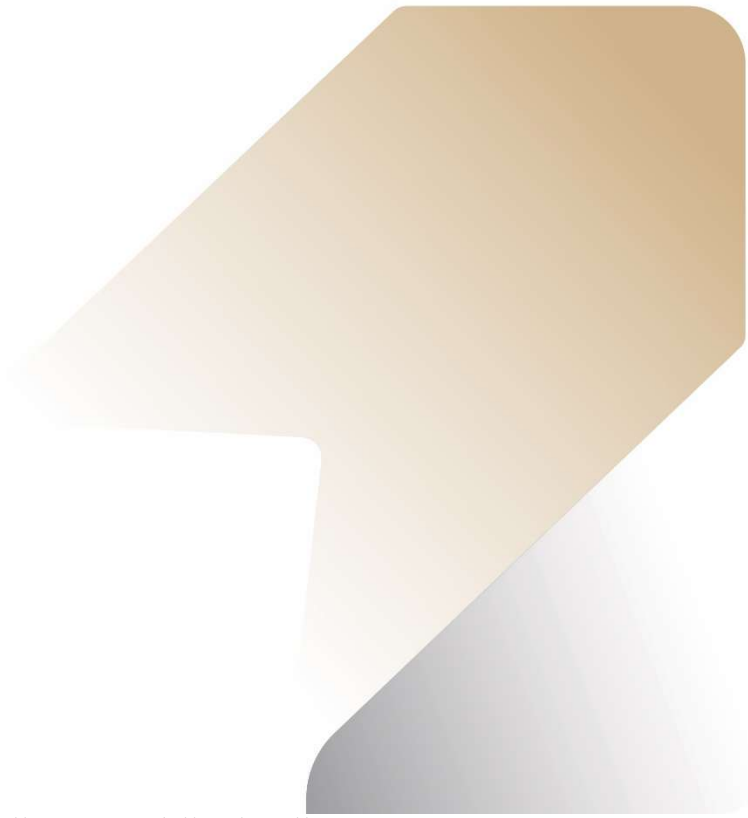
مجـــلة

جامعة الملك خالد
KING KHALID UNIVERSITY

جامعة الملك خالد

للعلوم الإنسانية

دورية علمية نصف سنوية - محكمة



المجلد الثاني عشر- العدد الثاني (ديسمبر2025)

بسم الله الرحمن الرحيم

عن المجلة:

مجلة جامعة الملك خالد للعلوم الإنسانية دورية علمية نصف سنوية، متخصصة في العلوم الإنسانية، محكمة في آلية قبول البحوث القابلة للنشر بها، وتهدف إلى نشر الإنتاج العلمي للباحثين في تخصصات العلوم الإنسانية، وتعنى بالبحوث الأصيلة التي لم يسبق نشرها باللغتين العربية والإنجليزية التي تتسم بالمصداقية واتباع المنهجية العلمية السليمة.

أهداف المجلة:

- الإسهام في إبراز دور الحضارة الإسلامية في إثراء العلوم الإنسانية.
- نشر البحوث العلمية المحكمة في مجال العلوم الإنسانية بفروعها المختلفة.
- الإضافة إلى مركوم المعرفة في الدراسات الإنسانية.
- إبراز جهود الباحثين في الدراسات والبحوث العلمية ذات الصلة بموضوعات الإنسانيات.

هيئة التحرير:

أ.د. عبدالرحمن حسن البارقي	رئيس التحرير
د. جميلة ناصر آل محيا	مديرة التحرير
أ.د. متعب عالي البحيري	عضو هيئة التحرير
أ.د. مفلح زابن القحطاني	عضو هيئة التحرير
أ.د. عبدالحميد سيف الحسامي	عضو هيئة التحرير
د. أحمد علي آل مريع	عضو هيئة التحرير
د. حمساء حبيش الدوسري	عضو هيئة التحرير

قواعد النشر:

1. تقديم البحث إلى المجلة هو التزام وتعهد من الباحث بعدم انتهاك الحقوق الفكرية.
2. نشر البحث في المجلة يتضمن موافقة المؤلف على نقل حقوق النشر للمجلة.
3. تُقبل الأبحاث باللغتين العربية والإنجليزية.
4. يجب أن يتصف البحث بالأصالة والابتكار والجدة واتباع المنهجية العلمية، وصحة اللغة وسلامة الأسلوب.
5. أن لا يكون قد سبق نشر البحث، أو قُدم للنشر في مكان آخر.
6. أن لا يكون البحث جزءًا من كتاب منشور أو مستلًا من رسالة علمية.
7. أن لا يزيد عدد كلمات البحث عن عشرة آلاف كلمة بما في ذلك الجداول والملاحق والمراجع.
8. في حالة الأبحاث المشتركة (الجماعية) تُرفق اتفاقية موقعة من الباحثين تتضمن نسبة إسهام كل باحث في العمل المقدم للنشر بالمجلة.
9. يلتزم الباحث بتقديم ما يفيد بمصدر تمويل الأبحاث في حالة وجود دعم لتلك الأبحاث.
10. أن يحتوي البحث على عنوان باللغتين العربية والإنجليزية، وعلى ملخصين باللغتين في حدود (250) كلمة لكل ملخص، ويتضمن الملخصان الهدف، والمشكلة، والمنهج، وأهم النتائج، والكلمات المفتاحية.
11. دفع رسوم التحكيم والنشر في المجلة بمقدار ألفي ريال.
12. إرفاق سيرة ذاتية مختصرة للباحث/ين في صفحة مستقلة.
13. إرفاق شهادة تدقيق لغوي للأبحاث المكتوبة باللغة الإنجليزية.
14. استخدام نظام جمعية علم النفس الأمريكية (APA) في التوثيق داخل النص وفي كتابة المراجع.
15. رومنة المصادر والمراجع العربية بعد كتابتها بالعربية مباشرة، وقبل الانتقال إلى المصادر والمراجع بلغة أجنبية.
16. تكتب البحوث العربية بخط Traditional Arabic حجم 16 للمتن، و 12 للهوامش.
17. تكتب البحوث الإنجليزية بخط Times New Roman حجم 12 للمتن، وحجم 10 للهوامش.
18. المسافة بين الأسطر.(1.0)

19. يوضع عنوان البحث وصفة الباحث في صفحة مستقلة على النحو الآتي: العنوان بالعربية بمقاس 20، واسم الباحث مقاس 18، وصفته مقاس 14، وباللغة الإنجليزية العنوان مقاس 16، واسم الباحث مقاس 14، وصفته مقاس 12.
20. تُراعى الشروط الفنية لنوع الخط وحجمه في الأبحاث التي تتضمن اللغتين العربية والإنجليزية.
21. على الباحث الالتزام بالتعليمات الفنية، والتدقيق اللغوي قبل إرسال بحثه إلى المجلة.

يُقدَّم البحث من خلال نظام التحرير للمجلات العلمية بجامعة الملك خالد على موقع المجلة أو موقع وحدة المجلات والجمعيات العلمية بجامعة الملك خالد.

الترقيم الدولي: ISSN: 1685-6727

أبحاث العدد:

م	البحث	الصفحة
1	رصد الألفاظ الدخيلة في العربية الحديثة: دراسة في الشيوع والدلالة والأصل اللغوي من خلال مدونة لغوية د. عبدالعزيز بن عبدالله صالح المهيوبي	1- 34
2	موضوعات الكتابة وأثرها في جودة الأداء الكتابي لدى متعلمي اللغة العربية الناطقين بغيرها: دراسة تحليلية تطبيقية د. مشاعل بنت ناصر آل كدم	35- 70
3	القياس والتقويم في سياق تعليم العربية لغة ثانية لأغراض خاصة د. مرزوق علي محمد النباتي الهذلي	71-109
4	الظواهر الأسلوبية في شعر جاسم الصَّحيّح: قصيدة "المتنبّي...كون في ملامح كائن!" أنموذجًا د. هيا فهيد سعد القحطاني	110-139
5	تعدد العوالم وتراكب الرموز في رواية الدوائر الخمس لأسامة المسلم: قراءة في بنية السرد الغيبي والواقعي د. منار عز الدين محمد شعيب	140- 170
6	السُّلطة والمقاومة في رواية "العاشق والغزاة" دراسة أركيولوجية د. لينة أحمد حسن آل عبد الله	171- 200
7	واقع الدراسات الثقافية في الجامعات السعودية: الفرص والتحديات في ظل التوجه الأكاديمي نحو الدراسات البينية د. غزال بنت محمد الحربي	201- 231
8	الروائي بين الذاتي والالتزام الفني د. عادل بن محمد عسيري	232- 257
9	المثل الشعبي في منطقة عسير: دراسة إنشائية لنماذج مختارة د. صالح بن أحمد السهيمي	258- 279
10	تجليات الذات في ديوان "فاصلة، نقطتان" لشيخة المطيري، دراسة سيميائية د. خليف بن غالب بن مبارك الشمري	280- 312
11	تقنيات التجريب المسرحي في مسرحية "كبرياء التفاهة في بلاد اللامعنى" للسيد حافظ د. إبراهيم عمر علي المحاثلي	313- 342
12	جماليةُ الخِطابِ وقراءةُ المعنى في شعرِ صفوانَ بنِ إدريس المرسي: (دراسة سيميائية) د: عبد الله بن عطية بن عبد الله الزهراني	343- 365
13	حالة الانتظار في الشعر العذري دراسة نفسية أسلوبية د. عمر بن نوح بن ثامر المطيري	366- 397

م	البحث	الصفحة
14	المؤشرات اللغوية والسلالم الحجاجية في آيات البعث في القرآن الكريم د. فاطمة بنت عبدالله علي عبدالله	398- 431
15	بلاغة الإشهار والتشهير في الخطاب السجالي: قصيدة الدامغة لجرير ونقيضتها أنموذجًا. د. شيخة علي عسيري	432- 469
16	تجديد البلاغة العربيّة في المملكة العربيّة السعوديّة: مشروع البلاغة الكونيّة عند سعود الصّاعدي أنموذجًا د. غادة محمد ذاكر الزبيدي	470- 495
17	أثر اضطراب كرب ما بعد الصدمة لدى الأمهات الناجيات من العنف الأسري على الأمن النفسي والسلوك العدواني لدى الأبناء أ. علياء فهد العتيبي	496- 524
18	سياسات المملكة العربية السعودية في التعامل مع المقيمين السوريين خلال الأزمة: دراسة اجتماعية تحليلية مقارنة للنهوج السعودية والتركية والألمانية تجاه أزمة اللجوء السوري د. شروق إسماعيل الشريف	525- 562
19	التحليل المكاني لتوزيع وتطور القرى في محافظة خليص باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية د. مليحة حامد العبدلي	563- 606
20	تطبيقات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي المكاني في حصاد مياه السيول بوادي المصير - نيوم - المملكة العربية السعودية د. نجاة سعيد محمد الشهراني	607- 649
21	التحليل الطبوغرافي لمحمية الملك عبدالعزيز الملكية وأثره على توزيع الغطاء النباتي باستخدام محرك GOOGLE EARTH ENGINE د. وداد حمدان الروقي	650- 681
22	دراسة تحليلية مقارنة للخصائص المورفولوجية بين وادي الحنو ووادي خمال شمال محافظة ينبع، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) د. صباح سلطان نغيمش الفريدي	682- 698
23	مصانع الأدوية في المملكة العربية السعودية: دراسة تحليلية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية مرام محمد ناصر المقيطيف	699- 730

تطبيقات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي المكاني في حصاد مياه السيول بوادي المصير – نيوم – المملكة العربية السعودية

د. نجاة سعيد محمد الشهراني
أستاذ مساعد –قسم العلوم البيئية –جامعة بيشة

Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems &Spatial Artificial Intelligence in Water Harvesting in Wadi Al-Maseer, NEOM, Saudi Arabia

Dr. Najat Saeed Mohammed Alshahrani
Assistant Professor – Department of Environmental Sciences – University of Bisha

ملخص

يقع حوض وادي المصير في منطقة تبوك شمال غرب المملكة العربية السعودية، وإلى شمال من مشروع نيوم، بمساحة تقدّر 6367.9 كم^2، ويتجه نحو الجنوب الغربي ليصب في البحر الأحمر. وتعاني المملكة من مشكلة الفقر المائي؛ حيث يبلغ نصيب الفرد السعودي السنوي من الموارد المائية المتجددة نحو 74.59م3/فرد/سنة، مقارنة بمتوسط نصيب الفرد عالميًا، والذي يبلغ 5475.5م^3/فرد/سنة عام 2022م، لذلك تكمن أهمية هذا البحث في كونه يشكّل لبنة أساس في موضوعات حصاد المياه. ويهدف البحث إلى تحديد المواقع المثلى لحصاد مياه السيول في حوض وادي المصير الواقع في شمال غرب المملكة، بما يعزّز الأمن المائي، والذي يتوافق مع مشروعات رؤية المملكة 2030، وذلك من خلال تقدير حجم السيول، وإنشاء شبكة للإنذار المبكر للحماية من أخطارها. واعتمد البحث على مرئيات القمر Sentinel 2 لعام 2025م بدقة مكانية 10 أمتار، ونموذج الارتفاع الرقمي للقمر الصناعي SRTM لعام 2014 بدقة 30 مترًا، إضافةً إلى بيانات الأمطار اليومية (1985–2024)، واستُخدِم برنامج ARC GIS Pro في بناء النماذج الهيدرولوجية والمورفومترية لإيجاد الموازنة المائية، كما استُخدِم برنامج Hyfran Plus في حساب المعادلات الإحصائية والرياضية لحساب المعاملات المطرية. وأظهرت النتائج أن متوسط الهطول السنوي بلغ 7.3 ملم، مع أحداث نادرة تجاوزت 26 مم. ويتميز الحوض بانحدارات منخفضة واتجاه تصريف نحو الجنوب الغربي. وقد بلغ حجم التصريف 124.7 م^3/ثانية، في حين بلغ صافي الجريان حوالي 7955م^3، وتبيّن أن أنسب المواقع للحصاد تقع عند التقاء الروافد الرئيسة خصوصا من الرتبة الثالثة فما فوق؛ مما يتيح فرصًا لتطوير مشاريع حصاد مياه فعّالة، وربطها بشبكة إنذار مبكر لتحقيق استدامة الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: النمذجة الهيدرومورفومترية، الميزانية الهيدرولوجية، حصاد المياه، الذكاء الاصطناعي، الإنذار المبكر.

Abstract

The Wadi Al-Maseer basin is located in the Tabuk region, northwest of Saudi Arabia, to the north of the NEOM project, covering an area of approximately 6367.9 km². The basin drains southwestward into the Red Sea. Saudi Arabia suffers from severe water scarcity, as the annual per-capita share of renewable water resources is about 74.59 m³/person/year, compared to the global average of 5475.5 m³/person/year in 2022. Therefore, the significance of this research lies in establishing a fundamental basis for water-harvesting studies. The study aims to identify the optimal sites for Flash-flood water harvesting within the Wadi Al-Maseer basin in northwestern Saudi Arabia to enhance water security in alignment with Saudi Vision 2030 projects. This is achieved by estimating flood volumes and designing an early warning network to mitigate their hazards. The research utilized Sentinel-2 satellite imagery (2025) with a spatial resolution of 10 m, and the SRTM Digital Elevation Model (MED) (2014) with 30 m resolution, in addition to daily rainfall data (1985–2024). The ArcGIS Pro software was employed to build hydrological and morphometric models to determine the water balance, while Hyfran Plus was used for statistical and mathematical analyses of rainfall parameters. Results indicated that the mean annual rainfall reached 7.3 mm, with rare events exceeding 26 mm. The basin is characterized by gentle slopes and a southwestward drainage direction. The estimated discharge was 124.7 m³/s, with a net runoff of approximately 7955 m³. The most suitable sites for water harvesting were identified at the confluences of the main tributaries, particularly from the third order and above, providing promising opportunities for developing efficient water-harvesting projects integrated with an early-warning network to ensure sustainable water-resource management.

Keywords: Hydromorphometric Modeling – Hydrological Budget– Water Harvesting – Artificial Intelligence (AI) – Early Warning System (EWS).

