

Arabian Gulf Journal of Humanities and Social Studies

ISSN: 3080-4086

الإصدار الخامس - العدد الخامس عشر || تاريخ الإصدار 2026-06-20



الاثر البيئي لوداي فاطمة بمنطقة مكة المكرمة (دراسة تحليلية هيدرولوجية)

Environmental Impact of Wadi Fatimah in the Makkah Region: A Hydrological Analytical Study

ماجد حامد اللحياني³

Majed Hamed Al-Lahyani

هيدرولوجي هيئة المساحة الجيولوجية
السعودية

أ.د. أحمد بن محمد البسام²

Prof. Ahmad Mohammd Albassam

استاذ جغرافية السكان قسم الجغرافيا، كلية اللغات
والعلوم الإنسانية، جامعة القصيم، المملكة العربية
السعودية.

محمد إبراهيم الزهراني¹

Mohammed I. Alzahrani

طالب دكتوراه جامعة القصيم

DOI: <https://doi.org/10.64355/agjhss5152>

مجلة خليج العرب للدراسات الإنسانية والاجتماعية || هذه المقالة مفتوحة المصدر موزعة بموجب شروط وأحكام ترخيص مؤسسة المشاع الإبداعي (CC BY-NC-SA)

Clarivate | ProQuest

Ulrichsweb™



ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE



Google Scholar

معرفة
e-Marefa



شبكة المعلومات العربية التربوية
Arab Educational Information Network

AskZad

ORCID
Connecting Research
and Researchers

INTERNATIONAL
Scientific Indexing

CC creative
commons

المخلص:

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة الاثر البيئي لحوض وادي فاطمة الواقع شمال مكة المكرمة وتحليل الخصائص تحليل الخصائص الهيدرولوجية والمورفومترية لحوض وادي فاطمة الواقع شمال مكة المكرمة، والذي يُعد من أكبر أحواض منطقة الحجاز وأكثرها تأثيراً في تغذية الخزان الجوفي ونقل مياه السيول باتجاه الساحل الغربي. وقد اعتمدت الدراسة على دمج بيانات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مع نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بدقة 90م، إلى جانب الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية، وسجلات المناخ (الأمطار، الحرارة، التبخر)، بالإضافة إلى المرئيات الفضائية، بهدف بناء تصور متكامل لخصائص الحوض وسلوكه الهيدرولوجي.

أظهرت النتائج أن الحوض يتسم باتساع مساحته (5492.55 كم²) وطابعه الممدود، حيث تميل معظم الأحواض الفرعية إلى انخفاض معامل الاستدارة، وهو ما يرتبط عادةً بضعف تركّز الجريان وتباين استجابته زمنياً. كما تشير المعطيات إلى أن التركيب الصخري—وخاصة الصخور النارية والمتحولة والرواسب الفتاتية عالية النفاذية—يلعب دوراً واضحاً في التحكم بحركة المياه داخل الحوض، مع اتجاه عام للانحدار نحو الغرب باتجاه البحر الأحمر.

وفيما يتعلق بالظروف المناخية، بين تحليل بيانات الأمطار تسجيل أحداث مطرية شديدة في بعض الحالات تجاوزت 150–170 مم/يوم، وهي قيم كفيلاً بإحداث سيول فجائية، خصوصاً في المناطق الجبلية العليا، وكذلك في النطاقات العمرانية المتسارعة حول جدة حيث تسود الأسطح غير المنفذة. ومن ناحية أخرى، أوضح تحليل الهيدروغراف أن بعض الأحواض الفرعية الأكبر—مثل وادي السيل الكبير وحوارة—تُظهر قيماً مرتفعة للتصريف الذروي، ما يعكس ارتفاع مستوى الخطورة المرتبط بالفيضانات في تلك المناطق.

كما تشير النتائج إلى أن الحوض يمر بمراحل جيومورفولوجية تتراوح بين النضج المبكر والمتأخر، مع تأثير ملحوظ للتراكم الجيولوجية (كالصدوع والفوالق) في توجيه شبكة التصريف وتحديد مناطق التغذية الجوفية. وبناءً على ذلك، تؤكد الدراسة أهمية تبني نهج متكامل لإدارة الحوض، يربط بين التحليل الهيدرولوجي والتخطيط العمراني، مع الاستفادة من تقنيات GIS في إنتاج خرائط دقيقة لمخاطر السيول، بما يدعم اتخاذ القرار ويتمشى مع مستهدفات رؤية المملكة 2030 في مجال الاستدامة البيئية وإدارة الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: التحليل المورفومتري؛ الخصائص الهيدرولوجية؛ وادي فاطمة؛ نظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ السيول الفجائية؛ التغذية الجوفية.

Abstract:

This study aims to investigate the environmental impacts within Wadi Fatimah basin, located Northern Mecca, and to analyze its hydrological and morphometric characteristics. The basin is considered one of the largest in the Hijaz region and plays a significant role in groundwater recharge and in conveying floodwater toward the western Red Sea. The study adopts an integrated approach combining Geographic Information Systems (GIS) with a Digital Elevation Model (DEM) of 90 m resolution, alongside geological and topographic maps, climate records (rainfall, temperature, evaporation), and satellite imagery to develop a comprehensive understanding of basin characteristics and hydrological behavior.

The results indicate that the basin is characterized by its large area (5,492.55 km²) and elongated shape, with most sub-basins exhibiting low circularity ratios, typically associated with reduced flow concentration and temporal variability in hydrological response. Lithological composition, particularly igneous and metamorphic rocks, as well as highly permeable sedimentary deposits—plays a significant role in controlling water movement within the basin, with a general slope trending westward toward the Red Sea.

Regarding climatic conditions, rainfall analysis reveals the occurrence of intense precipitation events exceeding 150–170 mm/day in some cases, sufficient to generate flash floods, particularly in the upper mountainous Jeddah, where rapid urban expansion has led to the dominance of impervious surfaces. Furthermore, hydrograph analysis shows that larger sub-basins—such as Al-Sail Al-Kabeer and Hurra—exhibit high peak discharge values, reflecting elevated flood risk levels in these areas.

The findings also indicate that the basin is undergoing geomorphological stages ranging from early to late maturity, with structural controls (e.g., faults and fractures) significantly influencing drainage patterns and groundwater recharge zones. Accordingly, the study highlights the importance of adopting an integrated basin management approach that links hydrological analysis with urban planning, while utilizing GIS technologies to produce accurate flood hazard maps. Such efforts support informed decision-making and align with the sustainability objectives of Saudi Vision 2030 in environmental management and water resource governance.

Keywords: Morphometric analysis; Hydrological characteristics; Wadi Fatimah; Geographic Information Systems (GIS); Flash floods; Groundwater recharge.

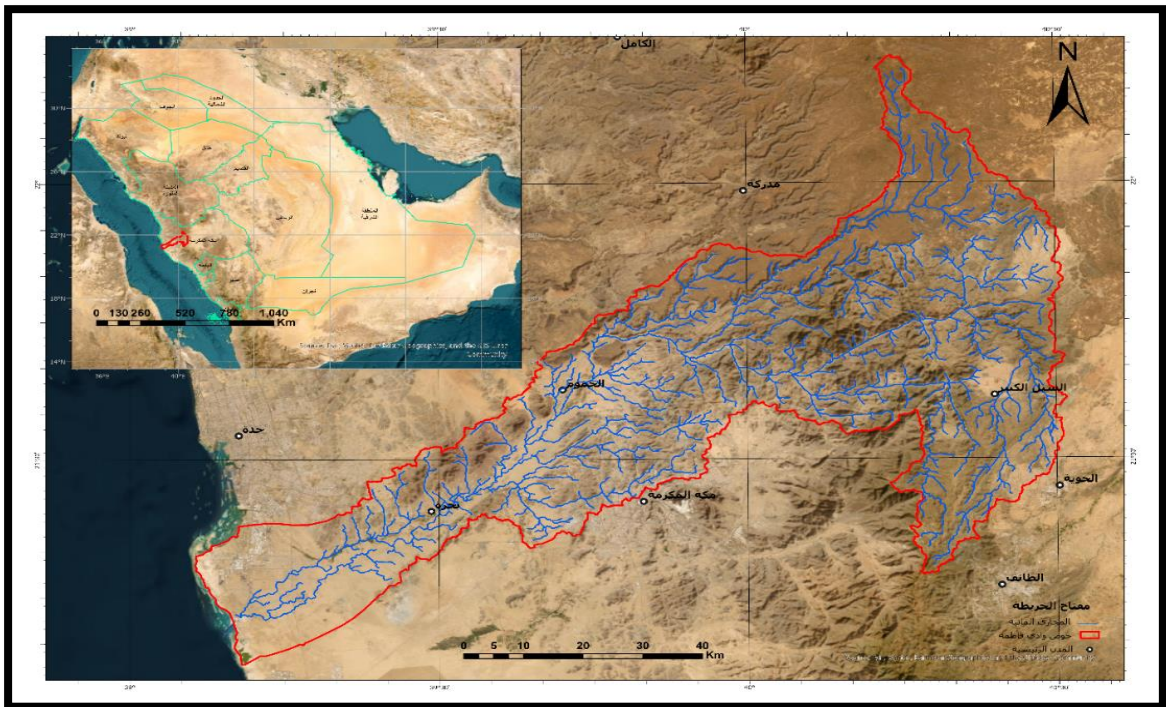
المقدمة

تمثل دراسة الخصائص الطبيعية لأي منطقة أساسًا لفهم العمليات الجيومورفولوجية، حيث تحدد العوامل الطبيعية كالتضاريس والتركيب الجيولوجي والمناخ والتربة والغطاء النباتي طبيعة النحت والتشكيل على سطح الأرض. وتسهم هذه العوامل مجتمعة في تفسير تطور الأشكال الأرضية، من خلال تفاعل قوى التجوية والتعرية، التي تختلف شدتها تبعًا لخصائص الصخور والحركات التكتونية التي تؤثر في بنيتها وتزيد من قابليتها للتشكيل (الحربي، 2007).

