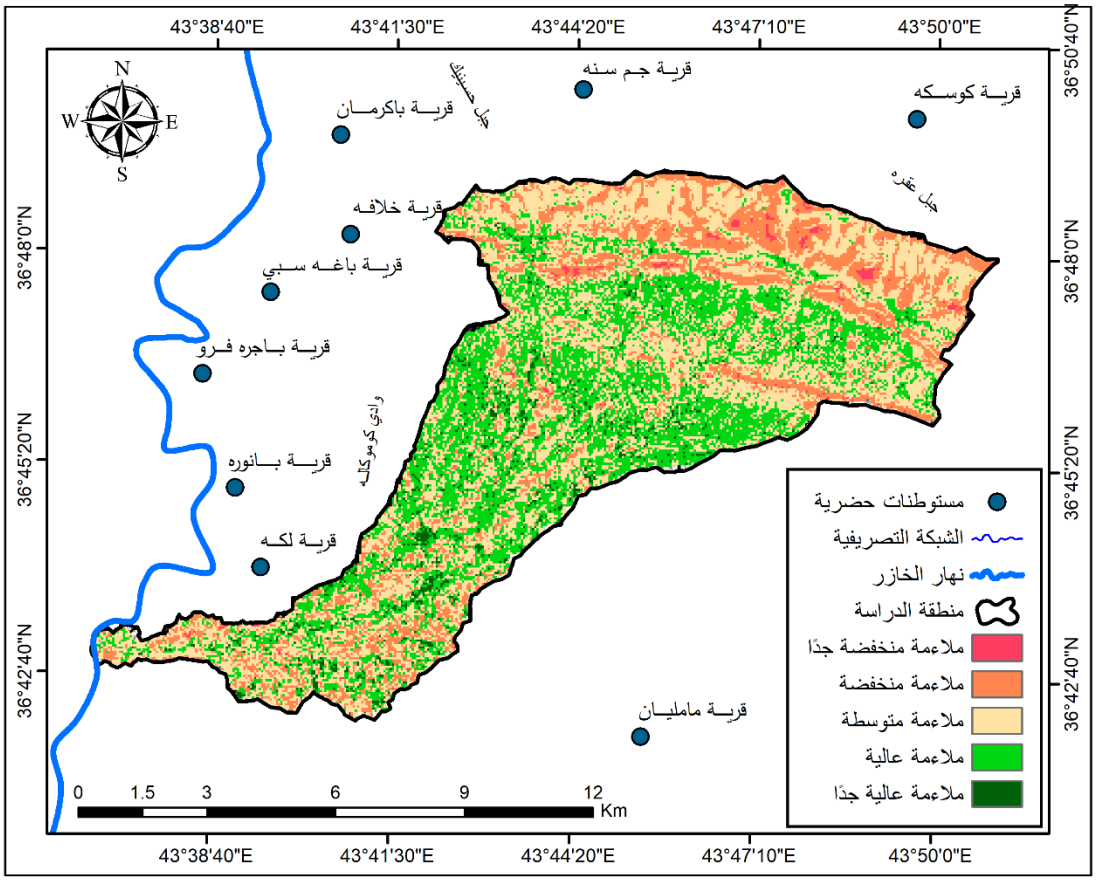
المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على مراجعة الدراسات السابقة ذات الصلة، وخصائص حوض محمد ئاوا، ومتطلبات نموذج الملاءمة المكانية لحصاد المياه داخل بيئةArcGis Pro 3.4.0.

واستُبعدت طبقة المجموعات الهيدرولوجية للترب HSG من نموذج Weighted Sum بوصفها عاملًا مستقلًا، لأنها استُخدمت أصلًا في اشتقاق خريطة رقم المنحنى CN من خلال دمجها مع خريطة الغطاء الأرضي/استعمالات الأرض. وبذلك جرى تجنب تكرار تأثير العامل نفسه داخل النموذج، إذ عوملت خريطة CNبوصفها مؤشرًا هيدرولوجيًا مركبًا يمثل أثر الغطاء الأرضي والمجموعة الهيدرولوجية للتربة في توليد الجريان السطحي. كما لم تُدرج الأمطار كطبقة موزونة مستقلة ضمن نموذجWeighted Sum ، بسبب اعتماد الدراسة على بيانات محطة مناخية واحدة تمثل الخصائص المطرية العامة لمنطقة الدراسة، ولا تمثل توزيعًا مكانيًا مطريًا تفصيليًا داخل الحوض. لذلك استُخدمت بيانات الأمطار في تفسير الخلفية المناخية والهيدرولوجية

للحوض، وبيان قابليته العامة لتوليد الجريان السطحي، بينما اعتمد نموذج الملاءمة على الطبقات المكانية القابلة للتمثيل المكاني داخل GIS.