مقدمة:

تُعَدُّ المياه أحد أهم محاور التطور الاقتصادي والاجتماعي؛ حيث إنها أساسية لتلبية الاحتياجات البشرية، وإدارة البيئة، وضمان استدامة التطور الاقتصادي. ورغم أهمية المياه، يرى أن المملكة تواجه تحديات كبيرة بسبب الاعتماد على المخزون المحدود من المياه الجوفية غير المتجددة، ومعدلات التعويض المنخفضة (2.8 مليار م^3) سنويًا، ومن المتوقع أن يرتفع الطلب الحضري على المياه من 15.47 إلى 17.08 مليون م^3 يوميًا بين عامي 2024 و2030، كما أن الاستفادة من المياه المعالجة ما زالت محدودة بسبب ضعف البنية التحتية والتشريعات، في حين سيزداد إنتاج المياه المحلاة من 4.16 7.37 مليون م^3، يوميًا مُشكِّلةً عبئًا اقتصاديًا (SWPC, 2024؛ مؤسسة رعاية المياه، 2025).

تسعى رؤية المملكة 2030 عبر الاستراتيجية الوطنية للمياه إلى تحقيق استدامة الأمن المائي إقليمًا وعالميًا (مرجع سابق، 2025)، وتقليل الاعتماد على التحلية والمياه الجوفية. وتدعم الهيئة السعودية للمياه والتشريعات الحكومية هذا التوجّه من خلال تشجيع الاستثمارات، وتعظيم الاستفادة من التقنيات الحديثة، وتشجيع البحوث العلمية مثل: دراسات (Mahmoud & Al-Azba, 2014؛ Amin et al., 2013؛ Alataway & El Alfy, 2018؛ Abd-Elaty et al., 2024؛ Alzghoul & Al-husban, 2021) التي تناولت حصاد مياه الأمطار وإعادة تغذية المياه الجوفية.

كما أقامت الحكومة السعودية عددًا من المعاهد البحثية التي تهتم بأبحاث البيئة والمياه والصحراء كمعهد الأمير سلطان، الذي يهتم بتطبيق نظم حصاد مياه الأمطار في المناطق الصحراوية لرفع كفاءة استخدام المياه وتقليل الهدر. ويأتي هذا البحث كإسهام جيومورفولوجي تطبيقي لدعم مشروعات رؤية 2030 في تحقيق الأمن المائي واستدامة الموارد، عبر تقنيات حصاد مياه السيول بالأودية، ومنها وادي المصير.

أهمية البحث:

تواجه المملكة العربية السعودية تحديًا في ندرة المياه نتيجة وقوعها ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف؛ إذ يبلغ نصيب الفرد السعودي من الموارد المائية المتجددة نحو 74.6 م^3/فرد/سنة (FAO, 2022) مقارنةً بنصيب الفرد عالميًا المقدَّر بـ 5475.5م^3/فرد/سنة (World Bank, 2025). ويبلغ معدل استهلاك الفرد اليومي من المياه 304.8 ليتر/يوم (وزارة البيئة والمياه والزراعة، 2030م)؛ مما يعزز الحاجة إلى استراتيجيات فعّالة لإدارة الموارد المائية غير التقليدية، وعلى رأسها حصاد مياه السيول.

وانطلاقًا من هذا الواقع تأتي أهمية هذه الدراسة في تحليل حوض وادي المصير الواقع شمال مشروع نيوم، والذي تُقدّر كميات الجريان السطحي خلاله بنحو 7955م^3؛ باعتباره نموذجًا لتطبيق تقنيات حصاد مياه الأمطار في البيئات الجافة، من خلال دراسة خصائصه المورفومترية والهيدرولوجية لتحديد المواقع المثلى لجمع المياه وتصريفها. ويُسهم البحث في تعزيز الأمن المائي المحلي، إضافةً إلى دعم إنشاء نظام للإنذار المبكر من أخطار السيول، بما يتوافق مع توجهات رؤية السعودية 2030 نحو استدامة الموارد الطبيعية وتحقيق التنمية البيئية المتكاملة.

أهداف الدراسة:

1. دراسة الخصائص الطبيعية لحوض وادي المصير.
2. دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي المصير.
3. تقدير حجم الجريان السطحي لحوض وادي المصير.
4. عمل شبكة للإنذار المبكر للحماية من أخطار السيول.

منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على عدد من المناهج، وكانت على النحو الآتي:

1. المنهج الوصفي: يتضمن هذا المنهج وصف الظواهر والخصائص الجغرافية الطبيعية لمنطقة الدراسة، وجمع البيانات المتعلّقة بموضوع الدراسة من خلال الكتب والبحوث والتقارير والرسائل والخرائط والمرئيات الفضائية.

2. المنهج الكمي أو التحليلي: استخدم هذا المنهج جملة من المعادلات الرياضية والقياسات الكمية لغرض الوصول إلى النتائج الدقيقة لتحليل البيانات المناخية التي ترتبط بموضوع حصاد المياه بشكل مباشر، فضلًا عن دراسة العناصر الأخرى، مثل: التحليل المورفومتري والهيدرولوجي، واستخدام الطرق الإحصائية والرياضية لإيجاد الموازنة المائية لمنطقة الدراسة، واستخدام المعادلات الهيدرولوجية والمورفومترية لحساب المعاملات المطرية والمساحية وتحويلها إلى جداول وأشكال.

3. الأسلوب الكارتوغرافي: وتم الاعتماد في استخدام هذا المنهج على تقنية نظم المعلومات الجغرافية، ويحقّق هذا الأسلوب التكامل بين العلم والتقنية وإظهار النتائج التي تم الوصول إليها.

الذكاء الاصطناعي: تعمل أنظمة الذكاء الاصطناعي على استيعاب كميات كبيرة من البيانات، وتحليلها؛ بحثًا عن الارتباطات والأنماط للتنبُّؤ بالحالات المستقبلية. **والذكاء الاصطناعي** (AI) هو جزء رئيس في تحليلات الاستشعار عن بعد وGIS خصوصًا إذا استُخدِم للتنبُّؤ والتصنيف وتحديد المواقع المثلى، ويمكن أن نطلق عليه **الذكاء الاصطناعي المكاني** (Spatial AI). وتكمن الفكرة في إيجاد الموازنة المائية وربطها بشبكة إنذار مبكر في حوض وادي المصير. يعمل الذكاء الاصطناعي على تكامل البيانات من مراكز الأرصاد الجوية والصور الفضائية مع قواعد بيانات مكانية سابقة، تشمل الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية للأودية، إضافة إلى بيانات المستشعرات الأرضية التي ترصد ارتفاع المياه وسرعة تدفقها في أثناء السيول. تُحلل هذه البيانات في الزمن الحقيقي باستخدام أدوات متقدمة للنمذجة الجيوهيدرومورفومترية، وتُطبّق عليها خوارزميات ومعادلات متخصصة، تُمكّن من التنبُّؤ بخصائص السيل، يتم ذلك من خلال أدوات الذكاء الاصطناعي داخل البرامج:

- **ARC GIS Pro :** في بناء النماذج الهيدرولوجية والمورفومترية بُغيّة إيجاد الموازنة المائية وتحديد المواقع المُثلى لحصاد مياه السيول داخل الحوض المدروس.
- **Hyfran Plus:** حساب المعادلات الإحصائية والرياضية لحساب المعاملات المطرية للبيانات المناخية؛ بهدف تحديد أقصى عمق للمطر، والتنبؤ بسلوك العواصف خلال الأزمنة التكرارية المختلفة بمنطقة الدراسة.

مصادر الدراسة:

1. الخرائط الطوبوغرافية مقياس1: 500,000 (لوحة حقل NE38-SE)، إنتاج وزارة البترول والثروة المعدنية، إدارة المساحة الجوية، الرياض، المملكة العربية السعودية، عام 1985م.

2. الخرائط الجيولوجية مقياس1: 500,000 (خريطة رقم I-200A)، وزارة المالية والاقتصاد الوطني، المديرية العامة لشؤون الزيت والمعادن بالتعاون مع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، عام 1959م.

3. نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من المشروع الأمريكي والإيطالي والألماني المشترك عام 2000، وتم الاعتماد على التحديث الأخير وهو إصدار (V4.1) والذي تم نشره عام 2014 (Shuttle Radar Topographic Mission)، المعروف اختصارًا باسم (SRTM) بوضوح مكاني، قدره (30) مترًا؛ لاشتقاق القياسات الخاصة بالمتغيرات التضاريسية المورفومترية من ملفات رقمية، توضح الإحداثيات ثلاثية الأبعاد غير المنتظمة (X,Y,Z) لأي نقطة على سطح الأرض مع ارتفاعها.

4. المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Sentinel 2 من النوع MSI بدقة وضوح (10x10) مترًا عام 2025.

5. بيانات الأمطار: تم الاعتماد على بيانات الأمطار من خلال وكالة الفضاء الأمريكية ناسا من عام 1985 إلى 2024م. https://power.larc.nasa.gov

الدراسات السابقة:

أولًا: الدراسات العربية

1. توصلت دراسة البارودي (2012) حول تقدير أحجام السيول وأخطارها عند المجرى الأدنى لحوض وادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية- إلى أن تصريف الذروة في وادي عرنة جنوب شرق مكة المكرمة بلغ نحو 2170 م^3/ثانية، بحجم جريان يقارب 200 مليون م^3. وبينت أن خطورة السيول تعود أساسًا إلى إشغال مجاري الأودية بالأنشطة البشرية؛ مما يعيق التدفق الطبيعي ويزيد من احتمالية الفيضانات واتساع نطاق الأضرار.

2. هدفت دراسة حميد (2016) إلى التحليل المكاني لتقدير حجم الجريان السطحي باستخدام (SCS CN) لحوض وادي المر الجنوبي شمال العراق؛ حيث اعتمد الباحث في دراسته المنهج التحليلي الكمي وتطبيق المعادلات الرياضية اعتمادًا على نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، وأظهرت النتائج أن الجريان السطحي بلغ 258.5 مم، ويتراوح بين 191—293 مم، في حين بلغ حجم الجريان السطحي السنوي نحو 40 مليون م^3، أي ما يمثل 37.07٪ من إجمالي الجريان. وأوصى الباحث بتوظيف تقنيتي RS وGIS للحصول على نتائج عالية الدقة.

3. أظهرت دراسة الشرقاوي (2018م) أهمية تطبيق نموذج حساب تدفق السيول من مصلحة التربة الأمريكية SCS التي هدفت إلى تقدير كمية التدفق اليومي لسيول أودية النقيب والوطاة والعوشز، والودي، والعود الرافدة لوادي الرمة التي تمتد على مصباتها المنطقة العمرانية لمدينة بريدة، بتطبيق نموذج SCS، وقد أظهر تطبيق هذا النموذج الهيدرولوجي أن متوسط تدفق الذروة للسيول لأوقات الرجوع الممتدة من 5 حتى 100 سنة يتراوح بين (63.9م/ ثانية) بحوض وادي العوشز و(250.1م/ ثانية) بحوض وادي الوطاة، ونتج عنه متوسط تدفق نوعي، أظهر أن حوض وادي العود هو أكثر الأحواض قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية بمتوسط تدفق نوعي قدره (3.00م/ثانية) ، وأن حوض وادي العوشز هو أقل الأحواض المدروسة قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي بمتوسط تدفق نوعي قدره (0.27م/ثانية/كم)، وأوصى

الباحث بتطبيق نموذج SCS؛ للاستفادة منه في تقدير الموارد المائية للسيول باستخدام بيانات النموذج الرقمي (DEM) على أحواض مائية أخرى، لا تحتوي مجاريها على محطات هيدرومترية في المملكة العربية السعودية.

4. أجرى كلٌّ من خضر وفؤاد (2023م) دراسة بعنوان: "التحليل والنمذجة الجيوهيدروكليمومورفومترية للسيول بوادي قصيب (الدوم) – العين السخنة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والذكاء الاصطناعي"، لتحليل الخصائص المورفولوجية والمورفومترية والهيدرولوجية باستخدام الاستشعار عن بعد، ونماذج الارتفاعات الرقمية، وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، بالإضافة إلى النمذجة الهيدرولوجية (SCS-CN، HEC-HMS، WMS). هدفت الدراسة إلى تقدير حجم الجريان السطحي، وحساب الفواقد المائية، وتحليل شبكة التصريف، واقترحت حلولًا للحد من أضرار السيول ونموذجًا للإنذار المبكر بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي. وأظهرت النتائج أن الحوض صغير المساحة ويتميّز بارتفاع خطورة السيول نتيجة قصر زمن التركيز وكثافة التصريف العالية؛ مما يستلزم وضع خطط متكاملة للحماية والاستفادة المثلى من الموارد المائية.

ثانيًا: الدراسات الأجنبية

1. قدّم Cools وزملاؤه (2012) دراسة بعنوان: "نظام إنذار مبكر للسيول المفاجئة في المناطق شديدة الجفاف في مصر"، تناولت تطوير واختبار نظام إنذار مبكر للسيول في مناطق شديدة الجفاف بشبه جزيرة سيناء. واعتمدت الدراسة على دمج بيانات الأمطار والنماذج العددية وصور الاستشعار عن بعد مع الخبرة المحلية لتقدير معاملات أساسية تشمل حصر أحداث السيول السابقة، وتوزيعها الزماني والمكاني، وتحليل الفواقد المائية. وأظهرت النتائج أن فعالية النظام تعتمد على الأداء التقني إلى جانب قوة الإطار المؤسسي، وكفاءة التشغيل، ووضوح مسارات الاتصال، وخطط الطوارئ.

2. تناول Saboory (2014) في دراسته تطبيق نظم المعلومات الجغرافية لاختيار مواقع مشاريع حصاد المياه المناسبة في خلم شمال أفغانستان؛ حيث اعتمد في دراسته على خرائط الغطاء الأرضي وخريطة DEM، وأيضًا المجموعة الهيدرولوجية للتربة والبيانات المناخية للمنطقة، وأُجرِي مسح اجتماعي في منطقة الدراسة لتحديد المعايير من أجل تحديد المواقع المناسبة؛ حيث أظهرت نتائج الدراسة وجود عددٍ من المناطق المناسبة لإنشاء مشاريع الحصاد، وإخراج خريطة تحدد تلك المناطق، والتي تعالج معظم مشكلات نقص المياه في الزراعة.