كما تلعب أحواض التصريف المائي دورًا مهمًا بوصفها نظامًا بيئيًا متكاملًا، تعكس التفاعل بين العوامل الطبيعية المختلفة، وتؤثر في الجريان المائي والإنتاج الرسوبي. وتعد هذه الأحواض ذات أهمية بيئية واقتصادية، لما تحتويه من موارد مائية وتربة وغطاء نباتي، إضافة إلى ارتباطها بمخاطر طبيعية مثل الانجراف والانسيابات الأرضية (الزريقات، 2004م). لذلك تحظى بدراسة واسعة في مجالات الهيدرولوجيا والجغرافيا لما لها من تأثير مباشر على الإنسان والبيئة.

ويقع وادي فاطمة (مرّ الظهران تاريخيًا) في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية ضمن منطقة مكة المكرمة، ويمتد بمحور عام شرقي-غربي من مرتفعات السروات قرب محافظة الطائف باتجاه سهل تهامة الساحلي، عابرًا نطاقات إدارية تشمل محافظات الطائف ومكة والجموم وجدة، ثم ينتهي إلى السهل الساحلي للبحر الأحمر حيث يكون مصب الوادي قرب ضاحية الخُمرة جنوب جدة كما في الشكل (1).

شكل (1) موقع وادي فاطمة



المصدر: عمل الباحثين استناداً إلى صور الاقمار الاصطناعية، ونموذج الارتفاعات الرقمية DEM

• 1.2 طبوغرافية وادي فاطمة:

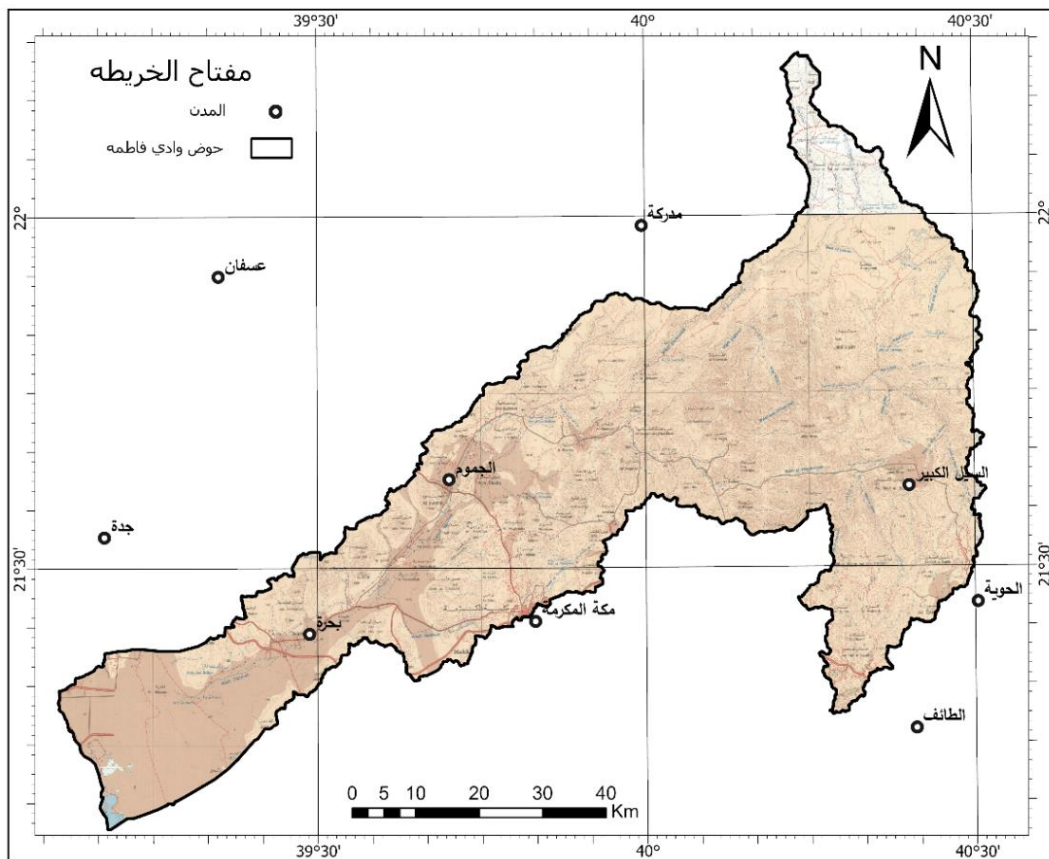
يوجد فرق ارتفاع يزيد على 1500 م على طول المجرى الرئيس لوادي فاطمة، حيث تُجمَع الفروع العليا مثل وادي الشامية واليمانية مياه الأمطار من منطقة السيل الكبير، ثم تلتقي لتشكّل الجزء الأوسط (وادي بني عمير) الذي ينضم إليه وادي حوارة قبل موقع السد.

يتميّز سطح المنطقة بصخور في التلال ورواسب رملية في المنخفضات، مع غطاء نباتي محدود، وقد تراجت الواحات والزراعة نتيجة السحب الجائر للمياه الجوفية من آبار يتراوح عمقها بين 40-80 م.

تبلغ مساحة الحوض نحو 5492.55 كم²، ويمتد شرق-غرب، وتعمل الأحاديد العميقة كقنوات لتجميع السيول القادمة من المرتفعات التي تتجاوز 2000 م. وتتحكم الخصائص السطحية والجيولوجية في توزيع مياه الأمطار وتغذية المياه الجوفية، مع تأثير واضح للتراكيب الجيولوجية وتدفقات حرة رهاط.

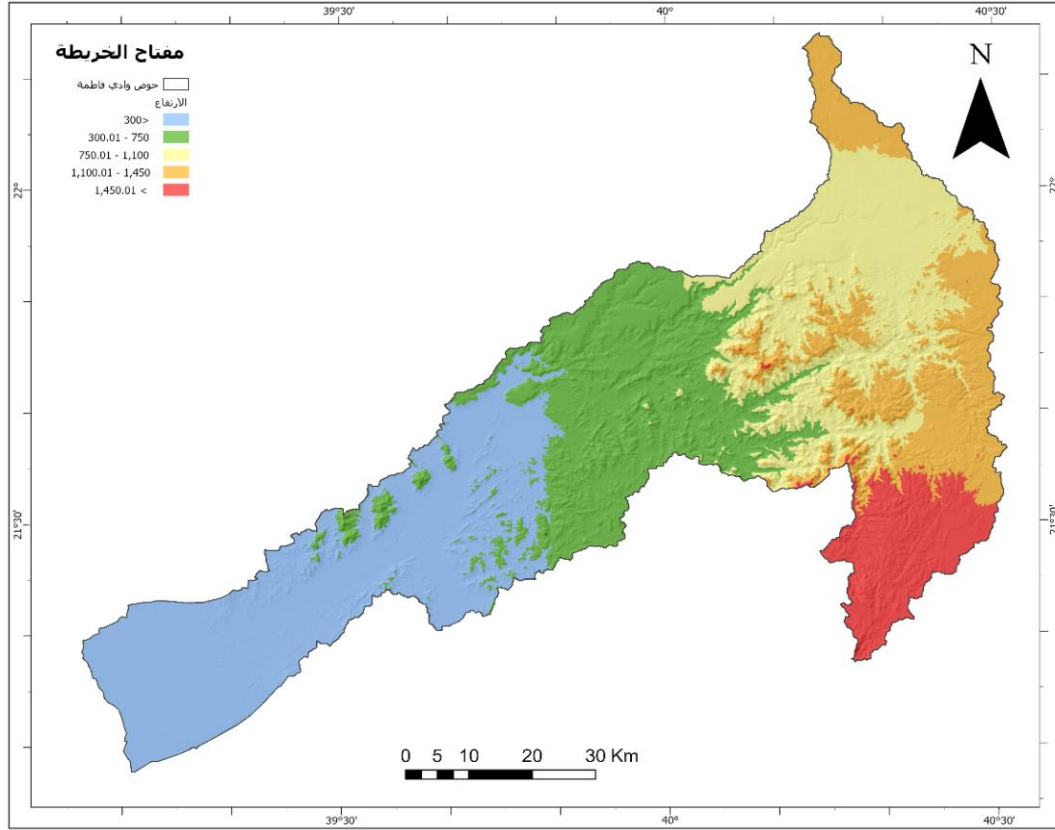
ويمكن تقسيم الحوض إلى ثلاث نطاقات ارتفاعية: أقل من 100 م (ساحلي)، 100-600 م (أوسط)، وأكثر من 600 م (مرتفعات الحجاز)، حيث تكون الرواسب خشنة وقليلة السمك في المرتفعات، وتزداد سماكتها ودقة حبيباتها باتجاه المناطق المنخفضة كما في الشكل (2و3).

شكل (2) طبوغرافية لمنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين استناداً إلى الخرائط الطبوغرافية (1:250.000) المساحة العامة (1982م).

شكل (3) الارتفاعات لمنطقة الدراسة

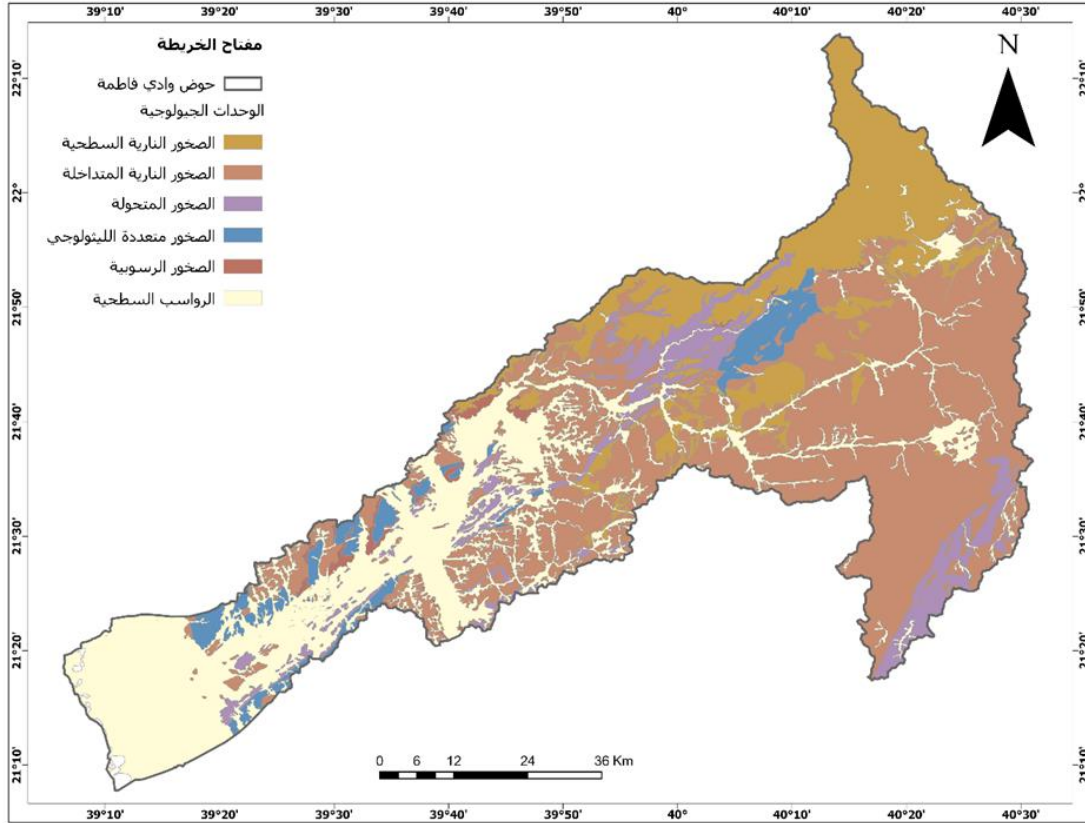


المصدر: عمل الباحثين استنادا الى DEM وبرنامج ARCGIS PRO

• 2.5 جيولوجية وادي فاطمة:

يقع وادي فاطمة ضمن مربع مكة وجزء من مربع ينبع على الركن الغربي المتصدع من الدرع العربي، وتغلب عليه صخور ما قبل الكامبري المتأخرة، حيث تشكل الصخور البلوتونية نحو 90% مقابل 10% للصخور الطبقية. تنتشر الشعاب المرجانية والرواسب الساحلية الرباعية على امتداد الساحل قرب جدة، بينما تغطي الرمال الهوائية أجزاءً من السهل الساحلي الجنوبي حتى مصب الوادي في البحر الأحمر. كما تمتلئ مجاري الوادي وفروعه برواسب رباعية واسعة الامتداد تتكون من الحصى والرمل والطين، وتعد من أهم خزانات المياه الجوفية لارتفاع مساميتها. ويصل سمك هذه الرواسب في بعض المواقع إلى أكثر من 30 متراً، وتغطيها أحياناً الرمال الهوائية والمدرجات الفيضية التي تمثل بقايا لفترات رطبة قديمة. شكل (4)

الشكل (4) الجيولوجية لمنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين استنادًا إلى برمجية ArcGIS Pro، خريطة جيولوجية رقم (GM-107-93-84 1989,et.al Al-Rehaili) هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

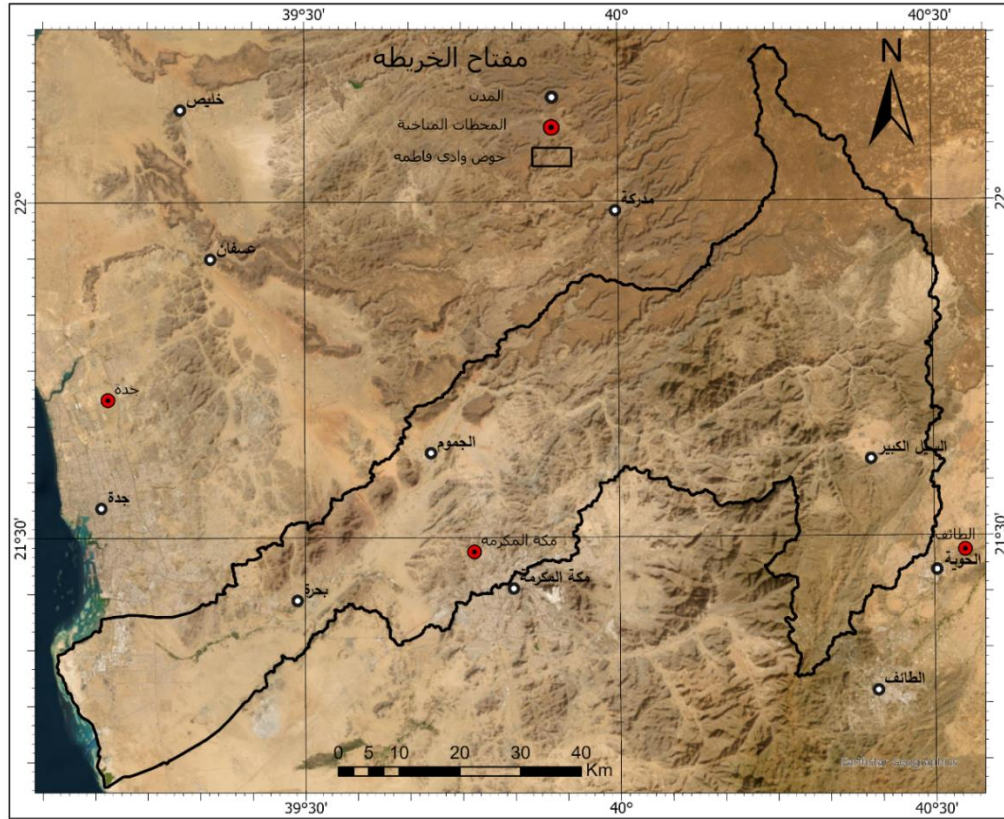
تُعد مجموعة فاطمة من أحدث الصخور الطبقية لما قبل الكامبري، وتضم تكوينات جيولوجية متنوعة من الصخور البركانية والمتحولة التي تعرضت لاختراقات نارية متعددة، مع تأثير واضح للصدوع والفوالق في توجيه مجاري وادي فاطمة وروافده. كما تغطي الحوض رواسب رباعية حديثة تشمل الرواسب الفيضية والرمال الهوائية، مما يعكس تنوع البيئة الجيولوجية والهيدرولوجية. ويُعد المناخ من أهم العوامل المؤثرة في تشكيل السطح والعمليات الجيومورفولوجية، إذ يتأثر الحوض شتاءً بمنخفضات البحر المتوسط والضغط السيبيري المسببة للأمطار، بينما يتأثر صيفاً بمنخفض الهند الموسمي والرياح الرطبة. واعتمدت الدراسة على بيانات محطات مناخية لتحليل عناصر المناخ المختلفة كالحرارة والأمطار والرطوبة والرياح والتبخّر.

جدول رقم (1) أهم المحطات ومواقعها

اسم المحطة	دائرة العرض	خط الطول
جدة	21:42:37	39:11:12
مكة	21:26:16	39:46:08
الطائف	21:28:44	40:32:56

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة

شكل (5) مواقع المحطات المناخية في منطقة الدراسة



المصدر: معلومات هيئة الأرصاد وحماية البيئة لعام 2023م

1.6.1 الحرارة

تعد درجات الحرارة من أبرز العوامل المناخية المؤثرة في عمليات التجوية، ولا سيما التجوية الميكانيكية؛ إذ يؤدي التباين الحراري بين الليل والنهار وبين الفصول إلى تمدد الصخور وانكماشها بصورة متكررة، مما يضعف بنيتها ويؤدي إلى تشققها وتفتتها. وتظهر أهمية هذا العامل في منطقة الدراسة نتيجة التفاوت الواضح في الارتفاع بين الأجزاء الشرقية المرتفعة والأجزاء الغربية المنخفضة من الحوض.

جدول رقم (2) اختلافات في معدلات درجات الحرارة العظمى والدنيا بمناطق مكة المكرمة وجدة والطائف

المحطة	العظمى (م°)	الدنيا (م°)	المدى الحراري/المطلق (م°)	المعدل العام (م°)	المدى المحسوب	فرق المدى (الوارد - المحسوب) (م°)
الطائف	22.9	13.7	16	29.7	9.2	6.8
مكة	31.5	13.4	24.8	38.2	18.1	6.7
جدة	28.6	11.6	22.8	34.4	17	5.8
المعدل العام	27.67	12.90	21.20	34.10	14.77	6.43

المصدر: التحليل من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة لعام 2023م

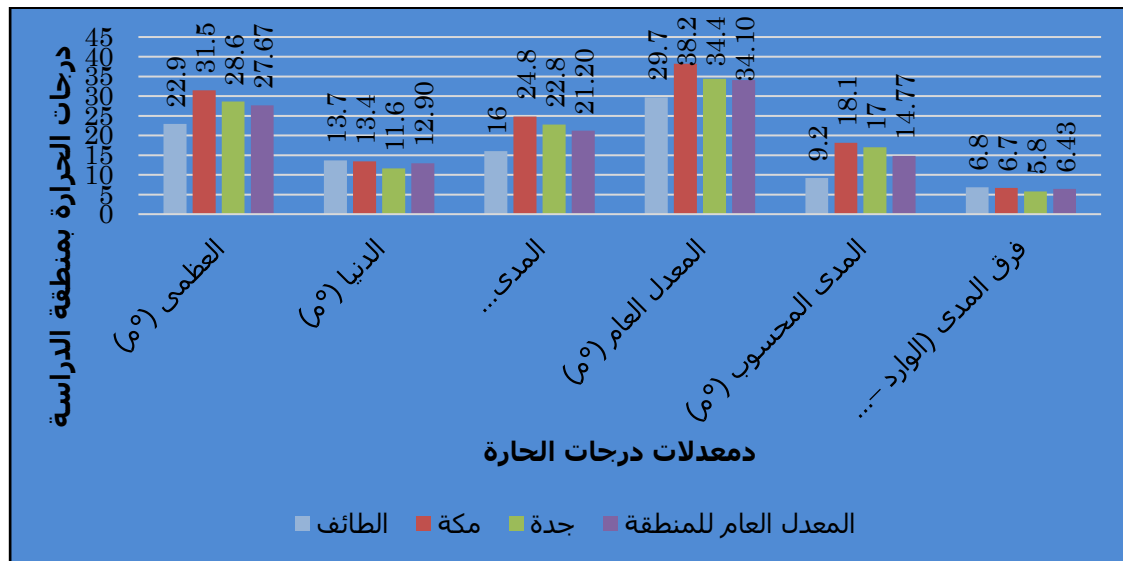
المعدل السنوي لدرجة الحرارة في منطقة الدراسة ومحيطها:

تتباين درجات الحرارة في منطقة الدراسة تبعًا لاختلاف الارتفاع، حيث تسجل المرتفعات الشرقية (أكثر من 2000م) درجات أقل مقارنة بالمناطق الغربية المنخفضة. وبلغ المتوسط السنوي العام نحو 27.67°م، بمتوسط عظمى 34.10°م وصغرى 12.90°م، ومدى حراري 14.77°م، مع فروق واضحة بين الطائف ومكة وجدة.