أُنتجت خريطة الملاءمة النهائية من خلال تطبيق نموذج Weighted Sum على الطبقات المعاد تصنيفها، ثم أُعيد تصنيف الناتج النهائي إلى خمس فئات مكانية، هي: ملاءمة منخفضة جدًا، وملاءمة منخفضة، وملاءمة متوسطة، وملاءمة عالية، وملاءمة عالية جدًا (الخريطة 10).

الخريطة 10 : خريطة الملاءمة المكانية لمواقع حصاد المياه في حوض محمد ئاوا



مصدر الخريطة :إعداد الباحث بالاعتماد على نموذج الملاءمة المكانية باستخدام Weighted Sum داخل ArcGis Pro 3.4.0،

أظهرت نتائج نموذج الملاءمة أن الفئة المتوسطة هي الأكثر انتشارًا في حوض محمد ئاوا، إذ بلغت 41.97 كم² وبنسبة 43.38%، وتركزت في الأجزاء الوسطى والانتقالية. وجاءت فئة الملاءمة العالية بالمرتبة الثانية بمساحة 31.34 كم² وبنسبة 32.39%، ولا سيما في الأجزاء الوسطى والجنوبية والجنوبية الغربية قرب المجاري المائية والمناطق ذات الانحدارات المناسبة وقيم CN المرتفعة نسبيًا (الجدول 12). أما فئة الملاءمة العالية جدًا فقد كانت محدودة، إذ بلغت 2.96 كم² وبنسبة 3.06%، وظهرت على شكل بقع متفرقة. في المقابل، شغلت فئة الملاءمة المنخفضة 19.74 كم² وبنسبة 20.40%، بينما لم تتجاوز فئة الملاءمة المنخفضة جدًا 0.75 كم² وبنسبة 0.78%. وتدل هذه النتائج على أن الحوض يمتلك قابلية جيدة نسبيًا لحصاد المياه، مع ضرورة التعامل مع المواقع المقترحة بوصفها مؤشرات أولية تحتاج إلى تحقق ميداني وهيدرولوجي وهندسي قبل التنفيذ.

جدول 12 : فئات الملاءمة المكانية لمواقع حصاد المياه في حوض محمد ئاوا

درجة الملاءمة	الوصف	المساحة كم²	النسبة %
1	ملاءمة منخفضة جدًا	0.75	0.78
2	ملاءمة منخفضة	19.74	20.4
3	ملاءمة متوسطة	41.97	43.38
4	ملاءمة عالية	31.34	32.39
5	ملاءمة عالية جدًا	2.96	3.06
المجموع	—	96.76	100

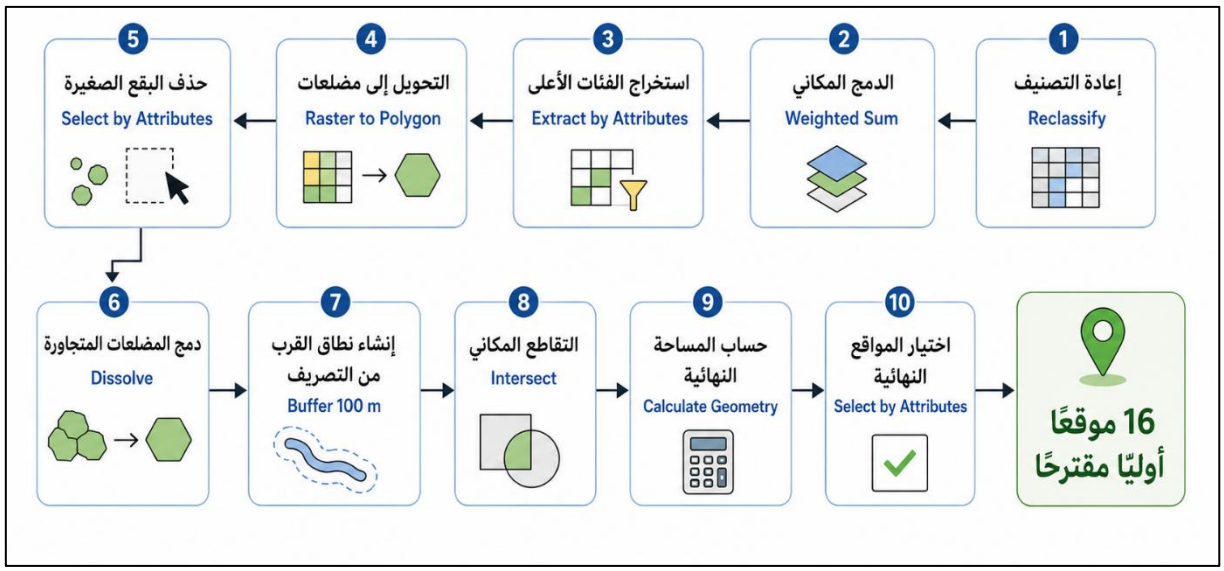
المصدر : من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة 10 .