3. قام Shereif (2015) بدراسة تناولت أهمية حصاد مياه الأمطار في المملكة المتحدة، مع التركيز على الجزء الجنوبي الشرقي من إنجلترا؛ نظرًا لندرة الأمطار في هذا الجزء وتزايد النمو السكاني والتغير المناخي، واعتمد الباحث في منهج دراسته على اختيار معايير تحديد مناطق الحصاد، وجمع البيانات المكانية من خرائط التربة

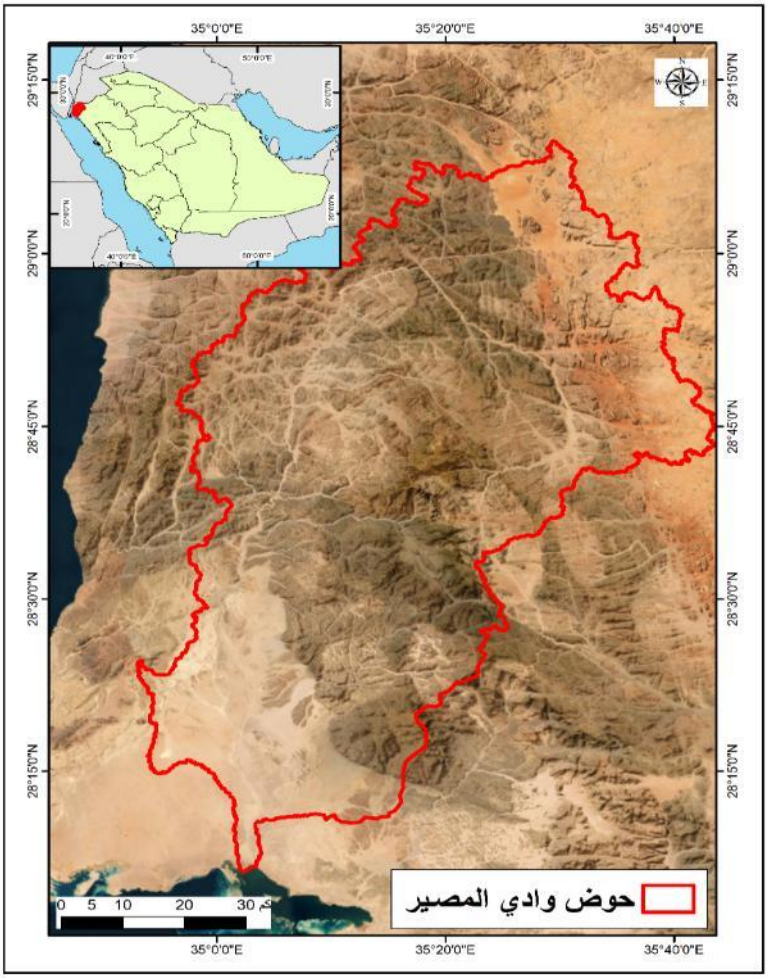
والغطاء الأرضي، واستخدامات الأراضي والخريطة الطبوغرافية للمنطقة، وتقدير معامل الجريان السطحي، وبذلك أُنتِجت خرائط لحصاد الأمطار وتغذية المياه الجوفية، وتوصل الباحث إلى أن المناطق الغربية والجنوبية للمملكة هي مناطق مناسبة لـ (Rainwater RWH harvesting)، والتي بدورها تكون مفيدة لصنّاع القرار ومخططي الموارد المائية في المملكة المتحدة، وأوصى بإجراء المزيد من الدراسات المختلفة لتقنيات تجميع مياه الأمطار في المنطقة.

يتضح من الدراسات السابقة، العربية والأجنبية، أنها تباينت في أهدافها بين تقدير أحجام السيول وأخطارها (البارودي، 2012؛ الشرقاوي، 2018)، وتحليل الجريان السطحي وتحديد مواقع الحصاد (حميد، 2016؛ Saboory، 2014؛ Shereif ، 2015)، والنمذجة المتقدمة باستخدام الذكاء الاصطناعي (خضر وفؤاد، 2023)، وتطوير نظم الإنذار المبكر للسيول (Cool et al.,2012). كما اختلفت مناطق الدراسة بين السعودية والعراق ومصر وأفغانستان والمملكة المتحدة، وتنوعت المناهج بين التحليل المورفومتري والنماذج الهيدرولوجية وتقنيات GIS وRS والمسوح الميدانية. وتتشابه جميعها في الاعتماد على البيانات المكانية والنماذج الرياضية لدعم إدارة الموارد المائية وتقليل أخطار السيول.

ويضيف هذا البحث عن وادي المصير بعدًا تطبيقيًا جديدًا من خلال دمج تحديد مواقع حصاد المياه، وتصميم نظام حماية من أخطار السيول في بيئة جافة داخل المملكة العربية السعودية، مع الاستفادة من المنهجيات السابقة وتكييفها لخدمة أهداف رؤية 2030 في مجال تنمية واستدامة المياه.

منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي المصير في منطقة تبوك شمال غرب المملكة العربية السعودية، ويمتد بين خطي طول (34′55ْ و35′44ْ) شرقًا وبين دائرتي عرض (28′5ْ و29′10ْ) بمساحة (6367.9 كم^2). ويضم حوض وادي المصير مجموعة من المرتفعات الجبلية في شمال ووسط الحوض كجبال الخرج الصلبة الريشة وجبال كريبة، وينتهي جنوب غرب حتى يصب في البحر الأحمر قرب مشروع نيوم (الشكل 1). ويتميز مناخ تبوك بصيف حار وجاف؛ حيث تتراوح درجات الحرارة في أكثر شهور السنة حرارةً (يوليو) بين 29.84مْ و31.13مْ في محطتي تبوك والوجه، وتتراوح درجات الحرارة في فصل الشتاء في أبرد شهور السنة (يناير) بين 10.87مْ و18.85مْ، على التوالي، وتتسم الأمطار بالتذبذب من سنة إلى أخرى؛ إذ يبلغ معدل كمية الأمطار السنوية في أغلب أجزاء المنطقة 31.8 ملم.



شكل (1): موقع حوض وادي المصير

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على مرئيات القمر الصناعي sentinel 2 10*10 m عام 2025م

1- الخصائص التضاريسية لحوض وادي المصير

تعدُّ الخصائص التضاريسية من الركائز الأساسية في الدراسات الجغرافية؛ إذ تُجسّد البنية السطحية للأرض، من حيث الارتفاع والانخفاض والشكل والميل، وتشمل الجبال، والهضاب، والسهول، والوديان، وغيرها من الأشكال الأرضية (أبو العلا، 2002).

أ- ارتفاعات السطح

تُعَدُّ ارتفاعات السطح من أهم الخصائص التضاريسية للدراسات الجغرافية؛ إذ تمثل مؤشّرًا أساسيًا لفهم البنية الطبوغرافية وتحديد الفروق الرأسية بين النقاط مقارنة بمستوى سطح البحر؛ مما يؤثر على توزيع الانحدارات

وتشكيل الأشكال الأرضية وتنوعها (شرف، 1986). يظهر حوض وادي المصير **انحدارًا عامًا من الشرق إلى الغرب والجنوب الغربي**، مما يدل على اتجاه التصريف نحو المناطق المنخفضة. وتتنوع تضاريس المنطقة بشكل واضح؛ حيث تتراوح الارتفاعات بين (1 إلى 2512 مترًا) مما يعكس وجود **تضاريس متنوعة**، تشمل **مرتفعات، وأودية**، ومن ثَمَّ يُعطي المنطقة أهمية في الدراسات الجيومورفولوجية. ومن خلال دراسة فئات الارتفاعات تبيّن أن حوض وادي المصير يتميز بتدرّج واضح في الارتفاعات؛ حيث تنقسم إلى أربع فئات رئيسة وفقًا للمجال الرأسي. ويُبيّن الجدول (1) والشكل (2) الآتي توزيع هذه الفئات من حيث المساحة والنسبة المئوية من إجمالي مساحة الحوض البالغة (6367.9 كم^2).

جدول (1): ارتفاعات السطح في منطقة الدراسة

الارتفاع بالمتر	المساحة كم2	النسبة المئوية ٪
626–1	1745.5	27.4
1256–627	2781.8	43.7
1884–1257	1734.0	27.2
2512–1885	106.6	1.7
الإجمالي	6367.9	100

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي 30*30 SRTM عام 2014م

ومن خلال دراسة فئات الارتفاعات في المنطقة نجدها على النحو الآتي:

1. الارتفاعات المنخفضة (1–626م)

تمثّل نسبة (27.4٪) من الحوض، وتتركّز في الأجزاء الجنوبية الغربية، وهي مناطق ذات انحدارات بسيطة نسبيًا، وتُعدُّ مناطق تجميع للمياه، وتشكِّل مجاري الأودية الرئيسة.

2. الارتفاعات المتوسطة (627–1256م)

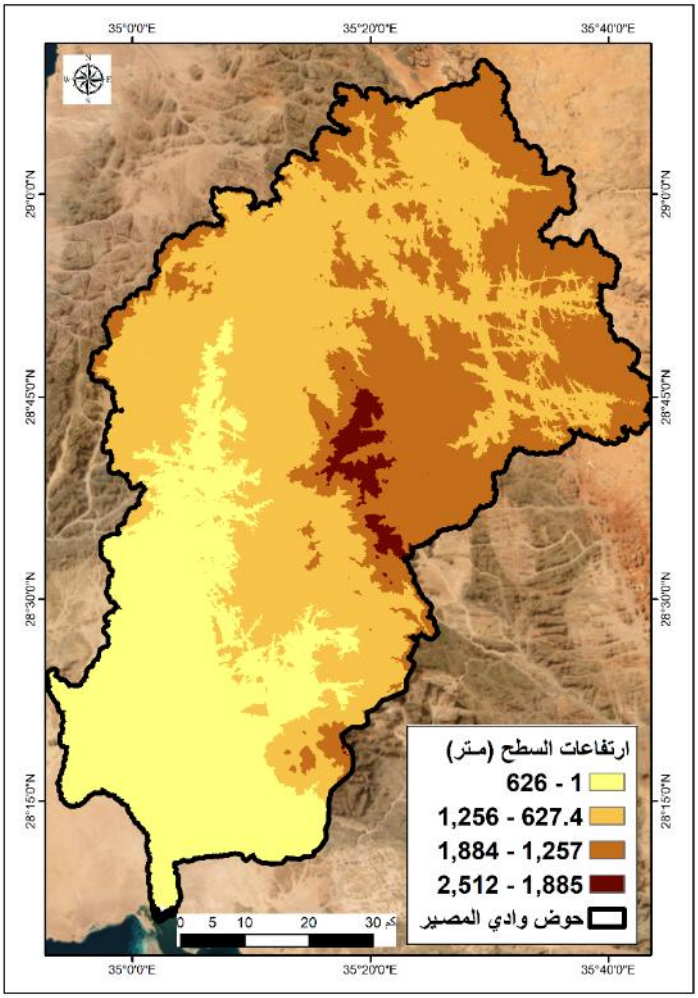
تُعدُّ الأكثر اتساعًا بنسبة (43.7٪)، وتمثِّل الهضاب والسهول المرتفعة التي تنتشر في وسط الحوض، وهي مناطق انتقالية مهمة بين المنابع والمصبات.

3. الارتفاعات العالية (1257–1884م)

تمثّل نسبة (27.2٪)، وتنتشر في المناطق الشرقية والوسطى المرتفعة، وتضم المنابع العليا لمجاري السيول، وتتميّز بانحدارات متوسطة إلى شديدة.

4. الارتفاعات الشديدة أو الشاهقة (1885–2512م)

تُشكِّل فقط (1.7٪) من مساحة الحوض، وتُعدُّ المناطق الجبلية شديدة الارتفاع، والتي تمثِّل مصادر رئيسة للمياه السطحية، وتُسهم في تكوين الأشكال الجيومورفولوجية الوعرة.



شكل (2): ارتفاعات السطح في منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 30*30 عام 2014م

ب – انحدار السطح

يُعدُّ **الانحدار** عنصرًا أساسيًا في التحليل الطبوغرافي، ويعبّر عن تغير الارتفاع بين نقطتين على سطح الأرض، ويُقاس بالدرجات أو النسبة المئوية. وتكمن أهميته في تحديد استخدامات الأرض، وتوزيع الغطاء النباتي، وحركة المياه السطحية، وقياس قابلية الأراضي للتعرية والانجراف والانزلاقات الأرضية (عبد اللطيف، 2015). ويؤكّد قربة وأبو بكر (Garba & Abubakar, 2023) أن الاستجابة الهيدرولوجية للنهر تتأثَّر تأثرًا كبيرًا بالتضاريس، ولا سيّما المنحدرات.

يُظهِر تحليل الانحدار الطبوغرافي لحوض وادي المصير تدرجًا واضحًا في قيم الميل؛ حيث تسود الانحدارات المنخفضة (0—10 درجات) في معظم أجزاء الحوض، وتمثّل النطاقات السهلية والمجاري السفلى للوديان، في حين تتركز الانحدارات المتوسطة (10.1—20 درجة) والعالية (أكثر من 20 درجة) في الأجزاء الوسطى والعليا من الحوض، ولا سيّما على جوانب الأودية والروافد الرئيسة؛ مما يشير إلى مناطق أكثر عُرضة لعمليات التعرية والانجراف السطحي، وتحد من استخدامات الأرض فيها. الجدول (2)، والشكل (3) يوضحان ذلك.

جدول (2): انحدار السطح في منطقة الدراسة

الانحدار بالدرجات	المساحة كم2	النسبة المئوية ٪
0 –10	3067.4	48.2
10.1 -20	1522.0	23.8
20.1 -40	1658.8	26.1
40.1 -77. 6	119.7	1.9
الإجمالي	6367.9	100

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي 30*30 SRTM عام 2014م

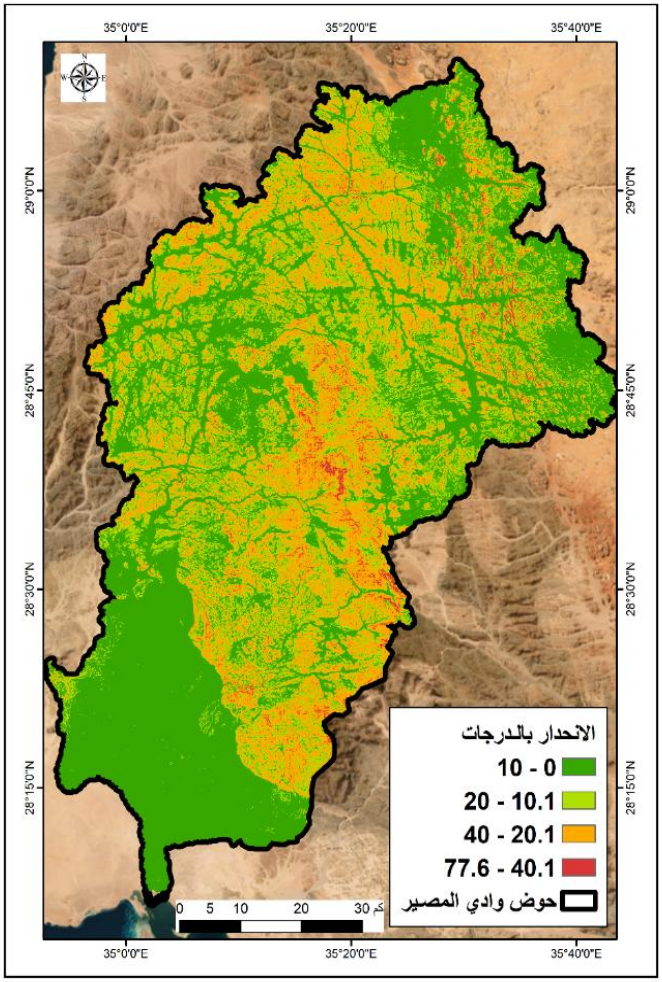
ومن خلال دراسة فئات الانحدار في حوض وادي المصير تبيّن ما يأتي:

يكشف التحليل الكمي للانحدارات الطبوغرافية في حوض وادي المصير سيادة الانحدارات المنخفضة التي تتراوح بين (0–10 درجات)، والتي تغطي مساحة تُقدر بـ (3067.4 كم^2)، تمثِّل نسبة (48.2٪) من إجمالي مساحة الحوض. ويعكس ذلك هيمنة الطابع السهلي والانحدارات الطفيفة في معظم أجزاء الحوض، وهي مناطق ملائمة للأنشطة الزراعية والرعوية؛ نتيجة لمعدلات الجريان السطحي المنخفضة.

وفي المقابل تمثِّل الانحدارات المتوسطة (10.1—20 درجة) نسبة (23.9٪) بمساحة تُقدَّر بـ (1522.0كم^2)، وهي تتوزع غالبًا في المناطق الانتقالية بين السهول المنخفضة والهضاب والمرتفعات؛ مما يجعلها معرضة نسبيًا للتعرية والانجراف، وهذا يستدعي تخطيطًا دقيقًا لاستخدامات الأراضي فيها.

أما الانحدارات العالية (20.1—40 درجة) فتغطي (1658.8كم^2)، بنسبة (26.1٪)، وتُعَدُّ مناطق حساسة بيئيًا، تتطلب إدارة حذرة؛ نظرًا لأخطار الجريان السريع وفقدان التربة. في حين لا تتجاوز الانحدارات الشديدة جدًا (40.1—77.6 درجة) سوى (1.9٪) من مساحة الحوض، أي: ما يعادل (119.7 كم^2)، وتقتصر على السفوح الجبلية والمنحدرات الحادة التي تمثِّل مناطق مصدّرة للتعرية، وتحد من إمكانيات التنمية.