التحليل العلمي للعلاقة بين الارتفاع والمدى الحراري:

توجد علاقة عكسية بين الارتفاع ودرجة الحرارة؛ إذ تنخفض الحرارة في المرتفعات ويزداد المدى الحراري، بينما يعتدل في المناطق الساحلية. ويسهم هذا التباين في تعزيز التجوية الميكانيكية وتشكيل المظاهر الجيومورفولوجية.

شكل (6) المعدل السنوي لدرجات الحرارة العظمى والدنيا والمدى الحراري



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

1.6.2 الرياح

تُعرّف الرياح بأنها حركة الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى المنخفض، وتؤدي دورًا مهمًا في تنظيم المناخ والعمليات الجيومورفولوجية، خاصة في البيئات الجافة عبر نقل الرمال ونحت الصخور. وتوضح بيانات المحطات سيادة الرياح الغربية في الطائف، مقابل سيادة الرياح الشمالية في مكة المكرمة وجدة.

الجدول (3) النسب المئوية لاتجاهات الرياح السنوية في محطات منطقة الدراسة ومحيطها

المحطة	شمال	شمال شرقي	شرق	جنوب شرقي	جنوب	جنوب غربي	غرب	شمال غربي	المجموع
الطائف	4.6	69.8	5.2	7.9	2	8.5	0.6	1.4	100
مكة	4.1	0	9.5	27.4	0	0	0	59	100
جدة	23.6	16.3	0.6	0	0	0	0	59.5	100
المتوسط	10.7	28.7	5.1	11.8	0.7	2.8	0.2	40	100

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

اتجاهات الرياح في منطقة الدراسة

تشير بيانات محطات الدراسة إلى تباين اتجاهات الرياح السنوية؛ إذ تسود الرياح الغربية في محطة الطائف بنسبة 69.8٪، بينما تسود الرياح الشمالية في محطتي مكة المكرمة وجدة بنسبة 59.0٪ و59.5٪. ويرتبط هذا التباين بالعوامل الجغرافية والمناخية، خاصة اختلاف الارتفاعات عن مستوى سطح البحر وتأثير الموقع الساحلي لمحطة جدة.

الجدول (4) التوزيع الفصلي لاتجاهات الرياح في نفس المحطات

المحطة	الفصل	شمال	شمال شرقي	شرق	جنوب شرقي	جنوب	جنوب غربي	غرب	شمال غربي	المجموع
الطائف	الشتاء	3.2	54.8	9.5	16.7	0.8	13.5	0.8	0.8	100
الطائف	الربيع	2.4	76.2	6.4	8.7	0	2.4	0	4	100
الطائف	الصيف	8.7	88.1	0.8	1.6	0	0	0	0.8	100
الطائف	الخريف	4	60.3	4	4.8	7.1	18.3	1.6	0	100
مكة	الشتاء	2.4	0	9.5	26.2	0	0	0	61.9	100
مكة	الربيع	3.2	0	4.8	33.3	0	0	0	58.7	100
مكة	الصيف	10.7	0	1.2	4.8	0	0	0	83.4	100
مكة	الخريف	0	0	22.6	45.2	0	0	0	32.1	100
جدة	الشتاء	7.1	1.6	0	0	0	0	0	91.3	100
جدة	الربيع	29.8	11.5	0	0	0	0	0	58.7	100
جدة	الصيف	42.9	19.1	0	0	0	0	0	38.1	100
جدة	الخريف	14.6	33.1	2.4	0	0	0	0	50	100

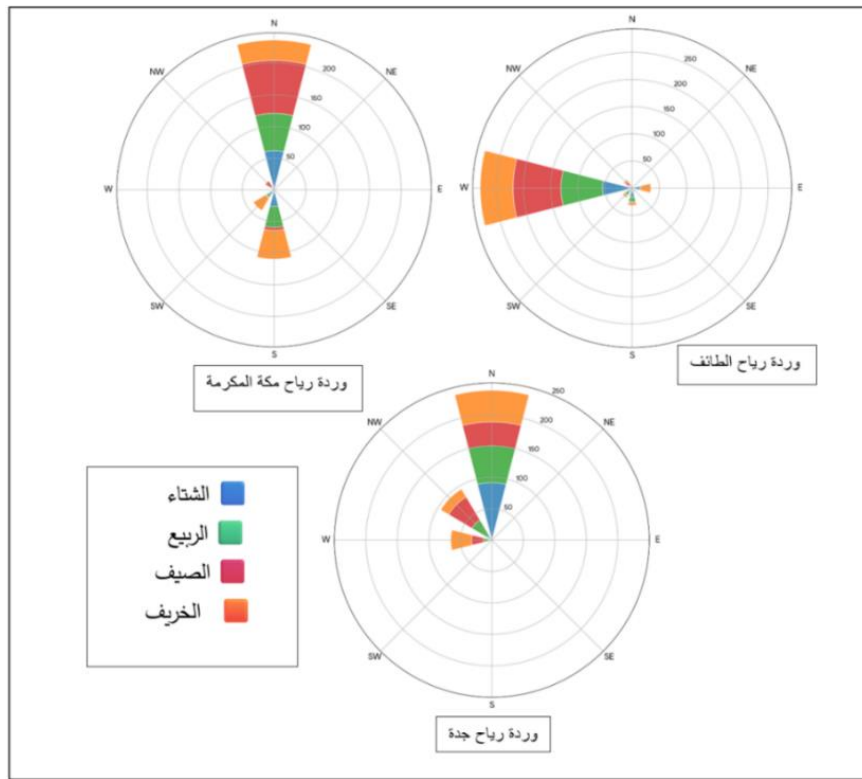
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

التحليل الجيومورفولوجي لاتجاهات الرياح

تعد الرياح من العوامل الجيومورفولوجية المؤثرة في البيئات الجافة، إذ تسهم في عمليات النحت والنقل والترسيب. وتوضح البيانات سيادة الرياح الغربية في محطة الطائف بنسبة 69.8٪، مقابل سيادة الرياح الشمالية في محطتي مكة المكرمة وجدة بنسبة 59.0٪ و59.5٪. ويؤثر هذا التباين في تشكيل المظاهر السطحية؛ ففي الطائف تساعد الرياح القوية على نحت الصخور وقلها ونقل الفتات الصخري عبر المنحدرات، بينما تسهم

الرياح الشمالية في مكة وجدة في نقل الرمال وترسيبها وتكوين الكثبان الرملية. كما يحد الموقع الساحلي لجدة من شدة التعرية الريحية ويعزز استقرار الرواسب الرملية بفعل الرطوبة. وبذلك تؤدي الرياح دورًا بنائياً وهدمياً في تشكيل سطح الأرض وتوزيع الرواسب.

شكل (7) المعدلات الفصلية لسرعة الرياح مع الاتجاه في محطات منطقة الدراسة ومحيطها



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Exce

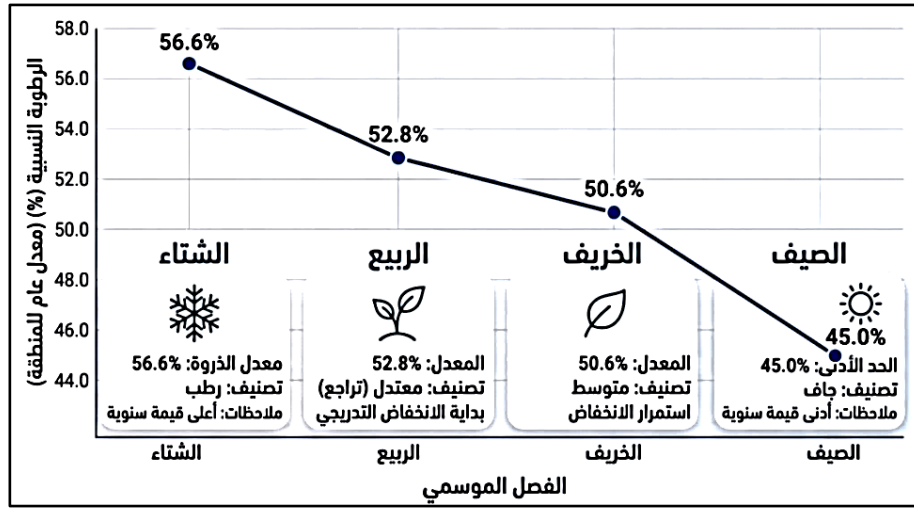
سرعة الرياح

أظهرت البيانات تبايناً في متوسطات سرعة الرياح بين محطات الدراسة؛ إذ بلغ المتوسط السنوي 7.2 كم/ساعة في الطائف، و2.9 كم/ساعة في مكة، و7.0 كم/ساعة في جدة. وسجلت محطة الطائف أعلى السرعات خلال فصل الصيف، بينما سجلت محطة مكة وجدة أعلى المعدلات في فصل الربيع، في حين جاء الخريف بأدنى المعدلات في جميع المحطات.

2.6.3 الرطوبة النسبية

تُعرّف الرطوبة النسبية بأنها نسبة بخار الماء الموجود في الهواء إلى كمية التبخر عند نفس الحرارة والضغط، وتؤثر في تماسك التربة وعمليات التجوية والتعرية. وقد بلغ المعدل السنوي للرطوبة النسبية 50.1% في الطائف، و49.4% في مكة، بينما سجلت جدة أعلى معدل بلغ 55.5% بسبب تأثير البحر الأحمر. وتزداد الرطوبة بانخفاض الحرارة، وتنخفض مع ارتفاعها. كما سجل الشتاء أعلى معدلات للرطوبة النسبية بمتوسط 56.7%، يليه الربيع ثم الخريف، بينما جاء الصيف بأدنى معدل بلغ نحو 45.0%.