وبعد الحصول على خريطة الملائمة المكانية ننتقل الى مرحلة استخراج المواقع الأولية المقترحة لحصاد المياه. وفي هذه المرحلة لم تُعتمد جميع فئات الملاءمة، بل تم التركيز على الفئتين الأعلى، وهما الملاءمة العالية والملاءمة العالية جدًا، لأنهما تمثلان النطاقات الأكثر قابلية من الناحية المكانية. لذلك استُخدمت أداة Extract by Attributes لاستخراج الخلايا التي تحقق الشرط VALUE >= 4 . بعد ذلك، حُولت الطبقة الناتجة من Raster إلى Polygon باستخدام أداة Raster to Polygon ، بهدف التعامل مع المواقع المرشحة بوصفها مضلعات مكانية قابلة لحساب المساحة والفرز والتقاطع مع الطبقات الأخرى. وقد أظهر التحويل الأولي وجود بقع صغيرة جدًا ناتجة عن طبيعة التحويل من الراستر إلى البوليكون، لذلك جرى حذف الأجزاء الصغيرة جدًا، واعتماد حد أدنى للمساحة بلغ 0.01 كم²، أي ما يعادل هكتارًا واحدًا تقريبًا. بعد حذف القيم الصغيرة، نُفذت أداة Dissolve لدمج المضلعات المتجاورة مكانيًا. وقد تم ذلك من خلال إضافة حقل موحد

باسم SuitGroup وإعطاء جميع السجلات القيمة نفسها، ثم تنفيذ Dissolve مع إلغاء خيار Create multipart features، حتى لا تُدمج جميع المواقع المتفرقة داخل الحوض في سجل واحد. وبهذه الطريقة دُمجت الأجزاء المتلامسة فقط، مع الإبقاء على المواقع المنفصلة كمضلعات مستقلة. وقد نتج عن هذه العملية 232 نطاقًا مرشحًا، بلغ مجموع مساحتها نحو 27.42 كم² (جدول 13 – شكل 2).

ولزيادة دقة اختيار المواقع، أُدخل معيار القرب من شبكة التصريف بوصفه شرطًا مكانيًا إضافيًا. ولهذا الغرض أُنشئ نطاق Buffer لمسافة 100 م حول شبكة التصريف، ثم نُفذت أداة Dissolve لطبقة Buffer لتوحيد نطاق القرب وتقليل التكرار الناتج عن تعدد مقاطع المجاري المائية. بعد ذلك استُخدمت أداة Intersect بين طبقة النطاقات المرشحة وطبقةBuffer 100 m ، لاستخراج الأجزاء التي تحقق شرطين معًا: أن تكون ضمن فئتي الملاءمة العالية أو العالية جدًا، وأن تقع ضمن نطاق 100 م من شبكة التصريف.