ويُعزِّز هذا التباين في درجات الانحدار أهمية استخدام هذه البيانات في تقييم الأخطار الجيومورفولوجية، وتوجيه التنمية المكانية.



شكل (3): انحدار السطح في منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي 30*30 SRTM عام 2014م

ج- اتجاه الانحدار

يُعد **اتجاه الانحدار** (Aspect) من الخصائص التضاريسية المهمة؛ إذ يحدد ميل السفوح ويؤثر في الإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والغطاء النباتي. وأظهرت دراسة يانغ وآخرين (2020) في حوض نهر مين بجنوب غرب الصين تأثيره على المناخ المحلي، وخصائص التربة، والعمليات الهيدرولوجية مثل الجريان السطحي وديناميكية المياه الجوفية، وعلى الغطاء النباتي أيضا.

جدول (3): اتجاه الانحدار في منطقة الدراسة

اتجاه الانحدار	المساحة كم2	النسبة المئوية ٪
مستوي	17.1	0.3
شمال	712.5	11.2
شمال شرق	687.7	10.8
شرق	735.9	11.6
جنوب شرق	792.7	12.4
جنوب	906.9	14.2
جنوب غرب	937.7	14.7
غرب	857.7	13.5
شمال غرب	719.6	11.3

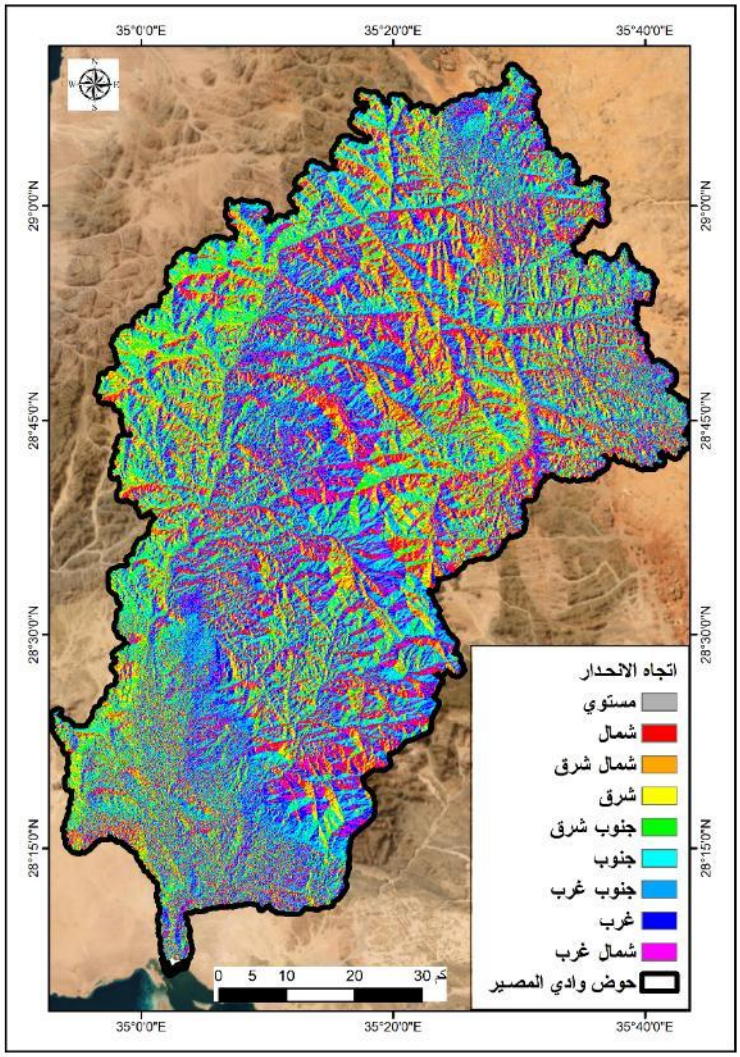
المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي 30*30 SRTM عام 2014م

ومن خلال دراسة اتجاه الانحدار في حوض وادي المصير (الجدول 1) و(الشكل 4) تشير البيانات الإحصائية إلى وجود تباينات واضحة في توزيع الانحدارات على مختلف الاتجاهات الطبوغرافية. ويتضح من نتائج التحليل الإحصائي أن الاتجاهات الجنوبية والغربية تُعد الأكثر شيوعًا؛ حيث يمثِّل اتجاه الجنوب الغربي والجنوب النسبة الأعلى بـ (14.7٪) و(14.2٪) على التوالي، يليهما الاتجاه نحو الغرب بنسبة (13.5٪)، وتُعد هذه الاتجاهات الثلاثة بمنزلة الممرات الرئيسة لتصريف المياه السطحية؛ مما يدل على أن البنية التضاريسية للحوض تميل إلى الجنوب الغربي، وهو ما يتوافق غالبًا مع شبكة التصريف الطبيعية.

كما تُظهِر النتائج نسبًا ملحوظة لانحدارات أخرى نحو الجنوب الشرقي (12.4٪) والشرق (11.6٪)، أما الاتجاهات الشمالية: (شمال، شمال شرق، شمال غرب) فتتراوح نسبها بين (10.8٪) إلى (11.3٪)؛ مما يدل على وجود انفتاح طبوغرافي نسبي نحو هذه الاتجاهات، مع احتمالية وجود تفرُّعات ثانوية من شبكة الأودية تتبع هذه الانحدارات.

وفي المقابل يُعد الانحدار نحو الشمال الأقل نسبةً؛ حيث بلغت (11.2٪)، في حين يُعد الاتجاه "المستوي" الأقل إطلاقًا بنسبة (0.3٪)؛ مما يؤكّد الطابع المائل للحوض بشكل عام.

تعكس هذه الاتجاهات خصائص جيومورفولوجية مرتبطة بتكوين الحوض وميله العام؛ مما يُسهم بشكل فعّال في توجيه دراسات الأخطار الطبيعية، مثل: التعرية، وانجراف التربة، والسيول. كما يمكن الاستفادة منها في تطبيقات التخطيط الهيدرولوجي، لا سيّما في تصميم شبكات التصريف وإدارة الموارد المائية على مستوى الحوض.



شكل (4): اتجاه الانحدار في منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 30*30 عام 2014م

2- التكوينات الجيولوجية

يُعَدُّ فهم التوزيع المكاني للتراكيب الجيولوجية من العناصر المهمة في معرفة الشكل العام لشبكة التصريف المائي، وتحديد مسارات حركة المياه السطحية والباطنية (خضر وفؤاد، 2023).

يتضح من تحليل الخريطة الجيولوجية (الشكل: 5) (الجدول: 4) أن التكوينات الجيولوجية لحوض وادي المصير تُشكِّل جزءًا من الدرع العربي النوبي، وتُعد من العوامل الرئيسة المؤثرة في شكل الحوض ونمط تصريفه. ويضم (16) تكوينًا، تنتمي إلى عصور مختلفة، وهو ما يعكس تدرجًا زمنيًا طويلًا في تطور البنية الجيولوجية للمنطقة. تغطي الصخور النارية والمتحولة القديمة من عصر **ما قبل الكمبري** معظم مساحة الحوض بنحو (4272.8 كم^2) وبنسبة (67.11٪)، وتشمل: صخور الجرانيت والدايورايت والغابرو والسربنتنايت، والرايولايت، وصخور بركانية ومتحولة، وهي صخور شديدة الصلابة، أسهمت في تكوين تضاريس وعرة ومنحدرات حادة في بعض الأجزاء.

أما الصخور الرسوبية التي تعود إلى العصور **الكمبري والكامبري- الأوردوفيشي** فتظهر في الأطراف الشمالية والشرقية، وتغطي مجتمعة مساحة (498.2 كم^2) بنسبة (7.82%) من حوض وادي المصير، وتتميّز بنفاذية عالية، تساعد على تسرب المياه وتخفيف الجريان السطحي.

ويتمثّل **العصري الميوسيني** Miocene في عودة النشاط الترسيبي في العصر الحديث نسبيًا، ويتكون من صخور رسوبية، غالبًا ما تكون طينية أو رملية، ويمثل (74.5 كم^2) من مساحة الحوض، أي: بنسبة (1.17%). كما يظهر في الجنوب الشرقي صخر ناري مافي بركاني، داكن اللون، ناتج عن طفوح بركانية حديثة نسبيًا لنشاط بركاني متأخر في **العصر الثلاثي – الرباعي** Tertiary – Quaternary **يشكل** (50.4 كم^2) بنسبة (0.79٪).

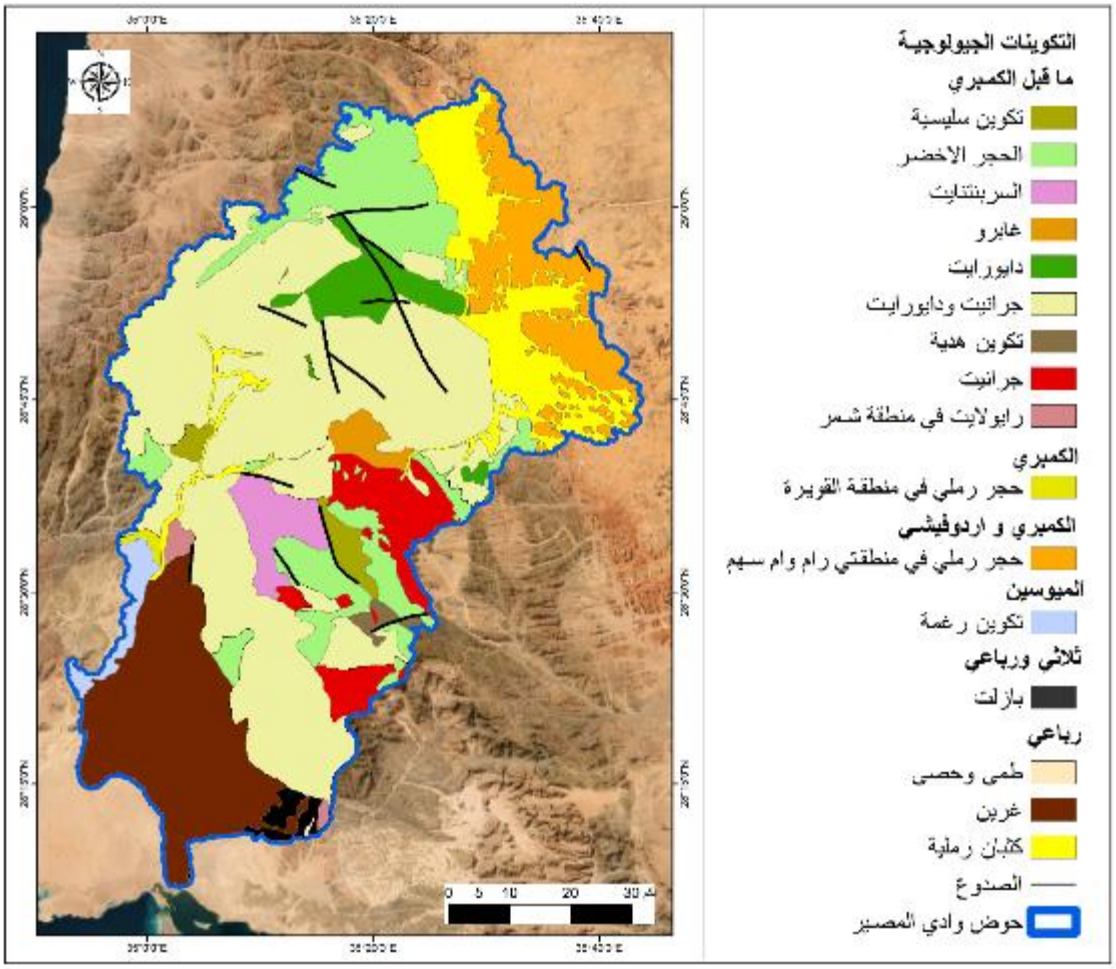
وتشكل رواسب **العصر الرباعي** Quaternary من الحصى والطمي، والغرين، والكثبان الرملية نحو (1472 كم^2) بنسبة (23.12٪)، وتمثّل هذه الرواسب بيئة جيومورفولوجية نشطة، ترتبط بعوامل تعرية الريحية والمائية، وتُعدّ من أهم مناطق الترسيب وحصاد مياه السيول.

وبوجه عام، يُظهر التوزيع الجيولوجي للحوض تباينًا في الصلابة والنفاذية بين الصخور القديمة والحديثة، وهو ما انعكس على الانحدارات واتجاهات التصريف وشدة الجريان داخل الحوض.

جدول (4): التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

التكوين الجيولوجي	العصر	نوع الصخر	المساحة كم2	النسبة المئوية ٪
تكوين سليسية	عصر ما قبل الكمبري	صخور متحولة غنية بالسيليكا	86.7	1.36
الحجر الأخضر		صخور بركانية ورسوبية متحولة	792.0	12.44
السربنتنايت		صخر متحول غني بالمغنيسيوم	157.3	2.47
الغابرو		صخر ناري	70.4	1.11
الدايورايت		صخر ناري متوسط	225.2	3.54
الجرانيت والدايورايت		صخور نارية حامضية ومتوسطة	2567.9	40.33
تكوين هدية		صخور متحولة	32.4	0.51
الجرانيت		صخر ناري حامضي	309.7	4.86
الرايولايت (منطقة شمر)		صخر ناري بركاني حامضي	31.2	0.49
حجر رمليّ في منطقة القويرة	العصر الكمبري	صخر رسوبي خشن	14.9	0.23
حجر رمليّ في منطقتي رام وأم سهم	العصر الكمبري – الأوردوفيشي	حجر رملي متعدد التركيب	483.3	7.59
تكوين رغمة	العصر الميوسين	صخور رسوبية	74.5	1.17
البازلت	العصر الثلاثي – الرباعي	صخر ناري مافي بركاني	50.4	0.79
الطمى والحصى	العصر الرباعي	رواسب مائية خشنة	2.4	0.04
الغرين		هي رواسب دقيقة – طينية أو غرينية	852.4	13.39
الكثبان الرملية		رواسب ريحية منقولة	617.2	9.69

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على الخريطة الجيولوجية 1:500000 عام 1959م



شكل (5): الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على الخريطة الجيولوجية 1:500000 عام 1959م

3- التحليل المورفومتري :

تعكس دراسة الخصائص المورفومترية للأحواض المائية تأثير العوامل الطبيعية في تشكيل الحوض من جهة، وعلاقتها بالهيدرولوجيا من جهة أخرى، من حيث كمية التصريف وطبيعة الجريان. وتتنوع أشكال الأحواض وفقًا للمرحلة الجيومورفولوجية التي بلغتها؛ إذ تلعب العناصر الطبوغرافية والبنيوية دورًا رئيسيًا في تشكيلها وتحديد خصائصها. وتُعد هذه الخصائص من أهم العوامل المتحكمة في هيدرولوجية الحوض، لما لها من دور في تحديد الجريان السطحي، وفهم التطور المورفولوجي للحوض من حيث شكل الحوض، والمحيط، ودرجة الانحدار، والتعبير عن العلاقات المكانية بين عوامل الحت والأشكال الأرضية المرتبطة بها والناتجة عنها (سترهلير وآخرون, 1964).

إن التحليل المورفومتري يُنتج وصفًا شاملًا لشبكة تصريف نهر ما، وهو شرط أساسي لفهم البيئة وإدارتها، وإجراء النمذجة الهيدرولوجية، والتخطيط المستدام لاستخدام الأراضي، ويساعد التفاعل بين الخصائص المورفومترية والظروف المناخية السائدة على تحديد ديناميكيات الدورة الهيدرولوجية (Revuelta-Acosta et al.2025). وفي ضوء ذلك جرى تحليل الخصائص المورفومترية لحوض وادي المصير (الجدول 6)، بما يعزّز القدرة على تحليل الخصائص الهيدلوجية، وتحديد إمكانات الاستدامة في إدارة الموارد المائية للحوض.

أ- الخصائص المساحية

1- مساحة الحوض

تعكس مساحة الحوض حجم التصريف المائي داخل الحوض؛ إذ تزداد قدرة الحوض على استيعاب أكبر كمية من مياه الأمطار المتساقطة مع زيادة مساحة الحوض، وقد بلغ إجمالي مساحة حوض وادي المصير (6367.9 كم^2).