شكل (8) المعدلات الفصلية للرطوبة النسبية على مستوى المنطقة



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel التبخر:

يُعد التبخر عنصرًا مهمًا في الدورة الهيدرولوجية، إذ يؤثر في وفرة المياه والجريان السطحي وتطور المجاري المائية. وقد سجلت محطة مكة المكرمة أعلى معدل تبخر سنوي بلغ 3559.9 ملم، تلتها جدة بـ 2780.9 ملم، ثم الطائف بـ 2601.7 ملم. كما سجل فصل الصيف أعلى معدلات التبخر، بينما جاء الشتاء بأقل المعدلات، مما يوضح العلاقة الطردية بين التبخر ودرجات الحرارة.

مخاطر السيول والعوامل المؤثرة فيها:

تُعد السيول من أخطر الظواهر الطبيعية في المناطق الجافة وشبه الجافة، وترتبط مخاطرها بشدة الأمطار وطبيعة التضاريس والتدخلات البشرية. وقد أبرزت سيول جدة أعوام 2009 و 2011 و 2022م أهمية الدراسات الهيدرولوجية والمنشآت الوقائية لحماية المناطق العمرانية.

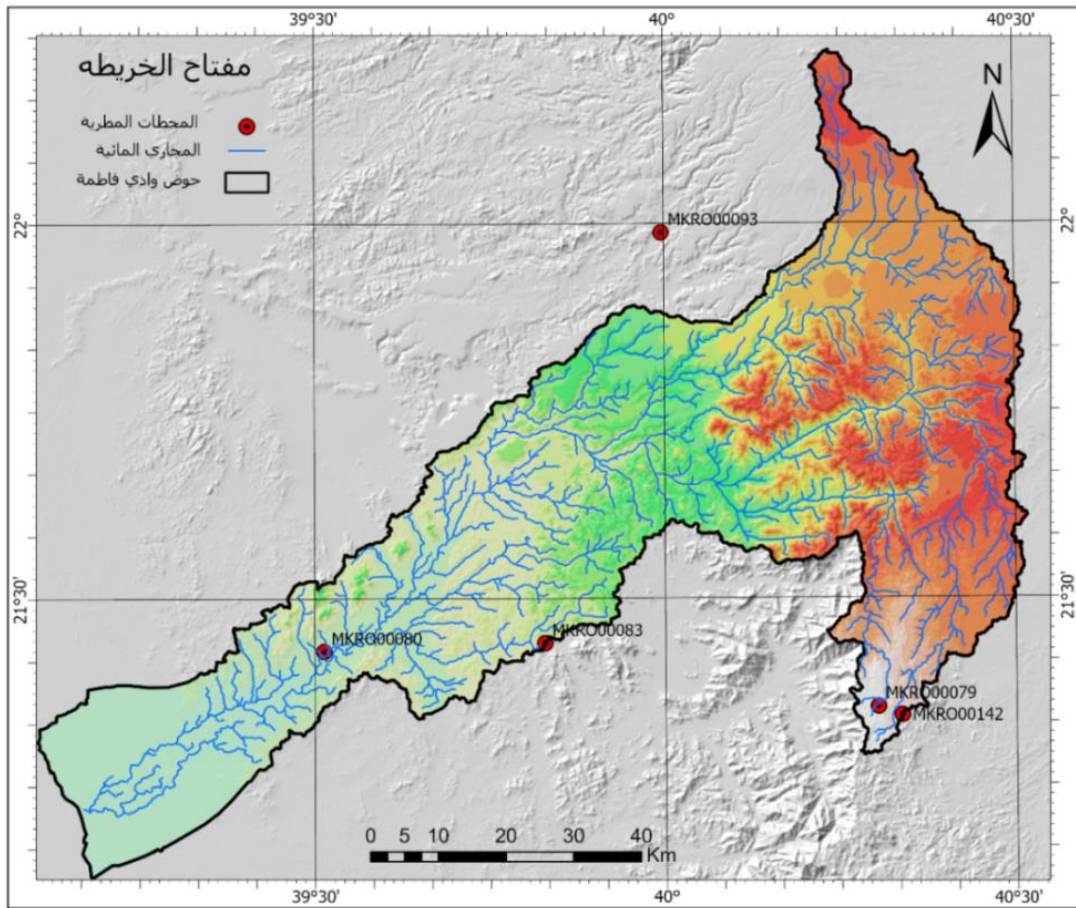
2.6.4 الأمطار والمحطات المطرية.

تم جمع وتحليل بيانات الأمطار اليومية من المحطات القريبة لمنطقة الدراسة بهدف استخراج قيم أقصى مطر يومي اللازمة لحساب الجريان السطحي وتقدير العواصف القصوى. واعتمدت الدراسة على محطات تابعة لوزارة البيئة والمياه والزراعة والمركز الوطني للأرصاد، حيث تبين أن المحطة رقم (MKRO00079) هي الأقرب لمنطقة الدراسة، ولذلك تم استخدامها في تقدير أعماق الأمطار لفترات التكرار المختلفة.

جدول (5) مواقع المحطات المطرية

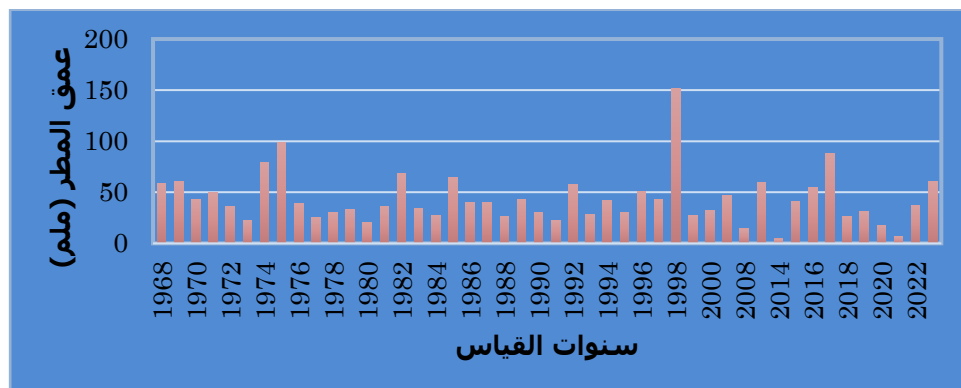
Station	NumYears	Series Max_mm	LONGITUDE	LATITUDE
MKRO00079	46	151.5	40.30295	21.3545
MKRO00080	51	167.4	39.51319	21.4301
MKRO00083	37	99	39.82816	21.4406
MKRO00093	49	121.8	39.99605	21.9881
MKRO00142	46	151.5	40.33692	21.343

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel



المصدر: عمل الباحثين اعتمادا على معلومات هيئة الأرصاد وحماية البيئة لعام 2023م

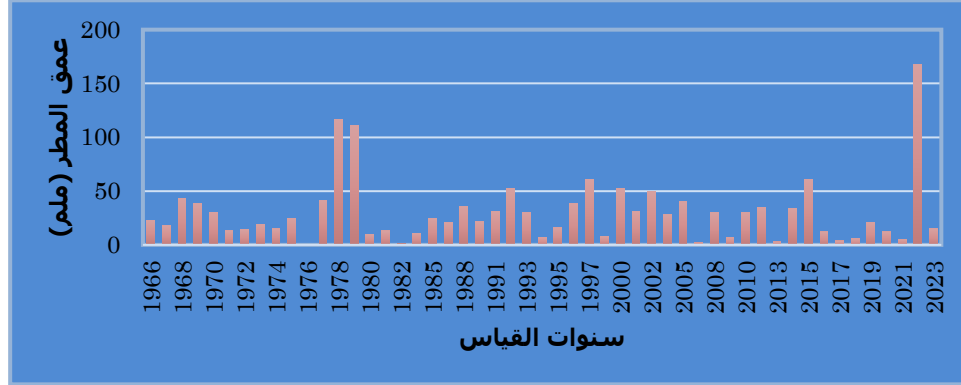
شكل (10) أقصى عاصفة مطرية في العام - محطة رقم: MKRO00079



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

يوضح الجدول توزيع المحطات المطرية المحيطة بمنطقة الدراسة وخصائصها المكانية، حيث بلغ عدد المحطات خمس محطات تراوحت مدة السجل المطري فيها بين (37-51) سنة، مما يوفر قاعدة زمنية مناسبة لتحليل الخصائص المطرية. وتراوحت قيم أقصى عاصفة مطرية سنوية بين (99 ملم) في محطة **MKRO00083** و(167.4 ملم) في محطة **MKRO00080**، بما يعكس تباينًا مكانيًا في شدة الهطول. ويبين شكل (9) مواقع هذه المحطات، بينما يوضح شكل (10) أقصى عاصفة مطرية سنوية المسجلة في محطة **MKRO00079**.

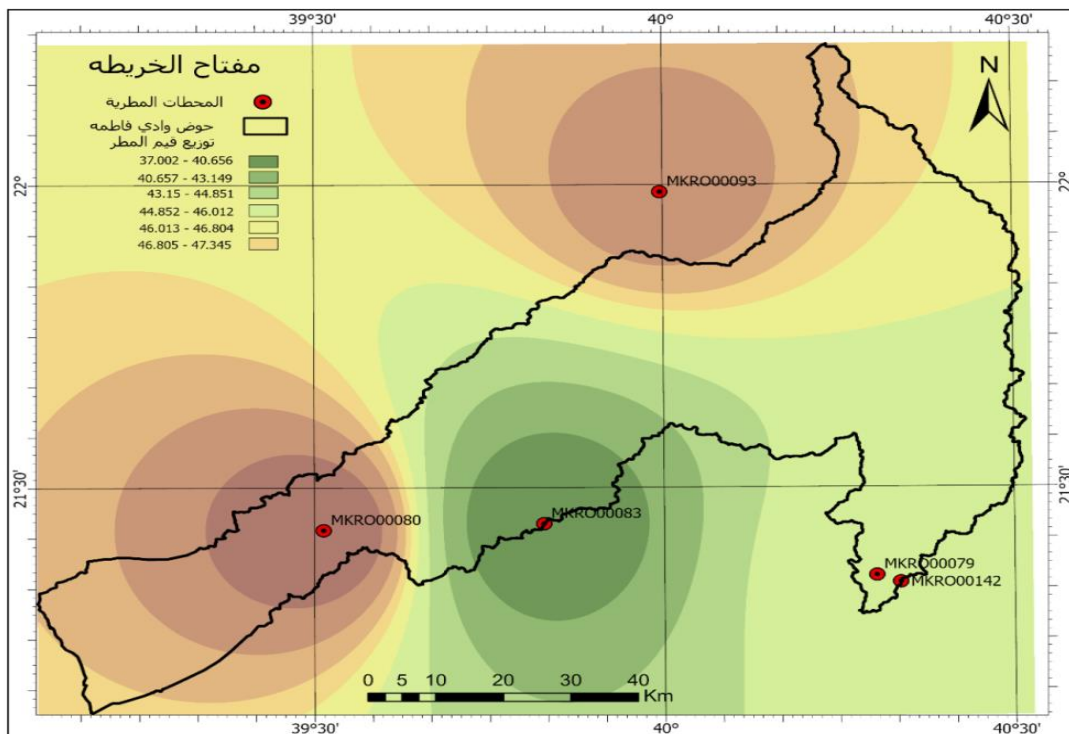
شكل (11) أقصى عاصفة مطرية في العام - محطة رقم: MKRO00080