شكل 2 : مخطط سير العمل لاستخراج المواقع الاولية المقترحة لحصاد المياه باستخدام ArcGis Pro 3.4.0

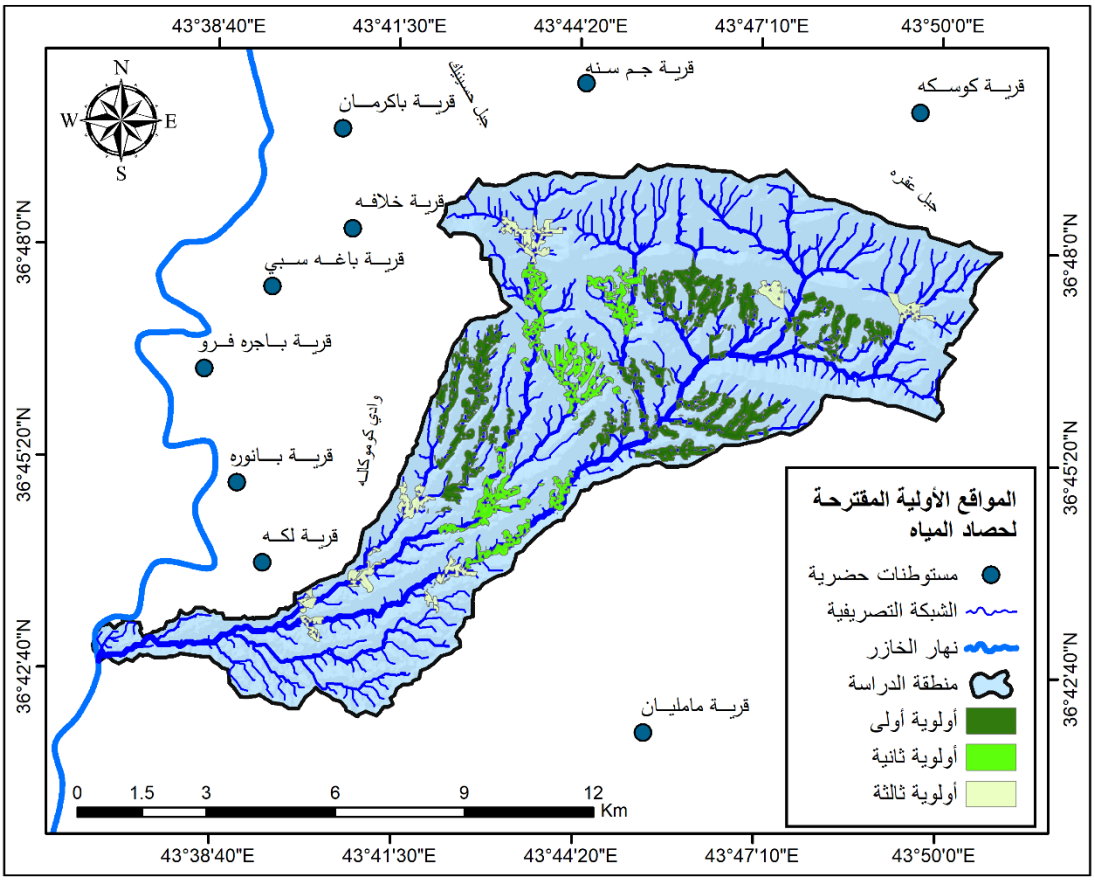


المصدر :من إعداد الباحث استنادًا إلى خطوات المعالجة والتحليل المكاني المنفذة في الدراسة، وقد جرى رسم المخطط باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي.

بعد تنفيذ التقاطع، أُضيف حقل جديد باسم AREA_INT_KM2 لحساب المساحة الحقيقية للأجزاء الناتجة من التقاطع بالكيلومتر المربع، لأن حقل المساحة السابق كان يمثل مساحة المضلع الأصلي قبل التقاطع. ثم رُتبت المواقع تنازليًا بحسبAREA_INT_KM2 ، وحُذفت الأجزاء الصغيرة جدًا التي لا تمثل مواقع عملية

مقترحة. وفي النهاية اعتُمدت المواقع التي تزيد مساحتها على 0.20 كم²، فبلغ عددها 16 موقعًا أوليًا مقترحًا لحصاد المياه داخل الحوض. ويمثل حد 0.20 كم²، أي نحو 200,000 م²، عتبة أولية لاستبعاد البقع الصغيرة والمجزأة التي يصعب التعامل معها كمواقع مستقلة في مرحلة التخطيط الأولي، ولا يعني ذلك أن المساحة وحدها تكفي لتحديد صلاحية التنفيذ.