ب- أبعاد الحوض

1- طول الحوض

وهو أحد المتغيرات الموفومترية المهمة الخاصة بحوض التصريف، ويُقاس ابتداءً من نقطة المصب النهري إلى أبعد نقطة على خط تقسيم المياه. وقد تم تحديد طول الحوض باستخدام طريقة كل من هورتن (Horton, 1932)، وشوم (Schumm, 1956)، عن طريق رسم خط موازي ليصل بين نقطتين، وهما منبع الحوض ومصبه، وبلغ طول حوض وادي المصير (138.5كم).

2- عرض الحوض

هو المسافة المنتظمة بين أبعد نقطتين على محيط الحوض؛ إذ يتخذ الحوض شكلًا خاصًا به بحسب العلاقة ما بين مساحة الحوض وطولها، وهذه العلاقة تحدد قيمة متوسط عرض الحوض، ويتم استخراج متوسط عرض الحوض من خلال المعادلة التالية:

متوسط عرض الحوض = مساحة الحوض كم^2/ طول الحوض كم (محسوب، 2001).

ومن خلال تطبيق المعادلة السابقة نجد أن عرض حوض وادي المصير بلغ (45.9كم).

ج- محيط الحوض

يمثِّل محيط الحوض خط تقسيم المياه الذي يفصل بين الحوض والأحواض المجاورة، ويعبِّر عن مدى انتشار الحوض واتساعه، وقد بلغ محيط حوض وادي المصير (579كم).

د- الخصائص الشكلية

تُعَدُّ الخصائص الشكلية من أهم المعاملات المورفومترية الأساسية لفهم التطور الجيومورفولوجي للأحواض والعمليات التي شكّلتها، إلى جانب معرفة تأثير الشكل على حجم التصريف النهري، ومقدار كمية التصريف الواصلة إلى المجرى الرئيس، والذي ينعكس على تحديد درجة أخطار السيول. وتتأثر الخصائص الشكلية للأحواض تبعًا لطبيعة المناخ السائد والعمليات الجيومورفولوجية وطبيعة الصخور (الزرقي، 2021). واستُخدمت العديد من المعاملات والمعايير لتحديد خصائص شكل الحوض كما يتضح في الجدول (5):

1. سجل وادي المصير **معامل استطالة** بلغ (0.46)، ومن ثَمَّ تؤثر هذه النسبة في بداية الجريان من أبعد نقطة في أعلى الحوض، ثم انتقاله عبر المجرى الرئيس وصولًا إلى المصب.
2. بلغ **معامل الاستدارة** لحوض وادي المصير (0.24)؛ مما يدل على أن الحوض يميل إلى الشكل المستطيل، ويبعد عن الشكل الدائري، ومن ثَمَّ فهو أقل حدة في احتمال السيول القوية.
3. ينخفض **معامل الشكل** في حوض وادي المصير (0.33)؛ مما يدل على اتساع طولي واضح وقلة التناسق الشكلي، وهو الأمر الذي يؤدي إلى إطالة زمن الجريان السطحي وتأخر زمن التصريف للمياه.
4. سجل **معامل الانبعاج** في وادي المصير نحو (0.12)؛ مما يدل على استطالة الحوض. ويُعد هذا المعامل أحد المؤشرات المهمة لتحديد شكل الحوض الطبيعي بعيدًا عن الأشكال الهندسية المجردة.

جدول (5): معادلات الخصائص الشكلية والتضاريسية للأحواض المائية

المتغير	المعادلة
نسبة الاستطالة	
نسبة الاستدارة	$Rc = 12.57*(A/P^2)$ (Pareta & Pareta, 2012 ; after Miller,1960)
معامل الشكل	مساحة الحوض كم2 / مربع طول الحوض كم (Horton, 1932)
معامل الانبعاج	$K = \frac{L^2}{4A}$ (Gregory & Walling, 1973)
نسبة التضرس	Rr= (max H-min H)/Lb (Schumm, 1956)
التضاريس النسبية	تضاريس الحوض م / محيط الحوض كم (أبو العينين ،1990)
قيمة الوعورة	تضاريس الحوض x كثافة التصريف / 1000 (سقا, 2011).
التكامل الهيبسومتري	مساحة الحوض كم2/ تضاريس الحوض م (الدليمي, 2012).

الخصائص التضاريسية :

تُعد دراسة الخصائص التضاريسية للأحواض أداة مهمة لفهم المرحلة العمرية الحتية التي وصلت إليها، ومدى تطور الشبكة المائية فيها بفعل عمليات التعرية والتجوية المتنوعة، فضلًا عن معرفة طبيعة ونوعية المظاهر الأرضية المرتبطة بها (الزرقي، 2021)، والجدول (5) يوضح ذلك.

1. بلغت نسبة التضرس في حوض وادي المصير قيمة مرتفعة نسبيًا (18.1 م/كم)؛ مما يشير إلى انحدار طولي شديد للفارق الكبير بين المنبع والمصب؛ مما يعكس طاقة تعرية عالية وسرعة تصريف كبيرة، وهو ما يزيد من احتمالية حدوث السيول المفاجئة.
2. بلغت التضاريس النسبية في حوض وادي المصير (2.1)؛ مما يشير إلى تضاريس مرتفعة نسبيًا، تؤثر في جريان المياه وتسربها.
3. سجلت قيمة الوعورة في حوض وادي المصير نحو (0.47). وتُعد هذه القيمة مؤشرًا على وجود قابلية لتشكيل الجريان السطحي السريع؛ مما يزيد من احتمالية تكوّن السيول وتفاقم أخطارها خاصة خلال الهطولات المطرية المفاجئة.

4. يتضح زيادة التكامل الهيبسومتري ليمثل (1.53) مما يدل على زيادة مساحة الحوض وتميزه بتضاريس مرتفعة نسبيًا.

جدول (6): الخصائص المورفومترية لحوض وادي المصير

الخصائص المورفومترية لحوض التصريف	
المتغير	القيمة
مساحة الحوض كم2	6367.9
محيط الحوض كم	579.0
طول الحوض كم	138.5
عرض الحوض كم	45.9
الخصائص الشكلية لحوض التصريف	
نسبة الاستطالة	0.46
نسبة الاستدارة	0.24
معامل الشكل	0.33
معامل الانبعاج	0.12
الخصائص التضاريسية لحوض التصريف	
نسبة التضرس م/كم	18.1
التضاريس النسبية	2.1
قيمة الوعورة	0.47
التكامل الهبسومتري	1.53

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي 30*30 SRTM عام 2014م

ويمكن القول: إن الحوض يتميز بانحدارات واضحة وتضاريس مرتفعة، وهو ما يعكس استجابة هيدرولوجية كبيره، وزيادة سرعة الجريان وشدته، في حين أن ارتفاع نسبة التضرس ومعامل الوعورة والتكامل الهيبسومتري دل على كفاءة تصريف مرتفعة، تزيد من احتمالية تشكل السيول خلال أوقات العواصف المطرية. وبناء على ذلك فإن هذه الخصائص تبرز أهمية تخطيط منشآت حصاد المياه، وبناء نظم إنذار مبكر للسيول.

خصائص شبكة التصريف في حوض وادي المصير:

تُعد الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف من أبرز المؤشرات على تأثير العوامل المناخية وطبيعة الأحواض في حجم الموارد المائية بالمناطق الجافة وشبه الجافة، كما تمثل المحددات الأساسية لتقدير درجات خطورة السيول داخل هذه الأحواض (الخريجي، 2016) ويوضح ذلك الجدول (7) على النحو الآتي:

1. اعتمد طريقة ستراهلر (Strahler, 1954; Strahler,1958) في رتب المجاري، وتبيّن أن حوض وادي المصير يحتوي ست رتب نهرية، مما يدل على ارتفاع واضح في شبكة التصريف السطحي (الشكل 6).

2. بلغ **أعداد المجاري** في حوض وادي المصير (1436) مجرى (الجدول 7) و(الشكل 6)؛ مما يُشير إلى ارتفاع معدل تصريف الحوض.

3. بلغت **أطوال المجاري** في حوض وادي المصير نحو (4938 كم)؛ مما يُثبت أن الحوض ذو كفاءة جيدة في تصريف المياه، وأن زيادة أطوال المجاري تعطي فرصة لزيادة التبخر أو التسرّب. كما يرتبط طول المجرى بعلاقة طردية مع تغذية الخزين الجوفي، فكلما زاد طول المجرى زادت احتمالية تغذية المياه الجوفية (Rao et al., 2010).

4. تحسب **نسبة التشعب** كنسبة عدد المجاري من رتبة معينة إلى المجاري من الرتبة التي تليها. وترتفع هذه النسبة في حوض وادي المصير إلى (4.7)؛ حيث تعكس النسبة العالية قدرة الحوض على إنتاج السيول.

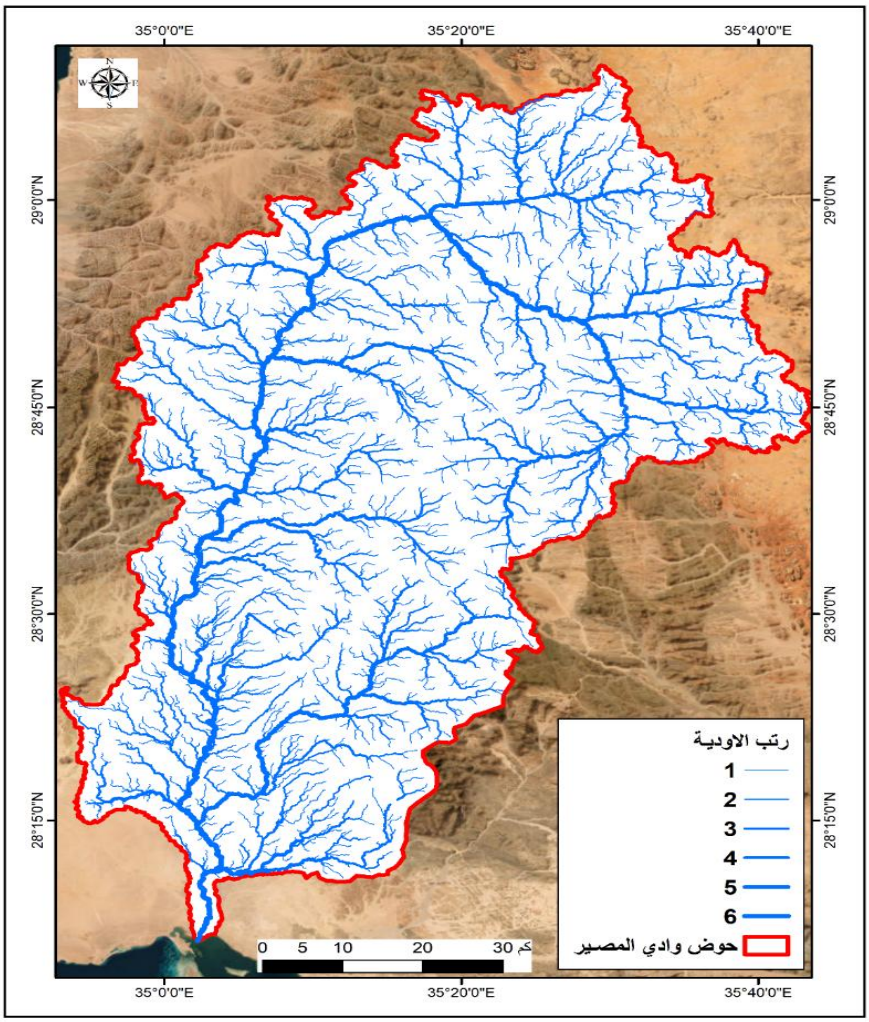
5. تمثِّل **كثافة التصريف** العلاقة بين أطوال المجاري في الحوض إلى مساحته، وهي انعكاس لجيولوجية الحوض والبنية والنفاذية والظروف السائدة، وبلغت كثافة التصريف في حوض وادي المصير نحو (0.78)؛ مما يؤكد قدرة جيدة للحوض في نقل المياه إلى مخرجه.

6. **معدل بقاء المجاري** هي النسبة بين مساحة الحوض (كم^2) إلى مجموع أطوال المجاري (كم)، وتشير نتائجه إلى متوسط الوحدة المساحية التي تغذِّي الوحدة الطولية ضمن شبكة أحواض الصرف، وقد بلغ معدل بقاء المجرى في حوض وادي المصير قيمة بـ(1.29). وهذا يدل على أن للحوض قدرة محدودة على التخزين الطبيعي؛ مما يجعل كميات المياه القابلة للحصاد مرتفعة في المواقع التي تتجمع فيها الروافد.

7. يعبِّر **معدل النسيج الطبوغرافي** عن مدى شدة تقطع سطح الحوض، ويتأثر بعدة عوامل، منها: المناخ، والتكوين الصخري، ونوع الغطاء النباتي، ومرحلة التطور الجيومورفولوجي التي يمر بها الحوض. وقد بلغ معدل النسيج الطبوغرافي (2.48) في منطقة الدراسة، وتدل هذه النتيجة على تأثر شبكة التصريف بخصائص السطح الصخري والانحدار العام والبنية الجيولوجية، وانعكاسها على زمن التركيز وسرعة الجريان؛ مما يعني استجابة هيدرولوجية عالية للحوض، ومن ثَمَّ تبرز أهمية استثمار مناطق الالتقاء الرئيسة في حصاد المياه.

جدول (7): خصائص شبكة التصريف المائية في حوض وادي المصير

المتغير	المعادلة	القيمة
رتب المجاري	اعتمدت طريقة ستريلر (Stahler,1954).	6
أعداد المجاري	-	1436.0
أطوال المجاري (كم)	-	4938
نسبة التشعب	(Schumm,1956) Rb = Nu / Nu+1	4.7
كثافة التصريف	(Waikar & Nilawar,2014) D= Σ Lu/ A	0.78
معدل بقاء المجاري	مساحة الحوض كم2 / مجموع أطوال المجاري(Smith,1950)	1.29
معدل النسيج الطبوغرافي	أعداد الأودية في حوض التصريف/ طول محيط الحوض (Horton,1945)	2.48



شكل (6): شبكة التصريف في حوض وادي المصير

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 30*30 عام 2014م

الخصائص الهيدرولوجية بحوض وادي المصير:

1- زمن التركيز

يُعرَّف زمن التركيز بأنه: المدة الزمنية التي تحتاجها المياه أثناء انتقالها من أبعد نقطة في الأجزاء العليا للحوض، ومن ثم انتقالها عبر المجرى الرئيس حتى وصولها إلى منطقة مصب حوض الوادي (بورية, 2007)، ويُستخرَج من المعادلة الآتية:

TC=(L)1.15/7700 (H) 0.38

إذ إن: TC= زمن التركيز (ساعة)

L = طول المجرى الرئيس (م)

H = الفارق الرأسي بين أدنى وأعلى نقطة في الحوض (م)

(0.38) و(1.15) أسس ثابتة، تدل على خصائص الحوض من نبات طبيعي ومفتتات سطحية وخشونة السطح (الفيتوري، 2014)، وبتطبيق المعادلة أعلاه على منطقة الدراسة اتضح أن زمن التركيز بلغ (9.37/ ساعة)؛ مما يشير إلى استجابة بطيئة نسبيًا، قد تؤثر في توقيت ذروة التصريف في أثناء الهطولات المطرية الشديدة، وهو وقت كاف لتفعيل أنظمة الإنذار المبكر قبل حدوث ذروة الجريان، كما تساعد هذه القيمة في تصميم سعة السدود الصغيرة والحواجز الترابية لتخزين جزء من الجريان السطحي قبل وصوله للمصب.