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

تُظهر بيانات محطة (MKRO00080) تسجيل عواصف مطرية سنوية بوادي فاطمة (1966–2023) بقيم متفاوتة، معظمها بين 20–40 ملم، وهي كافية لإحداث جريان سطحي، مع تكرار عواصف أقوى (50–60 ملم) خلال التسعينات وبدايات الألفية. وسُجلت عواصف شديدة جداً تجاوزت 110–120 ملم في 1977–1978، وبلغت ذروتها في 2021 بأكثر من 160 ملم، ما يمثل أحداثاً سيولوجية خطيرة. وفي بيئة جبلية ضعيفة النفاذية مثل وادي فاطمة، تؤدي العواصف فوق 40 ملم إلى سيول قوية، بينما تتسبب القيم الأعلى في أضرار كبيرة تشمل جرف الطرق والمنشآت وزيادة التعرية. وتتركز المخاطر في أعالي الوادي ومناطق جده نتيجة زيادة الأسطح غير المنفذة.

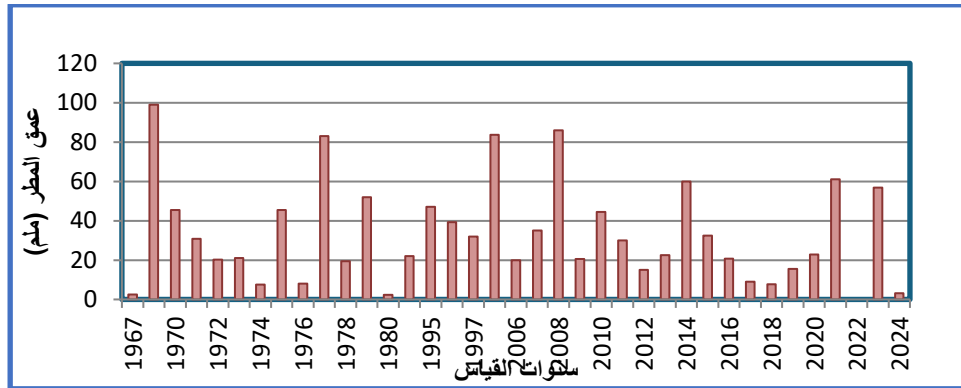
الشكل (12) توزيع المطر على كامل الوادي ومنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثين استناداً إلى برمجية ArcGIS Pro وبالاعتماد على الارتفاعات الرقمية 90م

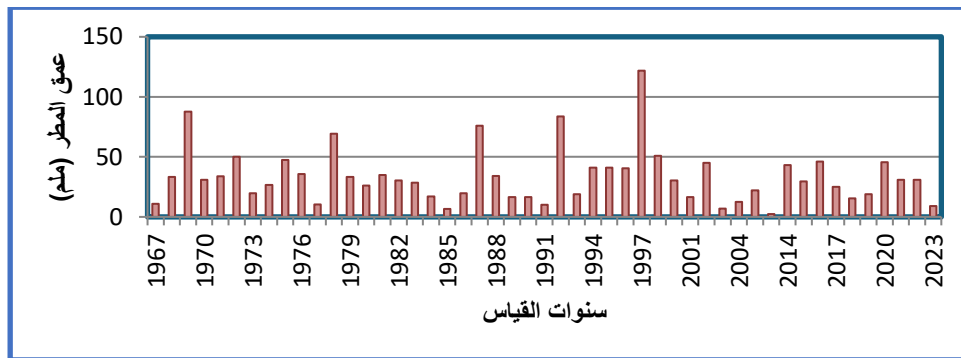
وبالتالي، ومن خلال المحطات المنتشرة حول وادي فاطمة حسب الخريطة رقم (12)، والتي تبين مواقع تواجد المحطات المطرية للوادي، وبحسب هذه السجلات، فإن الوادي قادر على إنتاج سيول كارثية عندما تتكرر هذه العواصف النادرة. وتشير الأشكال رقم (13)، (14) و(15) إلى المحطات المطرية المختلفة.

شكل (13) أقصى عاصفة مطرية في العام - محطة رقم: MKRO00083



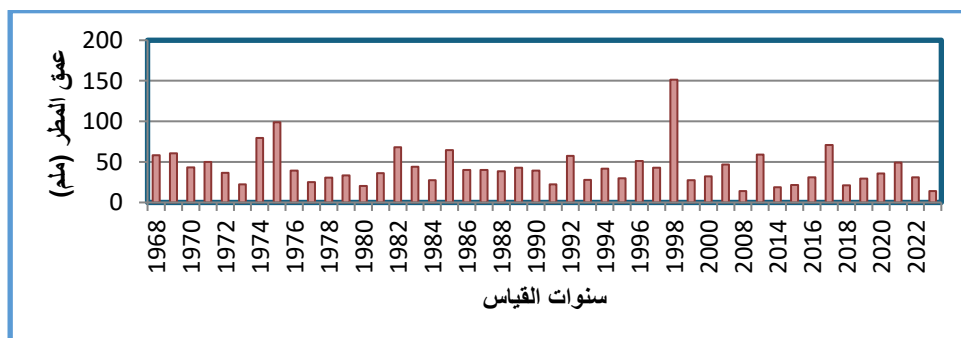
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

شكل (14) أقصى عاصفة مطرية في العام - محطة رقم: MKRO00093



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

شكل (15) أقصى عاصفة مطرية في العام - محطة رقم: MKRO00142



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد وحماية البيئة وبرنامج Excel

2.8 الخصائص المورفومترية للأحواض الفرعية بحوض وادي فاطمة منطقة الدراسة

تُعد دراسة الخصائص الطبيعية للأحواض المائية، مثل أشكال السطح والانحدار والبنية الجيولوجية وأنواع التربة، ضرورية لفهم العمليات الجيومورفولوجية وتفسير خصائص شبكة التصريف. إذ تؤثر هذه العوامل في تطور الأشكال الأرضية وتحديد سلوك الجريان المائي. كما تشمل الدراسة تحليل العناصر المناخية ودورها في تشكيل السطح، إضافة إلى الخصائص المساحية والشكلية والتضاريسية للأحواض، وأنماط التصريف الثمانية داخل حوض وادي فاطمة، لما لها من تأثير مباشر في العمليات الجيومورفولوجية.

2.9 الخصائص الجيومترية للأحواض الفرعية بحوض وادي فاطمة منطقة الدراسة

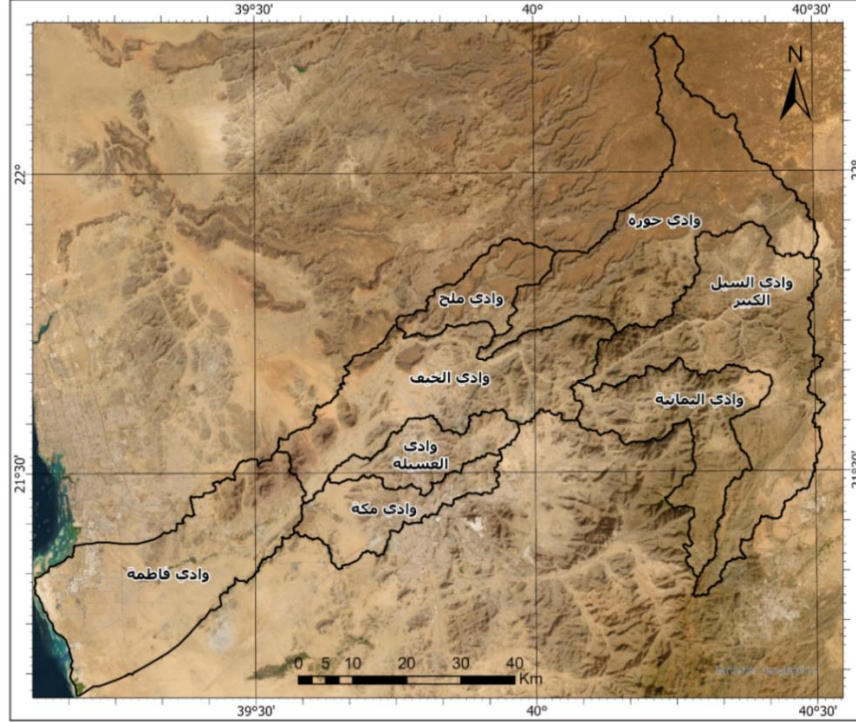
تمثل الخصائص الجيومترية المواصفات الهندسية للحوض المائي بغض النظر عن شبكة التصريف، حيث يُعامل الحوض كنظام هيدرولوجي يستقبل الأمطار ويحولها إلى تصريف مائي. وقد تم تحديد الأحواض باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية (90م) وفق نظام Strahler، حيث تضم منطقة الدراسة ثمانية أحواض فرعية من الرتبة الأولى حتى الخامسة. وتُعد الأحواض العليا ذات أهمية أكبر في التحليل والإدارة لأنها تتحكم في التغذية المائية وتؤثر في باقي الرتب.

شكل (16) يوضح أحد فروع شبكة التصريف بالوادي



المصدر: تصوير الباحثين من الاعمال الحقلية بالوادي

شكل(17): خريطة تبيين الاحواض الفرعية في منطقة الدراسة.