الخريطة 11 : التوزيع الجغرافي للمواقع الاولية المقترحة لحصاد المياه في منطقة الدراسة



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات نموذج الملاءمة المكانية، وطبقة شبكة التصريف المستخرجة من نموذج الارتفاع الرقمي، وعمليات Reclassify و Weighted Sumو Bufferو Intersectداخل ArcGis Pro 3.4.0.

صُنفت المواقع النهائية إلى ثلاث درجات من الأولوية اعتمادًا على المساحة الناتجة بعد التقاطع مع نطاق القرب من شبكة التصريف. فالمواقع التي تزيد مساحتها على 1 كم² عُدت مواقع ذات أولوية أولى، لأنها تمثل

أكبر النطاقات المتصلة مكانيًا والقريبة من شبكة التصريف. أما المواقع التي تراوحت مساحتها بين 0.50 و1.00 كم² فصُنفت ضمن الأولوية الثانية، في حين صُنفت المواقع التي تراوحت مساحتها بين 0.20 و0.50 كم² ضمن الأولوية الثالثة. ولا يعني هذا التصنيف أن مساحة الموقع وحدها هي العامل الحاسم في صلاحية التنفيذ، لكنه يمثل معيارًا أوليًا لترتيب المواقع المقترحة وتحديد المواقع التي تستحق الدراسة الميدانية التفصيلية أولًا. توضح (الخريطة 11) المواقع الأولية المقترحة أن مواقع الأولوية الأولى تظهر في نطاقات محددة ذات امتداد مكاني واضح، وترتبط غالبًا بالمجاري الرئيسة أو الثانوية داخل الحوض، مما يعزز قابليتها الأولية لحصاد المياه. أما مواقع الأولوية الثانية فتظهر بامتداد أقل مساحة، لكنها تبقى ذات أهمية مكانية لأنها تقع ضمن نطاق القرب من شبكة التصريف وتحقق درجة ملاءمة عالية. وتظهر مواقع الأولوية الثالثة في نطاقات أصغر نسبيًا، ويمكن التعامل معها كمواقع داعمة أو بديلة في حال تعذر تنفيذ بعض المواقع الأكبر لأسباب ميدانية أو هندسية. ومن الملاحظ أن جميع المواقع الستة عشر النهائية التي تجاوزت حد 0.20 كم² تنتمي إلى فئة الملاءمة العالية، وليس إلى فئة الملاءمة العالية جدًا. ولا يعد ذلك ضعفًا في النموذج، بل يعكس طبيعة التوزيع المكاني لفئة الملاءمة العالية جدًا داخل الحوض، إذ ظهرت على شكل بقع صغيرة ومحدودة المساحة، في حين كانت فئة الملاءمة العالية أكثر اتصالًا واتساعًا وأكثر قدرة على تكوين مواقع قابلة للاقتراح الأولي بعد التقاطع مع شبكة التصريف.

جدول 13 : فئات أولوية المواقع المقترحة لحصاد المياه في حوض محمد ئاوا

فئة الأولوية	معيار التصنيف	عدد المواقع	مجموع المساحة كم²
الأولوية الأولى	أكبر من 1 كم²	4	7.837
الأولوية الثانية	من 0.50 إلى 1.00 كم²	5	3.568
الأولوية الثالثة	من 0.20 إلى أقل من 0.50 كم²	7	1.969
المجموع	المواقع التي تزيد مساحتها على 0.20 كم²	16	13.374

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج تقاطع المواقع المرشحة مع نطاق 100 م من شبكة التصريف، وتصنيف المواقع حسب المساحة النهائية بعد التقاطع داخل برنامج.ArcGis Pro 3.4.0

وبذلك أتاح النموذج المكاني الانتقال من خريطة عامة للملاءمة إلى مواقع محددة قابلة للترشيح الأولي، من خلال سلسلة من المعالجات المكانية المتتابعة داخلArcGIS Pro 3.4.0 ، شملت إعادة تصنيف الطبقات، ودمجها باستخدامWeighted Sum ، واستخراج فئتي الملاءمة العالية والعالية جدًا، وتحويلهما إلى مضلعات، وتنقية البقع الصغيرة، ودمج المضلعات المتجاورة، ثم تقاطعها مع نطاق القرب من شبكة التصريف لمسافة 100 م، وأخيرًا اختيار المواقع الأكبر من 0.20 كم² وتصنيفها حسب الأولوية. وتمثل هذه المواقع الستة عشر

مواقع أولية مقترحة لحصاد المياه، ولا ينبغي التعامل معها كمواقع تنفيذية نهائية إلا بعد إجراء تحقق ميداني ودراسات هندسية وهيدرولوجية أكثر تفصيلًا.