2- زمن التباطؤ

يُعرَّف زمن التباطؤ بأنه: الزمن الفاصل بين بداية التساقط المطري وبدء الجريان السطحي. ويُعَدُّ من الخصائص الهيدرولوجية المهمة التي تحدد الوقت اللازم لبداية الجريان السطحي، ويتأثر زمن التباطؤ بعدة عوامل، منها: التراكيب الخطية (الفواصل والشقوق وطبيعة التكوينات الصخرية) (العتابي، 2018). ويتم الحصول عليه من خلال المعادلة الآتية:

$$TP=Ct\ (Lb*Lca)0.3$$

TP زمن التباطؤ (ساعة)

Ct = معامل زمن الذروة وهو خاص بطبيعة الحوض وانحداره وقيمته (1.2).

Lb = طول المجرى الرئيس (كم).

Lca = المسافة بين مصب الحوض ومركز ثقله (كم) (الفتلاوي والزاملي, 2020).

ومن خلال تطبيق المعادلة على وادي المصير بلغ زمن التباطؤ (21.76/دقيقة).

3- سرعة الجريان

تُعد سرعة الجريان من الخصائص الهيدرولوجية المهمة في تحليل الأحواض المائية؛ إذ تؤثر مباشرة في شدة السيول وزمن استجابة الحوض، وتتأثر بوجود مجموعة من العوامل التي تؤثر في سرعة الجريان السطحي ومدى استجابة الحوض، كخصائص التربة والخصائص الجيومورفولوجية الكمية المتمثلة في هندسة الحوض، والتي تؤثّر في أدائه متمثّلة بالانحدار وقوة التدفق ونسبة المساحة التي تؤثر في معامل الجريان (الخفاجي والموسوي، 2021). وبما أن حوض وادي المصير يُعَدُّ من الأحواض الموسمية التي تقع ضمن الأحواض الجافة وشبة الجافة؛ لذا تم اعتماد معادلة (جاتون)، كمعادلة تجريبية لحسابه، وتتمثّل على النحو الآتي:

$$V=L(km)/3.6\ TC(h)$$

إذ إن: V = سرعة الجريان السطحي (م/ ثا).

وL = – طول المجرى (كم).

TC = زمن التركيز (ساعة) (المشهداني، 2020).

وبتطبيق المعادلة بلغت سرعة الجريان (7.1كم/ساعة)؛ مما يعكس درجة عالية من استجابة الحوض الهيدرولوجية، وضرورة مراعاة هذا العامل عند دراسة أخطار السيول في المنطقة.

4- حجم التصريف

يعكس حجم التصريف كمية المياه المتجمعة من كل أرجاء الحوض، ويُعبَّر عنه بوحدة ($م^3$/ثانية)، فتراعي هذه المعامل أن كل أجزاء الحوض تسقط عليها كميات من المياه بصورة متساوية (خضر وفؤاد، 2023)، وقد استُخدِمت هذه العلاقة من قبل وزرة الزراعة الأمريكية لتقدير حجم التصريف، وتُحسب وفق المعادلة الآتية:

$$ح = 1.5، (ل\ ت)^{0.85}$$

حيث إن: ح: حجم التصريف، ل ت: مجموع أطوال الروافد التراكمي (كم).

.(U. S. Department of Agriculture,1997)

وبتطبيق المعادلة على حوض وادي المصير بلغ حجم التصريف (124.7$م^3$/ثانية)؛ مما يشير إلى كفاءة تصريفية عالية، وزيادة خطورة السيول.

5- زمن التصريف

يُقصد بزمن التصريف: المدة الزمنية التي يستغرقها الحوض في صرف المياه من مكان سقوطها حتى تصل إلى نقطة المصبّ (خضر وفؤاد، 2023)، ويُعد هذا الزمن من المؤشرات الهيدرولوجية المهمة في تقييم استجابة الحوض للتساقط المطري، ويتم حسابه من خلال المعادلة الآتية:

$$Td = (L)^{1.15} / 7700\ (H)^{0.38}$$

.(U. S. Department of Agriculture,1997)

حيث إن: Td: زمن تصريف الحوض، L: طول المجرى الرئيس بالمتر، H: الفارق الرأسي بين نقطة المصب وأعلى نقطة في الحوض بالمتر (الودعاني، 2014).

وبلغ زمن تصريف حوض وادي المصير (26.3 ساعة)، وهي تعكس كبر مساحة الحوض وانحداراته وتكويناته الجيولوجية والمظاهر الجيومورفولجية والهيدرولجية، ومن ثَمَّ يُصرّف المياه خلال فترة طويلة؛ مما يُعدّ مناسبًا لحصاد المياه واستدامتها.

6- الفواقد

تُعد الفواقد من العوامل الأساسية المؤثرة في درجة خطورة السيول؛ إذ يعتمد استمرار الجريان منذ بدايته حتى نهايته على حجم الفواقد، إضافة إلى العوامل الأخرى، ويمكن حساب إجمالي الفواقد من خلال حساب الفواقد من التبخر والتسرُّب من خلال المعادلات الآتية:

التبخر خلال زمن التصريف = إجمالي التبخر في الساعة x زمن تصريف الحوض (خضر وفؤاد، 2023).

وبلغت قيمة التبخر خلال زمن التصريف في حوض وادي المصير (313.1) م^3/ث.

أما إجمالي الفاقد بالتسرب خلال زمن التباطؤ فـ = مساحة الحوض x زمن التباطؤ x 0.08 ملم /دقيقة (Willson,1980).

وبلغت قيمة التسرب خلال زمن التباطؤ في حوض وادي المصير (47.6) ملم/دقيقة.

- قيم التسرب الثابتة

يقصد بقيم التسرب الثابتة: مقدار ما يتسرّب من المياه داخل الصخور الأصلية الواقعة أسفل الرواسب السطحية التي تغطّي منحدرات الأحواض وقيعانها (خضر، 1997). ويُعد هذا النوع من التسرُّب من الفواقد المهمة، خصوصا في الأحواض ذات التكوينات المنفذة. ويتم حساب قيم التسرب من خلال المعادلة الآتية:

ق = ت X م X ن – ز (Waltz, 1973, p.123).

حيث إن: ق: قيم التسرب الثابتة، ت: معدل التسرب، م: مساحة الحوض، ن: زمن التصريف، ز: زمن التباطؤ.

وبلغت قيمة التسرب الثابت في حوض وادي المصير (25.9م^3).

– جملة الفواقد

تُعرَّف جملة الفواقد بأنها: مجموع كميات المياه المفقودة عبر التبخر والتسرب، وتُحسب وفق المعادلة الآتية:

جملة الفواقد (م^3) = التبخر أثناء زمن التصريف + التسرب خلال زمن التباطؤ+ قيم التسرب الثابتة (خضر، 1997).

بلغ إجمالي الفواقد في حوض وادي المصير (386.6م^3).

– صافي الجريان

يمثّل صافي الجريان كمية المياه الناتجة من الأمطار بعد استبعاد الفواقد الناتجة عن عمليتي التسرب والتبخر، ويُعد الأساس في تقدير كمية الجريان السطحي، ويُحسَب من خلال المعادلة الآتية:

صافي الجريان م^3 = إجمالي المياه الساقطة – الفواقد، (مرجع سابق، 1997). وبلغ صافي الجريان في حوض وادي المصير (7954.8م^3)، ويمكن استغلال الجريان المتجمع عند التقاء الروافد الرئيسة في إنشاء خزانات أو مناطق حوضية والتغذية الجوفية.

جدول (8): الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي المصير

المتغير	وادي المصير
زمن التركيز ساعة	9.37/ ساعة
زمن التباطؤ دقيقة	21.76 /دقيقة
سرعة الجريان كم/ساعة	7.1
حجم التصريف م2/ثانية	124.7
زمن التصريف / الساعة	26.3
التبخر خلال زمن التصريف م3/ث	313.1
التسرب خلال زمن التباطؤ م3/ث	47.6
قيم التسرب الثابتة م3	25.9
جملة الفواقد م3	386.6
صافي الجريان م3	7954.8

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 30*30 عام 2014م

– التحليل التكراري للأمطار اليومية القصوى خلال فترات رجوع مختلفة

يُشكل تحديد كمية الأمطار الهاطلة على حوض الدراسة بدقة عنصرًا جوهريًا في تقدير حجم السيول الناتجة عنها، إذ يُعد عمق الهطول العامل الأساسي الأكثر تأثيرًا في تولد السيول. وتبرز أهميته عند وضع خطط وتنفيذ المشاريع؛ نظرًا لارتباطه المباشر بشدة الجريان السطحي واحتمالية حدوث السيول؛ لذلك تم إجراء تحليل إحصائي لأعلى القيم اليومية لهطول الأمطار خلال الفترة من عام 1985م حتى عام 2024م، باستخدام برنامج Hyfran Plus. وقد جرى تطبيق مجموعة من المعادلات الإحصائية الآتية:

Gev, Gumbel, Weibull, Normal, Lognormal, Pearson Type3, Log-Pearson Type3, Exponential.

جدول (9): أعلى تساقط يومي في العام في منطقة الدراسة بين عامي 1985–2024م

السنة	كمية المطر مم	السنة	كمية المطر مم	السنة	كمية المطر مم
1985	10.91	1999	1.85	2012	6.65
1986	26.95	2000	4.95	2013	7.90
1987	9.88	2001	5.54	2014	17.65
1988	1.25	2002	3.96	2015	12.44
1989	12.72	2003	3.32	2016	7.32
1990	4.18	2004	8.40	2017	4.11
1991	9.11	2005	1.16	2018	6.50
1992	4.83	2006	7.94	2019	5.95
1993	10.24	2007	0.84	2020	12.55
1994	6.56	2008	1.20	2021	7.14
1995	0.43	2009	0.91	2022	19.84
1996	9.28	2010	15.59	2023	4.49
1997	2.63	2011	14.33	2024	1.36
1998	0.81				
القيمة الصغرى	0.43				
القيمة العظمى	26.95				
المتوسط	7.34				

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على بيانات الأمطار من موقع http://power.iarc.nasa.gov/

تُظهر بيانات التساقط المطري اليومي في منطقة الدراسة خلال الفترة (1985–2024م) تباينًا كبيرًا في كميات الهطول المسجلة (من 0.43 مم إلى 26.95 مم)، بمتوسط سنوي قدره (7.34 مم)؛ مما يعكس طبيعة

المناخ الجاف وشبه الجاف السائد في المنطقة، والذي يتّسم بتقلبات كبيرة في معدلات الهطول، هذا التباين يُعزى إلى:

- تأثير الأنظمة الجبهية العابرة، خاصة خلال فصلي الخريف والربيع؛ حيث أظهر تحليل بيانات محطة الأرصاد في تبوك (1978–2013) أن أعلى كميات الأمطار في السنوات الرطبة تُسجل في نوفمبر، في حين تُسجل أعلى كميات السنوات المعتدلة في مارس، أما السنوات الجافة فتسودها درجات حرارة مرتفعة خلال يونيو ويوليو وأغسطس (Alsubeai & Burckhard, 2021).
- التأثير المشترك لمنخفض البحر الأحمر، الذي يجلب الهواء الحار والرطب من الجنوب، مع الرياح الغربية العلوية المارة فوق المملكة من أكتوبر إلى مايو، يؤدي إلى تكاثف السحب وهطول الأمطار في مناطق واسعة من المملكة (Govardhan et al., 2025).
- الأمطار الغزيرة النادرة (مثل 26.95 مم في 1986) تُحدث سيولًا مفاجئة (Flash Floods)، والتي تُسهم في نحت الأودية الجافة ونقل الرواسب.

جدول (10): عمق المطر للأزمنة التكرارية المختلفة بمنطقة الدراسة خلال الفترة من 1985– 2024م

التوزيع الإحصائي	2	5	10	25	50	100
GEV	8.1	14.2	18.6	24.1	28.4	32.7
Gumbel	6.2	11.2	14.5	18.7	21.8	24.9
Weibull	6.9	11.8	15.1	19.8	23.5	27.3
Normal	5.4	9.8	12.7	16.5	19.3	22.1
Log-Normal	6.9	12.1	16.3	21.4	24.9	28.5
Pearson Type3	7.1	12.6	16.8	21.9	25.7	29.8
Log-Pearson Type3	7.2	12.9	17.2	22.3	26.1	30.1
Exponential	5.8	10.6	14	18.5	21.9	25.4

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على التحليل الإحصائي عن طريق Hyfran

خلال فترة الرصد (1985–2024)، أظهرت جميع التوزيعات الإحصائية زيادة عمق المطر مع ازدياد فترة التكرار؛ حيث برز توزيع GEV بتقديمه أعلى تقديرات للأمطار القصوى لفترة 100 سنة (32.7 ملم)، يليه توزيع Log-Pearson Type 3 بقيمة 30.1 ملم؛ مما يشير إلى توقّع هذه التوزيعات لأحداث مطرية أكثر شدة مقارنة بالتوزيعات الأخرى. وفي المقابل سجل توزيع Normal أقل القيم لجميع فترات التكرار؛ حيث بلغت 22.1 ملم لفترة 100 سنة، و5.4 ملم لفترة سنتين.

كما يتضح أن الفروقات بين التوزيعات تزداد مع طول فترة التكرار؛ مما يعكس حساسية النماذج الإحصائية في تمثيل القيم المتطرفة، ويستدعي تقييم دقة كل نموذج قبل اعتماده في التنبؤات الهيدرولوجية.

– استخدام الذكاء الاصطناعي في الحد من أخطار السيول

الذكاء الاصطناعي (AI) هو عملية محاكاة لعقل الانسان، من خلال تعليم الآلات بعض القدرات المشابهة للبشر (Manning, 2020) .ويمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي أن تسهم في مواجهة تغيّر المناخ، من خلال قياس التأثيرات والأخطار الناتجة عن أحداث قاسية، مثل: الفيضانات، والجفاف، وموجات الحر، والرياح العاتية (Jones et al., 2023) .وتعتمد هذه التقنيات على تحليل كميات هائلة من البيانات؛ لاستخلاص الأنماط والعلاقات المكانية والزمانية؛ مما يساعد على التنبؤ بمناطق الخطورة أثناء الحدث، وتقييم الأضرار بعده. كما يمكن أن يستخدم في عمليات التنبؤ والتوقع في السيول، من خلال تحليل العواصف المطرية واستمراريتها وترددها مع حساب كمية المياه، وفي وادي المصير تم توظيف الذكاء الاصطناعي في حصاد مياه السيول، وبناء منظومة متكاملة لإدارتها بالتكامل مع النظام الهيدروجيومورفولوجي من خلال برامج GIS Pro و HyfranPlus.

– شبكة الإنذار المبكر

شبكة الإنذار المبكر للسيول نظام تقني وبيئي متكامل، يهدف إلى رصد وتتبع المؤشرات الهيدرولوجية والطقسية في الأودية الجافة، خصوصًا الروافد الفرعية، للتنبؤ المبكر بالسيول وإرسال إنذارات فورية للمناطق المهددة. ويهدف هذا النظام إلى خفض مستوى الخسائر البشرية والمادية الناتجة عن السيول المفاجئة، ولا سيّما في المناطق التي لا تشهد جريانًا مائيًا منتظمًا (أودية جافة)، لكنها معرضة لسيول فجائية عند هطول أمطار غزيرة.

هناك العديد من الدراسات التي تناولت موضوع الإنذار المبكر ولكن دراسة خضر وفؤاد (2023) كانت أقرب إلى الدراسة الحالية؛ ممثلة في المناطق الجافة وشبة الجافة، ولما فيه من تشابه جغرافي بين المنطقتين، حيث تناولا أحد الأودية على خليج السويس المطل على البحر الأحمر على الحدود المصرية؛ لذلك تم اتباع نفس طريقة نظام الإنذار المبكر.