المصدر: من عمل الباحثين اعتمادًا على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM90) وبرنامج ArcGIS Pro

2.10 الخصائص المساحية للأحواض الفرعية

مساحة حوض الوادي

تُعد مساحة الحوض من أهم الخصائص المورفومترية المؤثرة في حجم التصريف المائي والنتاج الرسوبي، إذ تؤثر في كمية الأمطار المتجمعة ومعدلات التبخر والتسرب. كما تعتمد الدراسات المورفومترية على أبعاد الحوض بوصفها أساسًا لتحليل العوامل الطبيعية المؤثرة فيه، مثل المناخ والترربة والصخور والبنية الجيولوجية. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن أكبر مساحة بلغت 1121.78 كم² لوادي السيل الكبير، في حين سجل وادي ملح أصغر مساحة بنحو 251.44 كم².

طول الحوض

يمثل طول الحوض أحد المتغيرات المورفومترية المرتبطة بشكل الحوض وخصائصه التضاريسية، ويتأثر بالعوامل التكتونية واتجاهات الانحدار وعمليات الحت. كما يسهم في تحديد سرعة الجريان ومدة وصول المياه إلى المجرى الرئيس، وبالتالي يؤثر في عمليات التسرب والتبخر والنتح. وتراوح طول الأحواض في منطقة الدراسة بين 69.32 كم في وادي حورة و32.13 كم في وادي ملح.

جدول رقم (6) يبين الخصائص المساحية للاحواض الفرعية لمنطقة الدراسة

اسم الحوض	مساحة الحوض (كم ²)	عرض الحوض (كم)	طول الحوض (كم)	محيط الحوض (كم)
وادي ملح	251.44	7.83	32.13	114.66
وادي حوره	1062.28	15.32	69.32	317.79
وادي السيل الكبير	1121.78	22.60	49.63	350.67
وادي اليمانية	546.57	12.91	42.35	224.73
وادي العسيلة	262.15	7.20	36.41	132.97
وادي الخيف	913.85	13.85	65.97	273.12
وادي مكه	325.68	8.55	38.09	152.23
وادي فاطمه	1003.24	18.61	53.90	189.97

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الارتفاعات الرقمية (DEM 90) للحوض استنادًا إلى برنامج ArcGIS Pro

عرض الحوض:

يُعد عرض الحوض من المؤشرات المهمة المؤثرة في الجريان السطحي، حيث يؤدي اتساع الحوض إلى زيادة كمية الهطول وارتفاع ذروة الفيضان وحمولة الرواسب، بينما تسهم الأحواض المستطيلة في إطالة مدة الجريان وتقليل الذروة. وقد سجل وادي فاطمة أكبر متوسط عرض بلغ 18.61 كم، في حين بلغ أقل عرض 7.20 كم في وادي العسيلة.

محيط الحوض:

يرتبط محيط الحوض بمساحته وشكله، ويُستخدم لقياس درجة تعرج الحدود الخارجية. وقد بلغ أطول محيط 350.67 كم لوادي السيل الكبير، بينما سجل وادي ملح أقصر محيط بلغ 114.66 كم.

2.11 الخصائص الشكلية للأحواض الفرعية لوادي فاطمة

معامل الاستطالة:

يقيس مدى اقتراب الحوض من الشكل الدائري أو المستطيل، وتشير القيم المنخفضة إلى الاستطالة. وقد بلغ في وادي ملح 0.65، مما يدل على الطابع المستطيل لمعظم الأحواض.

معامل الاستدارة:

يعبر عن درجة استدارة الحوض، وكلما اقتربت القيمة من الواحد زادت الاستدارة. وقد بلغ في وادي ملح 0.24، مما يدل على بعده عن الشكل الدائري وانخفاض نسبي في خطورة الفيضانات.

معامل الشكل:

يبين انتظام شكل الحوض وتناسقه، وقد سجل وادي ملح 0.24، مما يعكس عدم انتظام الشكل وتأثيره في سرعة الجريان وشدة السيول.

معامل الاندماجية:

يقيس تجانس الحوض وتعرج حدوده، وقد بلغ في وادي ملح 2.05، مما يشير إلى استتالة الحوض وبداية تطوره الجيومورفولوجي.

2.12 الخصائص التضاريسية للأحواض الفرعية بوادي فاطمة

الكثافة التصريفية:

تعكس طبيعة المناخ والصخور والانحدار، وتشير القيم المنخفضة إلى ارتفاع النفاذية وضعف التضرس. وقد بلغت في وادي ملح 0.45 كم/كم.

نسبة التشعب:

تعبّر عن العلاقة بين أعداد المجاري المائية، وتؤثر في سرعة الجريان وخطر الفيضانات، وقد أظهرت الأحواض قيمًا متوسطة مرتبطة بالظروف الجيولوجية والمناخية.

التكرار النهري:

يمثل العلاقة بين عدد المجاري ومساحة الحوض، وبلغ في وادي ملح 0.16 مجرى/كم، مما يعكس خصائص البيئات الجافة.

ثابت بقاء المجرى:

يوضح المساحة اللازمة لتغذية المجاري المائية، وقد بلغ في وادي ملح 2.24 كم/كم، مما يدل على انخفاض الكثافة التصريفية وبداية التطور الجيومورفولوجي للأحواض.

شكل رقم (18) يوضح انحدار المجرى المائي وعملية النحت فيه على الجانبين.



المصدر: تصوير الباحثين من الاعمال الحقلية بالوادي

جدول (9) يوضح الخصائص التضاريسية للأحواض الفرعية لوادي فاطمه

اسم الحوض	النسيج الطبوغرافي	وصف النسيج	الوعورة م/كم	معامل التضرس م/كم	التضاريس النسبية م/كم
وادي ملح	0.36	خشن	32.16	15.87	4.45
وادي حوره	0.58	خشن	39.27	18.46	4.03
وادي السيل الكبير	0.64	خشن	52.67	35.54	5.03
وادي اليمانية	0.42	خشن	69.89	38.58	7.27
وادي العسيلة	0.40	خشن	35.70	15.87	4.35
وادي الخيف	0.66	خشن	48.69	22.31	5.39
وادي مكه	0.41	خشن	29.42	13.94	3.49
وادي فاطمه	0.62	خشن	22.54	13.25	3.76

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الارتفاعات الرقمية (DEM 90) للحوض استنادًا إلى برنامج ArcGIS Pro

معامل التضرس

يساعد معامل التضرس في تفسير طبيعة السطح والبنية الجيولوجية ودرجة الانحدار. وتدل القيم المرتفعة على شدة التضرس وتأخر الدورة التحاتية، بينما تشير القيم المنخفضة إلى ضعف التضرس. وقد بلغ معامل التضرس في وادي ملح 15.78 م/كم، وهي قيمة منخفضة نسبيًا تدل على اعتدال التضرس وتقدم الدورة التحاتية للوادي.

قيمة الوعورة

تقيس قيمة الوعورة العلاقة بين تضرس الحوض وكثافة شبكة التصريف، حيث تزداد بزيادة الانحدارات وكثافة المجاري. وقد بلغت قيمة الوعورة في وادي ملح 32.16، مما يعكس انخفاض كثافة التصريف وضعف الانحدارات وقلة الجريان السطحي مقارنة بالأحواض شديدة التضرس.

التضاريس النسبية

تمثل التضاريس النسبية العلاقة بين الفرق في الارتفاعات داخل الحوض وطوله الحقيقي، وتؤثر في الخصائص الهيدرولوجية وكثافة التصريف. وقد بلغت قيمتها في وادي ملح 4.45، وتشير إلى أن الدورة الجيومورفولوجية للحوض ما زالت في مراحل تطور محدودة، مع تأثير واضح بالبنية الجيولوجية والفواصل الصخرية.

النسيج الطبوغرافي

يعبر النسيج الطبوغرافي عن درجة تقطع السطح وتوزيع المجاري المائية، ويتأثر بالمناخ والغطاء النباتي والبنية الجيولوجية. وقد بلغت قيمته في وادي ملح 0.36 مجرى/كم، مما يدل على أن الحوض خشن التضاريس نتيجة انتشار الشقوق والفواصل في الصخور النارية والمتحولة وارتفاع نفاذيتها، وهو ما يسهم في تقليل الجريان السطحي وزيادة التسرب.

جدول رقم (9) يبين قيم تصنيف النسيج الطبوغرافي سميث (1950)

النسيج الطبوغرافي	الفئة
خشن	4-0
متوسط	10-4
ناعم	15-10
ناعم جداً	أكبر من 15

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد تصنيف سميث (1950)

شكل رقم (19) يوضح النسيج الطبوغرافي للأحواض الفرعية لمنطقة الدراسة.



المصدر: تصوير الباحثين من الاعمال الحقلية بالوادي

2.13 الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف :

المقاطع الطولية والعرضية لوادي السيل الكبير ووادي ملح

أظهرت المقاطع الطولية والعرضية لأحواض وادي السيل الكبير ووادي ملح اختلافات واضحة في الخصائص الجيومورفولوجية تبعاً لطبيعة التكوينات الجيولوجية ومرحلة تطور الوادي. فقد اتسم وادي السيل الكبير بانحدارات شديدة وعدم انتظام في المقطع الطولي نتيجة تأثير الفوالق والبنية الجيولوجية، مع سيادة الحت الرأسي وارتفاع قدرة الجريان على التعرية، مما يشير إلى مرحلة نضج جيومورفولوجي مبكر. كما عكس المقطع العرضي جوانب شديدة الانحدار وشكلاً مقعراً ناتجاً عن تأثير الصخور النارية والمتحولة المقاومة للتعرية.

شكل رقم (20) يوضح النحت الجانبي في أحد روافد اودية المنطقة.