مناقشة النتائج

أظهرت نتائج نموذج الملاءمة المكانية أن فئتي الملاءمة المتوسطة والعالية شغلتا النسبة الأكبر من مساحة حوض محمد ئاوا، نتيجة تداخل الانحدارات المناسبة نسبيًا، وقيم CN المرتفعة، والقرب من شبكة التصريف. أما فئة الملاءمة العالية جدًا فقد جاءت محدودة ومجزأة، لأن اجتماع شروط الملاءمة بدرجة مرتفعة لا يتحقق إلا في نطاقات ضيقة.

وتتفق هذه النتائج مع دراسات سابقة أكدت أهمية الانحدار، والقرب من المجاري المائية، ورقم المنحنى CN في تحديد مواقع حصاد المياه، ومنها Patel and Chaudhari (2023)، فضلًا عن Hassan et al. (2025) وAl-Hussein et al. (2025) اللتين أشارتا إلى فاعلية دمج المعايير الطبوغرافية والهيدرولوجية والسطحية داخل بيئة GIS. ويتميز البحث الحالي بأنه لم يعتمد على طبقة جاهزة للغطاء الأرضي، بل اشتقها محليًا من مرئيات Sentinel-2 باستخدام خوارزمية Random Forest ضمن منصة Google Earth Engine، ثم أدخلها مباشرة في نموذج الملاءمة وبصورة غير مباشرة في اشتقاق قيم CN.

كما أوضحت النتائج أن المواقع الأولية المقترحة تركزت قرب شبكة التصريف، لأن منشآت حصاد المياه ينبغي أن ترتبط بمسارات الجريان الفعلية. لذلك ظهرت معظم المواقع النهائية ضمن فئة الملاءمة العالية لا العالية جدًا، إذ كانت الأولى أكثر اتساعًا واتصالًا بالشبكة التصريفية. ومع ذلك، تبقى هذه المواقع ترشيحية أولية تحتاج إلى تحقق ميداني ودراسات هندسية وهيدرولوجية لاحقة، ولا سيما ما يتعلق بحجم الجريان المتوقع، والسعة التخزينية، واستقرار التربة، ومخاطر الترسيب والانجراف.

الاستنتاجات

1. أظهر البحث أن التكامل بين الذكاء الاصطناعي، والاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية يوفر منهجًا فعالًا لتحديد مواقع حصاد المياه، ولا سيما من خلال استخدام خوارزمية Random Forestلاشتقاق خريطة الغطاء الأرضي وإدخالها ضمن نموذج الملاءمة المكانية.
2. شغلت فئة الملاءمة المتوسطة المساحة الأكبر من الحوض بنسبة 43.38%، تلتها فئة الملاءمة العالية بنسبة 32.39%، في حين كانت فئة الملاءمة العالية جدًا محدودة بنسبة 3.06%، مما يدل على أن المواقع المثلى لحصاد المياه تتركز في نطاقات محددة وليست منتشرة على نطاق واسع.

3. أثبتت طريقة Weighted Sum فاعليتها في دمج الطبقات المكانية بعد إعادة تصنيفها وإعطائها أوزانًا نسبية، إذ ساعدت على إنتاج خريطة ملاءمة مكانية متوازنة في اختيار المواقع .

4. أسفرت المعالجة النهائية عن تحديد 16 موقعًا أوليًا مقترحًا لحصاد المياه، تراوحت مساحاتها بين 0.234 و2.668 كم²، وصُنفت إلى ثلاث فئات اعتمادًا على مساحة الموقع واتصاله المكاني.

5. تبيّن أن المواقع النهائية الأكبر مساحة تقع ضمن فئة الملاءمة العالية، وليس العالية جدًا، وذلك بسبب كون فئة الملاءمة العالية جدًا محدودة ومجزأة مكانيًا، بينما كانت فئة الملاءمة العالية أكثر اتساعًا واتصالًا بشبكة التصريف.