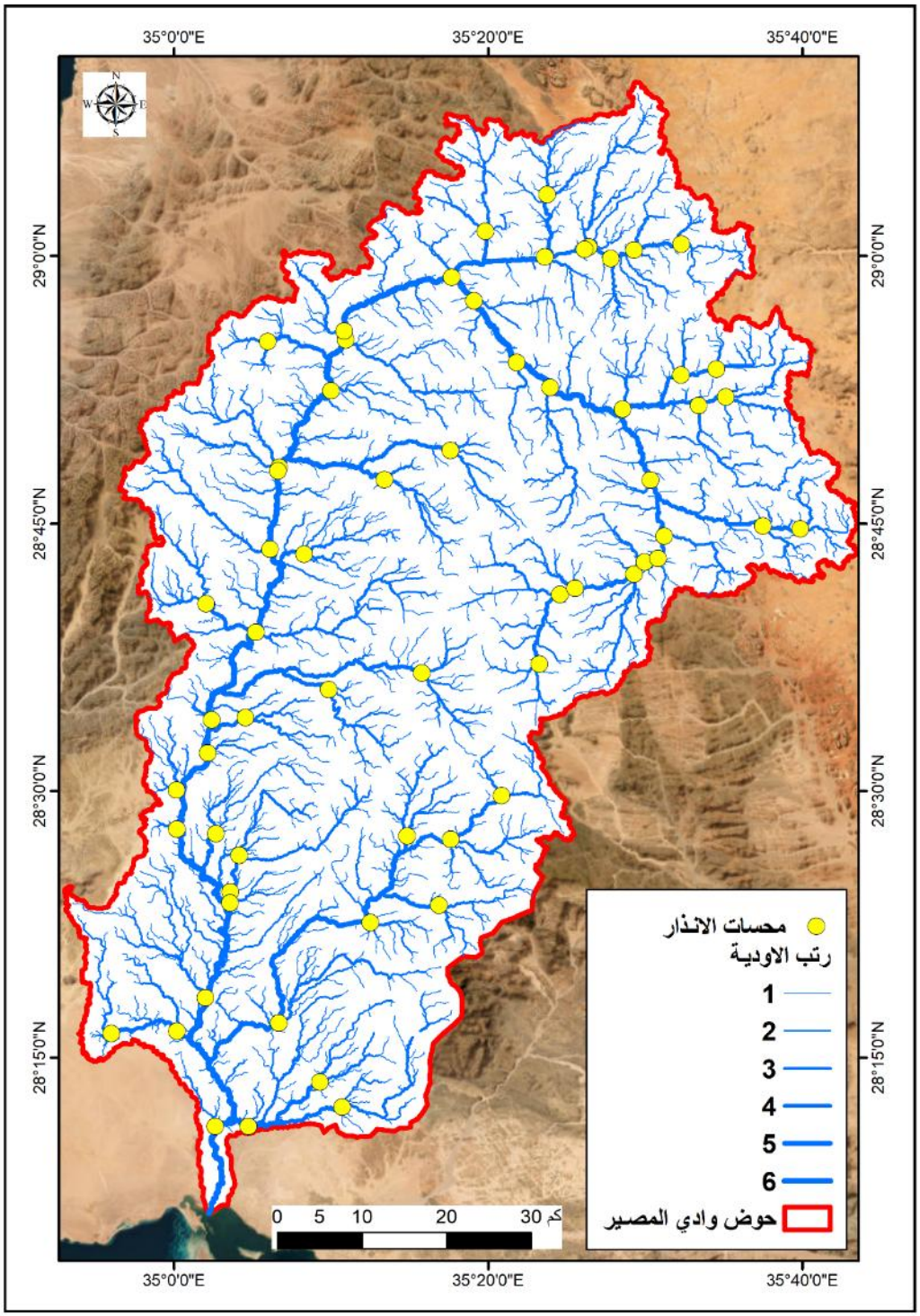
يعتمد نظام الإنذار المبكر المقترح على تكامل البيانات من مراكز الأرصاد الجوية والصور الفضائية مع قواعد بيانات مكانية سابقة، تشمل الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية للأودية، إضافة إلى بيانات المستشعرات الأرضية التي ترصد ارتفاع المياه وسرعة تدفقها أثناء السيول. تُحلل هذه البيانات في الزمن الحقيقي باستخدام أدوات متقدمة للنمذجة الجيوهيدرومورفومترية، وتُطبّق عليها خوارزميات ومعادلات

متخصصة، تُمكّن من التنبُّؤ بخصائص السيل، من حيث الحجم والسرعة ووقت وصوله إلى المصب، ومدى خطورته على المناطق المأهولة أو النشطة بشريًا.

أظهرت نتائج التحليل أن المواقع المثالية لتركيب مستشعرات الإنذار هي عند التقاء روافد الدرجة الثالثة بالوادي الرئيس، على أن تمتد تدريجيًا لتغطي التقاء الروافد الأعلى وصولًا إلى المصب. تُستخدم أجهزة لقياس ارتفاع المياه وسرعتها ضمن كل جزء من الحوض؛ مما يساعد على حساب كمية المياه المتجمعة عبر مساحة واسعة من الحوض بدقة. ثم تقدير الحجم الكلي للجريان وسرعته من خلال احتساب الوقت بين كل مستشعر وآخر، وهو ما يمكّن من تحديد وقت وصول السيول إلى مخارجها، وحجم المياه المحملة، مما يمنح فرق الطوارئ وقتًا كافيًا للتحرك. ويمكن تلخيص نظام الإنذار المبكر على النحو الآتي:

- توزيع المجسات في نقاط التقاء الروافد (الرتبة الثالثة وما فوق).
- تثبيت مستشعرات رأسية مزودة بألواح شمسية وأجهزة إرسال لاسلكية؛ لرصد ارتفاع المياه.
- ربط المجسات بغرفة التحكم المركزية في المدينة أو المحافظة عبر شبكة اتصال لاسلكية.
- إدخال البيانات إلى برامج تحليل ونمذجة جيوهيدرومورفومترية؛ لتقدير حجم السيول وسرعتها وزمن وصولها.
- إعداد خرائط تفاعلية لمسارات وحركة السيول وسرعتها.
- تنفيذ إجراءات احترازية كإغلاق الطرق وتحويل الحركة في مخارج الأودية.
- توجيه فرق الإنقاذ إلى المواقع التي يُتوقع تأثُّرها بالسيول.
- توجيه الأجهزة الأمنية المختصة كجهاز الأمن البيئي لمتابعة هذا النظام وحمايته من محاولات السرقة أو عبث السكان والحيوانات.

تم تحديد مواقع المجسات بناءً على تحليل احتمالية تجمّع المياه، وينصح بوضعها بعد نقطة التقاء الروافد بمسافة قصيرة لتجنُّب انجرافها مع السيل. كما يُفضل تثبيتها على جانبي مجرى السيل، وليس في قلب المجرى مباشرة؛ لحمايتها من الضرر الناتج عن قوة التدفُّق (الشكل 7).



شكل (7): المواقع المقترحة لشبكة الإنذار المبكر في منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 30*30 عام 2014م

النتائج والتوصيات:

يهتم هذا البحث بدراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي المصير في نيوم لإقامة مشاريع حصاد المياه، في ظل ندرة الموارد المائية وتذبذب الأمطار. وأظهرت التحليلات المورفومترية والهيدرولوجية أن الحوض يتمتّع بخصائص ملائمة لتجميع المياه رُغم تحدّيات الفواقد المائية، وسرعة الجريان في أثناء الأمطار الغزيرة. وبلغ متوسط الهطول السنوي للأيام القصوى (7.34 مم) خلال 1985–2024، مع أقصى قيمة (26.95 مم) في 1986؛ مما يوضح الطبيعة المتذبذبة للأمطار في المنطقة. ويحتوي الحوض على (6) رتب نهرية بإجمالي (1436) مجرى، وبطول إجمالي يبلغ (4938كم)، وكثافة تصريف (0.78)؛ مما يعكس قدرة متوسطة على تصريف المياه السطحية، وبلغ حجم التصريف (124.7 م^3/ث)، وصافي الجريان (7954.8 م^3)، مع زمن تركيز (9.37 ساعة) وسرعة جريان (7.1 كم/ساعة)؛ مما يشير إلى استجابة هيدرولوجية متوسطة وسرعة تدفق ملحوظة أثناء الأمطار الغزيرة. وبلغت جملة الفواقد (تبخر وتسرب 386.6 م^3)، وهي نسبة مؤثرة على حجم المياه المتاحة واختيار المواقع المثلى للحصاد، خصوصًا في البيئات الجافة وشبه الجافة. وأسفر التحليل المكاني عن تحديد مواقع مُثلى لإنشاء منشآت حصاد المياه، خصوصا عند مناطق التقاء الروافد ذات الرتبة الثالثة وما فوق بما يعزز من الأمن المائي المحلي. وصُمِّم نموذج مقترح يعتمد على توزيع المجسات في نقاط استراتيجية، وربطها بغرفة تحكم مركزية لتحليل البيانات آنيًا؛ مما يتيح التنبُّؤ بوقت وصول السيول وحجمها وسرعتها. وتوصي الدراسة بضرورة تبني خطط متكاملة لإدارة الموارد المائية، تشمل: إنشاء سدود صغيرة وحواجز ترابية في المواقع المثلى، وتفعيل أنظمة الإنذار المبكر بالتوازي مع برامج التوعية المجتمعية، بما ينسجم مع أهداف رؤية السعودية 2030 في تحقيق الاستدامة المائية وتقليل الأخطار الطبيعية، وتشجيع الدراسات المستقبلية لاختبار فعالية النماذج الهيدرولوجية والذكاء الاصطناعي في الأحواض المشابهة بالمناطق الجافة وشبة الجافة.

المراجع

أولًا: المراجع العربية

أبو العلا، محمد محمود. (2002). *مدخل إلى الجيومورفولوجيا التطبيقية*. مكتبة الأنجلو المصرية.

أبو العينين، حسن سيد أحمد. (1990). *حوض وادي دبا في دولة الإمارات العربية المتحدة (الجغرافية الطبيعية وأثرها في التنمية الزراعية)*. إدارة الأبحاث بجامعة الكويت.

البارودي، محمد سعيد. (2012). *تقدير أحجام السيول ومخاطرها عند المجرى الأدنى لحوض وادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية*. سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد: (48).

العوفي، عبد الله أحمد. (2014). *الطبيعة في منطقة تبوك: التنوع الأحيائي بالمنطقة الشمالية الغربية بالمملكة العربية السعودية*. جامعة تبوك https://www.slideshare.net/slideshow/ss-57591972/57591972#2

بوريه، محمد بن فضيل. (2007). *دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم السيول في حوض عتود بالمملكة العربية السعودية*. مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية.

حميد، دلي خلف. (2016). *التحميل المكاني لتقدير حجم الجريان السطحي باستخدام SCS-CN لحوض وادي المر الجنوبي – شمال العراق*. تكريت – العراق: قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة تكريت.

الخريجي، وفاء صالح علي. (2016). *أخطار الجريان السيلي على مدينة الرياض وطرق مواجهتها: دراسة في الجيومورفولوجية التطبيقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية*. رسائل جغرافية، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، العدد: (434).

خضر، محمود محمد محمد. (1997). *الأخطار الجيومورفولوجية الرئيسة في مصر مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل* (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة عين شمس.

خضر، محمود محمد، ومحمد، مروة فؤاد. (2023). التحليل والنمذجة الجيوهيدروكليمومورفومترية للسيول بوادي قصيب (الدوم) العين السخنة – باستخدام الاستشعار عن بُعد ونظم

المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي. *حولية كلية الآداب*، جامعة عين شمس، 51، 353-396.

محسوب، محمد صبري. (2001). *جيومورفولوجية الأشكال الأرضية*. دار الفكر العربي للطباعة والنشر.

الخفاجي، شذى سالم إبراهيم، والموسوي، حسين عذاب خليف. (2021). دراسة بعض الخصائص الهيدرولوجية لحوض وادي شوشين وتقدير حجم الناتج الرسوبي. *مجلة لارك للفلسفة واللسانيات والعلوم الاجتماعية*، *2*(41)، 1327-1343.

الدليمي، خلف حسين علي. (2012). *علم شكل الأرض التطبيقي: الجيومورفولوجيا التطبيقية*. دار صفاء للطباعة والنشر والتوزيع.

الزرفي، نادية قاسم محمد. (2021). *التقييم الهيدرولوجي لإمكانية حصاد مياه الأمطار في بادية المثنى (وادي الغضاري)* (رسالة ماجستير، جامعة المثنى).

سترهلير، آرثر آن. (1964). *أشكال سطح الأرض* (ترجمة: وفيق الخشاب وعبد الوهاب الدباغ). مطبعة دار الزمان.

سقا، عبد الحفيظ محمد سعيد. (2011). الخصائص المورفومترية لحوض تصريف وادي لبن، المملكة العربية السعودية. *مجلة جامعة الملك عبد العزيز*، *19*(1)، 31-68.

شرف، عبد العزيز طريح. (1986). *الجغرافيا الطبيعية: أشكال سطح الأرض*. مؤسسة الثقافة الجامعية.

الشرقاوي، محمد محمود. (2018). *تطبيق نموذج المنحنى المائي الأحادي في تقدير تدفق الذروة لسيول الأودية الداخلة على مدينة بريدة بمنطقة القصيم، المملكة العربية السعودية*. القصيم: الجمعية الجغرافية السعودية.

صبري، محمد عبد العزيز. (2006). *الجيولوجيا العامة*. مكتبة الأنجلو المصرية.

عبد اللطيف، حسام عبد الفتاح. (2015). *تحليل جيومورفولوجي لوادي العقيق بالمدينة المنورة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية* (رسالة ماجستير، جامعة طيبة).

العتابي، نادية حاتم طعمة. (2018). *الخصائص المناخية وأثرها في المخاطر الجيومورفولوجية شرقي محافظة ميسان* (أطروحة دكتوراه غير منشورة). جامعة واسط.

الفتلاوي، وفاء حميد حسن، والزاملي، عايد جاسم حسين. (2020). تحليل الخصائص الهيدرولوجية والعلاقات الارتباطية بين المتغيرات المورفومترية والهيدرولوجية في حوض وادي أبو خمسة غرب النجف باستخدام طريقة SCS-CN. *مجلة آداب الكوفة*، 42(1).

الفيتوري، علي محمد. (2014). تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في دراسة مورفومترية وهيدرولوجية لبعض وديان الهضبة الأولى بالجبل الأخضر – شمال شرق ليبيا. *المجلة الدولية للبيئة والمياه، 3*(4)، 70–84.

المشهداني، إسماعيل جمعة كريم. (2020). *التقييم النوعي والكمي للتعرية المائية لحوض وادي زراوة في السلماني* (رسالة ماجستير غير منشورة). الجامعة العراقية.

مؤسسة رعاية المياه. (2022). *استراتيجية المملكة الوطنية للمياه*. تم الاسترجاع في 1 أغسطس 2025، من: https://carewater.solutions/

الودعاني، إدريس علي سلمان. (2014). مخاطر السيول في منطقة جازان جنوب غربي المملكة العربية السعودية: منظور جيومورفولوجي. *مجلة جامعة جازان للعلوم الإنسانية، 3*(1)، 1—76.

وزارة البيئة والمياه والزراعة. (2030). *الكتاب الإحصائي*. المملكة العربية السعودية.

Abd al-Laṭīf, Ḥusām ʻAbd al-Fattāḥ. (2015). *taḥlīl jywmwrfwlwjy li-Wādī al-ʻaqīq bi-al-Madīnah al-Munawwarah bi-istikhdām naẓm al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah* (Risālat mājistīr, Jāmiʻat Ṭaybah).

Abū al-ʻAynayn, Ḥasan Sayyid Aḥmad. (1990). Ḥawḍ Wādī Dabā fī Dawlat al-Imārāt al-ʻArabīyah al-Muttaḥidah (al-jughrāfīyah al-ṭabīʻīyah wa-atharuhā fī al-tanmiyah al-zirāʻīyah). Idārat al-Abḥāth bi-Jāmiʻat al-Kuwayt.