التوصيات

1. تعزيز توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وخوارزميات التعلم الآلي في دراسات حصاد المياه، ولا سيما في تصنيف الغطاء الأرضي وتحديث الطبقات المكانية وتحسين دقة نماذج الملاءمة.
2. يوصي البحث باعتماد المواقع ذات الأولوية الأولى، ولا سيما المواقع الأكبر مساحة والأكثر اتصالًا بشبكة التصريف، بوصفها مواقع مرشحة للفحص الميداني الأولي، مع عدم اعتمادها كمواقع تنفيذية نهائية إلا بعد استكمال التقييم الهندسي والهيدرولوجي.

3. ضرورة إجراء تحقق ميداني للمواقع الستة عشر المقترحة، يشمل فحص عمق التربة، ونفاذيتها، واستقرار السطح، وطبيعة الرواسب، ومخاطر الانجراف والترسيب، لأن نموذج الملاءمة المكانية يحدد المواقع المحتملة ولا يغني عن التقييم الحقلي.

4. يوصى بتنفيذ نمذجة هيدرولوجية تفصيلية للمواقع المقترحة، بهدف تقدير حجم الجريان السطحي المتوقع، والسعة التخزينية الممكنة، وحجم المياه القابلة للحصاد، في المواقع المقترحة .

5. يمكن تطبيق المنهجية المستخدمة في هذا البحث على أحواض صغيرة أخرى في محافظة دهوك والمناطق الجبلية المشابهة، مع ضرورة تعديل المعايير والأوزان بحسب الخصائص الطبيعية والهيدرولوجية لكل حوض.

قائمة المصادر

- Hassan, W. H., Mahdi, K., & Kadhim, Z. K. (2025). GIS-based multi-criteria decision making for identifying rainwater harvesting sites. Applied Water Science, 15, Article 45. https://doi.org/10.1007/s13201-025-02378-5
- Al-Hussein, B., Awais, M., Chahine, C., Li, W., & Zubaidi, S. L. (2025). Rainwater harvesting site assessment using geospatial technologies in a semi-arid region: Toward water sustainability. Water, 17(15), 2317. https://doi.org/10.3390/w17152317
- Patel, S., & Chaudhari, K. (2023). Enhancing water security through site selection of water harvesting structures in semi-arid regions: A GIS-based multiple criteria decision analysis. Water Supply, 23(10), 4149–4165. https://doi.org/10.2166/ws.2023.239
- Esri. (n.d.). Slope (Spatial Analyst)—ArcGis Pro 3.4.0. ArcGIS Desktop Documentation. https://desktop.arcgis.com/en/ArcGis Pro 3.4.0/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/slope.htm
- FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. (2012). Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J. Y., Kumar, S. S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling (Version 1). ORNL Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. Scientific Data, 5, 180091. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.91
- Tani, M., Abe, T., Kosugi, K., & Katsuyama, M. (2024). Validating the effect of topography and geology on rainfall–runoff in mountain catchments using an improved hydrologic cycle model considering bedrock infiltration. Hydrological Processes. https://doi.org/10.1002/hyp.15325
- Champagnac, J.-D., et al. (2024). Influence of lithology and biota on stream erosivity and drainage density in semiarid landscapes. Journal of Geophysical Research: Earth Surface. https://doi.org/10.1029/2024JF007684
- Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45, 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324
- European Space Agency. (2015). Sentinel-2 user handbook. ESA. https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

- Google Earth Engine Developers. (2026). ee.Classifier.smileRandomForest. Google for Developers. https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-classifier-smilerandomforest
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J. Y., Kumar, S. S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling (Version 1). ORNL DAAC. https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J. Y., Kumar, S. S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. Scientific Data, 5, 180091. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.91
- Soil Conservation Service. (1986). Urban hydrology for small watersheds (Technical Release 55, 2nd ed.). U.S. Department of Agriculture. https://www.hydrocad.net/pdf/TR-55%20Manual.pdf
- USDA-NRCS. (2004). National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology: Chapter 9, Hydrologic soil-cover complexes. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. https://directives.nrcs.usda.gov/sites/default/files2/1712930607/7306.pdf
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. Scientific Data, 5, 180091. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.91
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling (Version 1). ORNL DAAC. https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566
- FAO & IIASA. (2023). Harmonized World Soil Database version 2.0 (HWSD v2.0). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v20/en/?utm_source=chatgpt.com