Abū al-ʻUlā, Muḥammad Maḥmūd. (2002). *madkhal ilá al-jiyūmūrfūlūjiyā al-taṭbīqīyah.* Maktabat al-Anjlū al-Miṣrīyah.

al-ʻAwfī, Allāh Aḥmad. (2014). *al-ṭabīʻah fī minṭaqat Tabūk al-Tanawwuʻ al'ḥyā'y bi-al-minṭaqah al-Shamālīyah al-Gharbīyah bi-al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah.* Jāmiʻat Tabūk https : / / www. slideshare. net / slideshow / ss-57591972/57591972 # 2

al-Bārūdī, Muḥammad Saʻīd. (2012). taqdīr Aḥjām al-suyūl wa-makhāṭiruhā ʻinda almjrá al-Adná li-Ḥawḍ Wādī ʻrnh Janūb Sharq Madīnat Makkah al-Mukarramah bi-

istikhdām naẓm al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah. Silsilat Buḥūth jughrāfīyah, al-Jamʻīyah al-jughrāfīyah al-Miṣrīyah, al-ʻadad : (48.(

al-Dulaymī, Khalaf Ḥusayn ʻAlī. (2012). ʻilm shakl al-arḍ al-taṭbīqī : al-jiyūmūrfūlūjiyā al-taṭbīqīyah. Dār Ṣafāʼ lil-Ṭibāʻah wa-al-Nashr wa-al-Tawzīʻ.

al-Fatlāwī, Wafāʼ Ḥamīd Ḥasan Wālzāmly, ʻĀyid Jāsim Ḥusayn. (2020). taḥlīl al-Khaṣāʼiṣ alhydrwlwjyh wa-al-ʻalāqāt alārtbāṭyh bayna al-mutaghayyirāt almwrfwmtryh wālhydrwlwjyh fī Ḥawḍ Wādī Abū khamsat Gharb al-Najaf bi-istikhdām ṭarīqat SCS-CN. *Majallat ādāb al-Kūfah*, 42 (1).

al-Fītūrī, ʻAlī Muḥammad. (2014). taṭbīqāt naẓm al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah fī dirāsah mwrfwmtryh whydrwlwjyh li-baʻḍ Widyān al-haḍabah al-ūlá bāljbl al-Akhḍar – Shamāl Sharq Lībiyā. *al-Majallah al-Dawlīyah lil-Bīʼah wa-al-miyāh, 3* (4), 70-84.

al-ʻItābī, Nādiyah Ḥātim Ṭuʻmah. (2018). *al-Khaṣāʼiṣ al-muanākhīyah wa-atharuhā fī al-makhāṭir al-jiyūmūrfūlūjīyah Sharqī Muḥāfaẓat mysān* (uṭrūḥat duktūrāh ghayr manshūrah). Jāmiʻat Wāsiṭ.

al-Khafājī, Shadhá Sālim Ibrāhīm, wālmwswy, Ḥusayn ʻAdhāb Khulayyif. (2021). dirāsah baʻḍ al-Khaṣāʼiṣ alhydrwlwjyh li-Ḥawḍ Wādī shwshyn wa-taqdīr ḥajm al-nātij alrswby. *Majallat lārk lil-falsafah wa-al-lisānīyāt wa-al-ʻUlūm al-ijtimāʻīyah, 2* (41), 1327-1343.

al-Khurayjī, Wafāʼ Ṣāliḥ ʻAlī. (2016). akhṭār al-Jaryān al-Sīlī ʻalá Madīnat al-Riyāḍ waṭuruq muwājahatihā : dirāsah fī al-jiyūmūrfūlūjīyah al-taṭbīqīyah bi-istikhdām naẓm al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah. Rasāʼil jughrāfīyah, Qism al-jughrāfiyā, Jāmiʻat al-Kuwayt wa-al-Jamʻīyah al-jughrāfīyah al-Kuwaytīyah, al-ʻadad : (434.(

al-Mashhadānī, Ismāʻīl Jumʻah Karīm. (2020). *al-Taqyīm al-nawʻī wālkmy lltʻryh al-māʼīyah li-Ḥawḍ Wādī zrāwh fī al-Salmānī* (Risālat mājistīr ghayr manshūrah). al-Jāmiʻah al-ʻIrāqīyah.

al-Sharqāwī, Muḥammad Maḥmūd. (2018). taṭbīq namūdhaj al-munḥaná al-māʼī alʼḥādy fī taqdīr tdfq aldhrwh lsywl alʼwdyh al-Dākhlah ʻalá Madīnat Buraydah bi-Minṭaqat al-Qaṣīm, al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah. al-Qaṣīm : al-Jamʻīyah al-jughrāfīyah al-Saʻūdīyah.

al-Wadʻānī, Idrīs ʻAlī Salmān. (2014). Makhāṭir al-suyūl fī minṭaqat Jāzān Janūb Gharbī al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah : manẓūr jywmwrfwlwjy. *Majallat Jāmiʻat Jāzān lil-ʻUlūm al-Insānīyah, 3* (1), 1 – 76.

Alzrfy, Nādiyah Qāsim Muḥammad. (2021). *al-Taqyīm al-haydrūlūjī lʼmkānyh Ḥaṣād Miyāh al-Amṭār fī bādiyat al-Muthannā (Wādī alghḍāry)* (Risālat mājistīr, Jāmiʻat al-Muthannā).

ʻĀshūr, Maḥmūd Muḥammad. (1986). Ṭuruq al-Taḥlīl almwrfwmtryh li-shabakāt al-taṣrīf al-māʼī. *Majallat Kullīyat al-ʻUlūm al-Insānīyah wa-al-Ijtimāʻīyah*, Jāmiʻat Qaṭar, 9, 459-488.

Bwryh, Muḥammad ibn Faḍīl. (2007). dirāsah haydrūmūrfūmitrīyah li-taqdīr ḥajm al-suyūl fī Ḥawḍ ʻItwad bi-al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah. Markaz Dirāsāt al-Khalīj wa-al-Jazīrah al-ʻArabīyah.

Ḥamīd, Dillī Khalaf. (2016). altḥmyl al-makānī li-taqdīr ḥajm al-Jaryān alsṭḥy bi-istikhdām SCS-CN li-Ḥawḍ Wādī al-murr al-Janūbī – Shamāl al-ʻIrāq. Tikrīt – al-ʻIrāq : Qism al-jughrāfiyā, Kullīyat al-Tarbiyah lil-ʻUlūm al-Insānīyah, Jāmiʻat Tikrīt.

Khiḍr, Maḥmūd Muḥammad Muḥammad. (1997). al'khṭār al-jiyūmūrfūlūjīyah al-ra'īsah fī Miṣr maʻa al-tarkīz ʻalá al-suyūl fī baʻḍ manāṭiq Wādī al-Nīl (Risālat mājistīr ghayr manshūrah). Jāmiʻat ʻAyn Shams.

Khiḍr, Maḥmūd Muḥammad, wa-Muḥammad, Marwah Fu'ād. (2023). al-Taḥlīl wālnmdhjh aljywhydrwklymwmwrfwmtryh llsywl bi-Wādī qṣyb (aldwm) al-ʻAyn al-Sukhnah – bi-istikhdām al-Istishʻār ʻan buʻd wa-nuẓum al-maʻlūmāt al-jughrāfīyah wa-al-dhakā' alāṣṭnāʻy. Ḥawlīyat Kullīyat al-Ādāb, Jāmiʻat ʻAyn Shams, 51, 353-396.

Maḥsūb, Muḥammad Ṣabrī. (2001). *jiyūmūrfūlūjīyah al-ashkāl al-arḍīyah*. Dār al-Fikr al-ʻArabī lil-Ṭibāʻah wa-al-Nashr.

Maḥsūb, Muḥammad Ṣabrī. (2001). *jiyūmūrfūlūjīyah al-ashkāl al-arḍīyah*. Dār al-Fikr al-ʻArabī lil-Ṭibāʻah wa-al-Nashr.

Mu'assasat Riʻāyat al-miyāh. (2022). *istirātījīyah al-Mamlakah al-Waṭanīyah lil-Miyāh*. tamma alāstrjāʻ fī 1 Aghusṭus 2025, min : https://carewater.solutions/

Ṣabrī, Muḥammad ʻAbd al-ʻAzīz. (2006). *al-Jīyūlūjīyā al-ʻĀmmah*. Maktabat al-Anjlū al-Miṣrīyah.

Saqqā, ʻAbd al-Ḥafīẓ Muḥammad Saʻīd. (2011). al-Khaṣā'iṣ almwrfwmtryh li-Ḥawḍ taṣrīf Wādī Laban, al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah. *Majallat Jāmiʻat al-Malik ʻAbd al-ʻAzīz*, *19*(1), 31-68.

Sharaf, ʻAbd al-ʻAzīz ṭryḥ. (1986). a*l-jughrāfiyā al-ṭabīʻīyah : Ashkāl saṭḥ al-arḍ*. Mu'assasat al-Thaqāfah al-Jāmiʻīyah.

Sharīf, Āzād Jalāl. (2000). haydrūmūrfūmitrīyah Ḥawḍ Nahr al-Khābūr. *Majallat al-Jamʻīyah al-jughrāfīyah al-ʻIrāqīyah*, 34.

Strhlyr, Arthur Ān. (1964). *Ashkāl saṭḥ al-arḍ (tarjamat : Wafīq al-Khashshāb wa-ʻAbd al-Wahhāb al-Dabbāgh)*. Maṭbaʻat Dār al-Zamān.

Wizārat al-bī'ah wa-al-miyāh wa-al-zirāʻah. (2030). *al-Kitāb al-iḥṣā'ī*. al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

Abd-Elaty, I., Kuriqi, A., Ahmed, A., & Ramadan, E. M. (2024). Enhanced groundwater availability through rainwater harvesting and managed aquifer recharge in arid regions. *Applied Water Science, 14*, 121. https://doi.org/10.1007/s13201-024-02166-7

Alataway, A., & El Alfy, M. (2018). Rainwater harvesting and artificial groundwater recharge in arid areas: Case study in Wadi Al-Alb, Saudi Arabia. *Journal of Water Resources Planning and Management, 145*(1), 04018084. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001009

Alsubeai, A., & Burckhard, S. R. (2021). Interannual climate variability in Tabuk, Saudi Arabia: Impacts on annual and seasonal precipitation. *Atmospheric and Climate Sciences, 11*(4), 645–657. https://doi.org/10.4236/acs.2021.114038

Alzghoul, M., & Al-Husban, Y. (2021). Rainwater harvesting and storage in Asir, Kingdom of Saudi Arabia, using spatial modeling and geographic information systems. *Desalination and Water Treatment, 233*, 19–29. https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27531

Amin, M. T., Alazba, A. A., & Manzoor, M. (2013). Soft path water management in dry and arid regions of the Arabian Peninsula by rainwater harvesting. *American Journal of Environmental Sciences, 9*(2), 156–163. https://thescipub.com/pdf/ajessp.2013.156.163.pdf

Bhuiyan, M. A. H., et al. (2022). Machine learning and remote sensing for disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Science, 13*(1), 1–15. https://doi.org/10.1007/s13753-022-00406-7

Chow, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill.

Cools, J., Vanderkimpen, P., El Afandi, G., Abdelkhalek, A., Fockedey, S., El Sammy, M., Abdallah, G., El Bihery, M., Bauwens, W., & Huygens, M. (2012). An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 12*(2), 443–457. https://doi.org/10.5194/nhess-12-443-2012

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Saudi Arabia: AQUASTAT country fact sheet*. FAO – AQUASTAT. https://storage.googleapis.com/fao-aquastat.appspot.com/countries_regions/factsheets/summary_statistics/en/SAU-CF.pdf

Garba, H., & Abubakar, Z. (2023). Effect of slope and runoff trends on the hydrological response of River Kaduna. *ABUAD Journal of Engineering Research and Development, 6*(2), 183–191. https://doi.org/10.53982/ajerd.2023.0602.18-j

Govardhan, D., Pathak, R., Ashok, K., Asiri, M. I., Zamreeq, A., & Hoteit, I. (2025). Midlatitude circulations linked to seasonal extreme precipitation and extreme temperature events in the Arabian Peninsula. *Climate Dynamics, 63*, 117–140. https://doi.org/10.1007/s00382-025-07592-0

Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage basin: Form and process – A geomorphological approach*. Edward Arnold.

Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union, 13*(1), 350–361. https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin, 56*(3), 275–370. https://doi.org/10.1130/GSAB-56-275

Jones, A., et al. (2023). AI for climate impacts: Applications in flood risk. *npj Climate and Atmospheric Science, 6*, 63. https://doi.org/10.1038/s41612-023-00388-1

Mahmoud, S. H. (2015). Monitoring prospective sites for rainwater harvesting and stormwater management in the United Kingdom using a GIS-based decision support system. *Verlag Berlin Heidelberg*.

Mahmoud, S. H., & Alazba, A. A. (2014). The potential of in situ rainwater harvesting in arid regions: Developing a methodology to identify suitable areas using GIS-based decision support system. *Arabian Journal of Geosciences, 7*, 567–580. https://doi.org/10.1007/s12517-013-0895-5

Manning, C. (2020, September). Artificial intelligence definitions. *Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence*. https://hai.stanford.edu/sites/default/files/2020-09/AI-Definitions-HAI.pdf

Rao, N., Latha, S., Kumar, A., & Krishna, H. (2010). Morphometric analysis of Gostani River Basin in Andhra Pradesh State, India using spatial information technology. *International Journal of Geomatics and Geosciences, 1*(2), 147–159.

Revuelta-Acosta, J. D., Garrido-Meléndez, J., Conde-Gutiérrez, R. A., & Alcalá-Perea, G. (2025). Comprehensive geospatial assessment: Morphometric parameters and hydrological implications in five Mexican basins. *Scientific Reports, 15*, 21698. https://doi.org/10.1038/s41598-025-05194-8

Saboory, M. (2014). Application of GIS for selection of suitable water harvesting project sites - A case study on Khulm watershed of Afghanistan. In *Annual Congress of JRCSA*, Fukui, Japan.

Saudi Water Partnership Company. (2024). *7-year statement 2024–2030*. SWPC. https://www.swpc.sa/wp-content/uploads/2024/09/SWPC_7-Years-Statement-2024_2030.pdf

Schumm, S. A. (1956). The evaluation of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin, 67*(5), 597–646. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:TEODSA]2.0.CO;2

Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science, 248*(9), 655–668. https://doi.org/10.2475/ajs.248.9.655

Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin, 63*(11), 1117–1142. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2

Strahler, A. N. (1954). Quantitative geomorphology of erosional landscapes. In *Proceedings of the 19th International Geological Congress* (Vol. 15, pp. 69–76). Algiers.

Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union, 38*(6), 913–920. https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913

Strahler, A. N. (1958). Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. *Bulletin of the Geological Society of America, 69*(3), 279–300. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1958)69[279:DAATFE]2.0.CO;2

Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V. T. Chow (Ed.), *Handbook of applied hydrology* (pp. 4-II-39 to 4-II-76). McGraw-Hill.

U.S. Department of Agriculture. (1997). *Soil Conservation Service (USDA SCS), National Engineering Handbook, Section 4*. Washington, DC: USDA.

Waikar, M. L., & Nilawar, A. P. (2014). Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: Case study. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research, 2*, 179–184. ISSN: 2321-3124.

Waltz, J. P. (1973). *Ground water*. In Introduction to physical hydrology (pp. 50–80). Methuen.

Willson, E. M. (1980). *Engineering hydrology*. ELBS and Macmillan.

World Bank. (2025, September 14). *Renewable internal freshwater resources per capita (ER.H2O.INTR.PC)* [Data set]. World Development Indicators (WDI). https://databank.worldbank.org/reports.aspx?country=WLD&series=ER.H2O.INTR.PC&source=2

Yang, J., El-Kassaby, Y. A., & Guan, W. (2020). The effect of slope aspect on vegetation attributes in a mountainous dry valley, Southwest China. *Scientific Reports, 10*, 16465. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73496-0

Pareta, K., & Pareta, U. (2012). Quantitative geomorphological analysis of a watershed of Ravi River Basin, H.P. India. *International Journal of Remote Sensing and GIS, 1*(1), 41–56. https://prod-qt-ges.s3.amazonaws.com/indiawaterportal/import/sites/default/files/iwp2/ quantitative_geomorphological_analysis_of_a_watershed_of_ravi_river_basin_himachal_pradesh_india_international_journal_of_remote_sensing_and_gis_2012.pdf