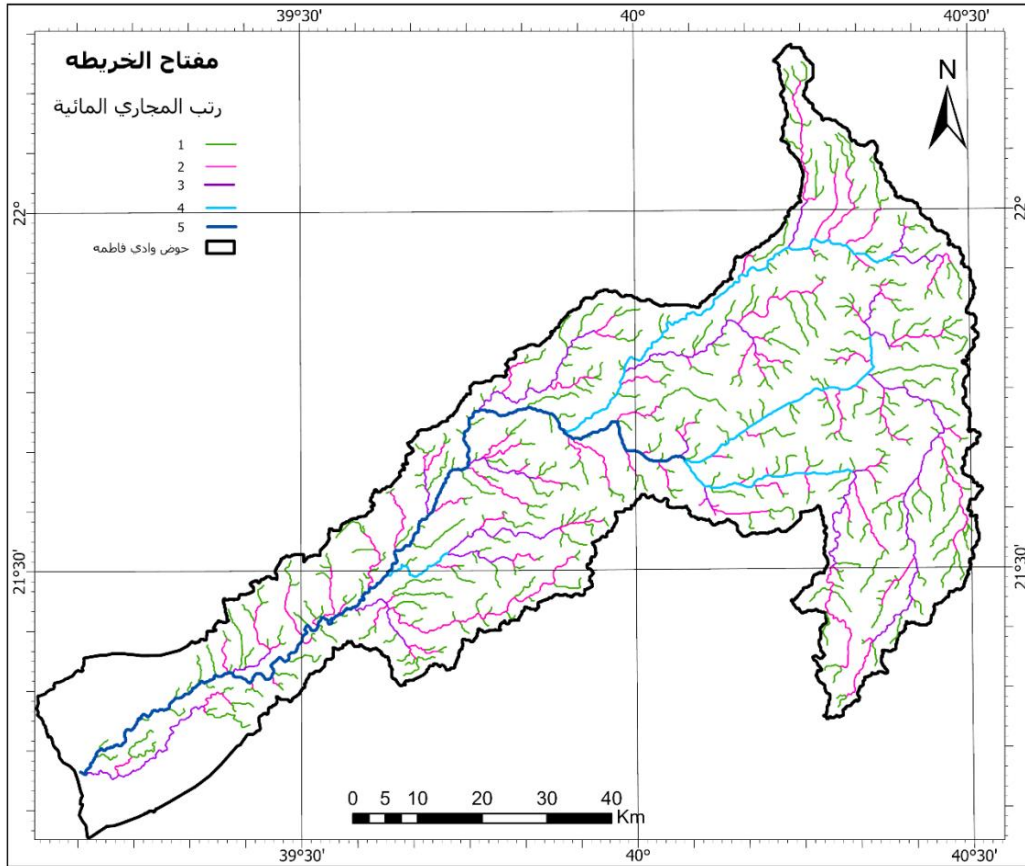


المصدر: تصوير الباحثين من الاعمال الحقلية بالوادي

رتب المجاري المائية واطوالها:

يبدأ الجريان السطحي للمياه في الأودية وتشعباتها المختلفة من التفرعات الصغيرة التي تكون غالبًا في أعلى المناطق حتى تصل إلى المصب، ومن هنا تم استنتاج علاقة رتب الأودية، وهذه التفرعات تكون متصلة من طرف واحد فقط ويتم إعطاؤها الرتبة الأولى، وإذا ما التقى فرعان من الرتبة الأولى ينتج عنهما فرع من الرتبة الثانية، وهكذا الأمر حسب طريقة Strahler المتبعة.

شكل (21) رتب المجاري المائية بالوادي



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الارتفاعات الرقمية (DEM 90) للحوض استناداً إلى برنامج ArcGIS10

جدول رقم (10) يبين الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف

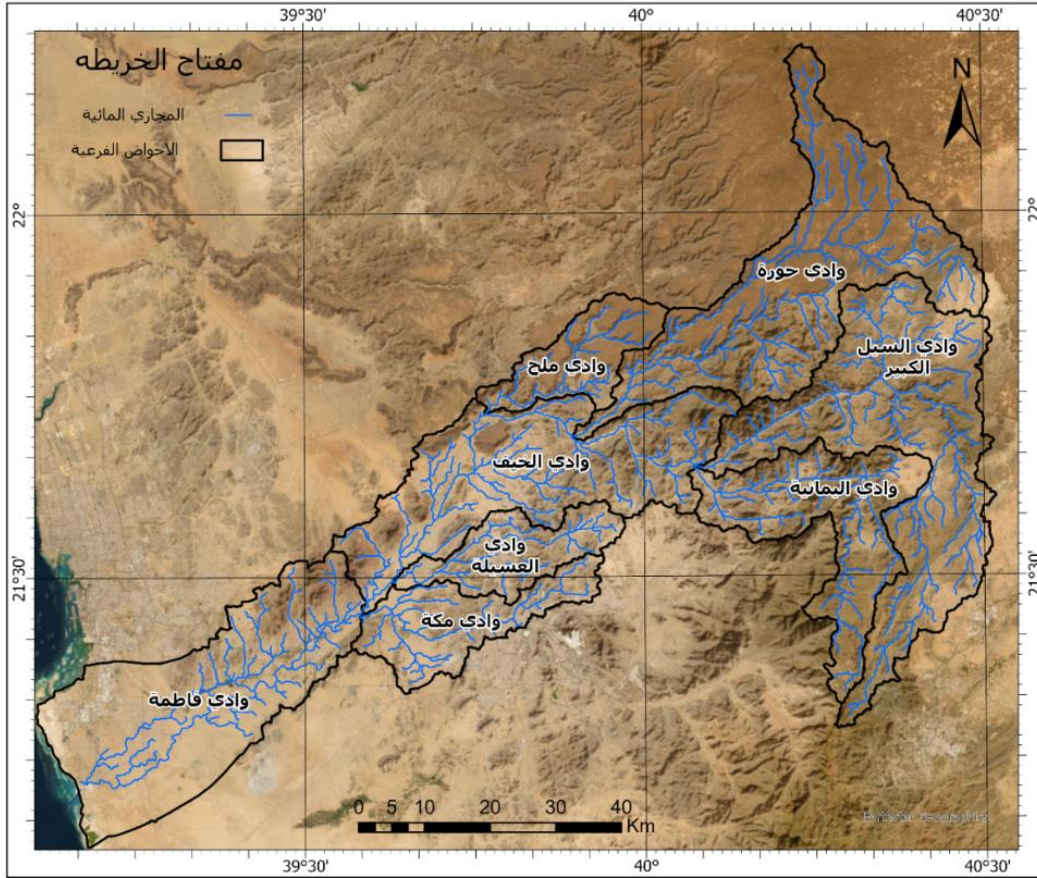
اسم الحوض	رتب المجاري	معامل	نسبة الشعب
وادي ملح	3	1.55	2.91
وادي حوره	4	1.75	4.90
وادي السيل	4	1.92	5.53
وادي اليمانية	4	1.62	4.57
وادي العسيلة	4	2.7	5.80
وادي الخيف	5	2.03	8.69
وادي مكه	3	1.79	3.85
وادي فاطمه	5	1.68	4.70

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الارتفاعات الرقمية (DEM90) للحوض استناداً إلى برنامج ArcGIS10 وبرنامج EXL;

أنماط التصريف بالأحواض الفرعية لوادي فاطمة:

تعتبر أنماط التصريف مؤشراً جيومورفولوجياً يعكس البنية الجيولوجية للحوض، ويتأثر بالمناخ والتضاريس والانكسارات. ويشير النمط المتوازي إلى مرحلة انتقالية، والمستطيل إلى تأثير الفوالق، بينما يدل تقاطع المجاري بزوايا قائمة على ضعف البنية الجيولوجية ومرور وادي فاطمة بمرحلة الشباب الجيومورفولوجي.

شكل رقم (22) الاحواض الفرعية والمجاري المائية.



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على الارتفاعات الرقمية (DEM 90) للحوض استنادًا إلى برنامج ArcGIS10

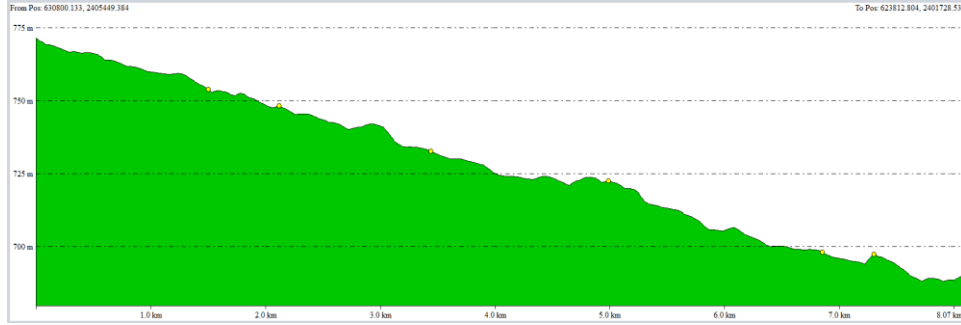
مقطع طولي تمثيلي على طول الوادي:

تتميز الأحواض الفرعية لوادي فاطمة بخصائص المناطق الجافة أو شبه الجافة، حيث تتسم بمقاطع ضيقة وضحلة وجريان مؤقت غير منتظم. ويتميز الحوض بانحدارات شديدة وطاقة جريان عالية في منطقة حرة رهاط البازلتية شمال شرق الحوض وقرب جبال الحجاز، ثم تقل الانحدارات باتجاه الأراضي المنخفضة حيث تتراكم الرواسب السميكة. وينتج عن ذلك ارتفاع النفاذية الهيدروليكية في المناطق المرتفعة مقارنة بغيرها، مع كون سمك الطبقة الحاملة للمياه أقل ما يكون في أعالي الوادي.

المقطع الطولي لحوض وادي السيل الكبير:

يُعد المقطع الطولي من المؤشرات الجيومورفولوجية المهمة لفهم تطور الأودية، إذ يعكس تأثير التكوينات الجيولوجية ودرجة صلابتها وسرعة الجريان. ويظهر المقطع في أعالي وادي فاطمة بشكل غير منتظم نتيجة تأثير التراكيب البنيوية والفوالق، حيث يتدرج الارتفاع من 770 م عند البداية إلى 735 م عند النهاية على مسافة 4.49 كم، مما يشير إلى مرحلة النضج الجيومورفولوجي المبكر مع سيطرة الحت الرأسي. كما أن تغير الانحدار عند الكيلومترين الثاني والثالث ناتج عن الفوالق التي كونت عتبات شديدة الميل، مما يزيد من سرعة الجريان وقوة الحت، في حين يفسر اختلاف صلابة الصخور النارية والمتحولة استمرار عدم توازن المقطع الطولي.

شكل (23): مقطع طولي للحوض الفرعي (السييل الكبير).



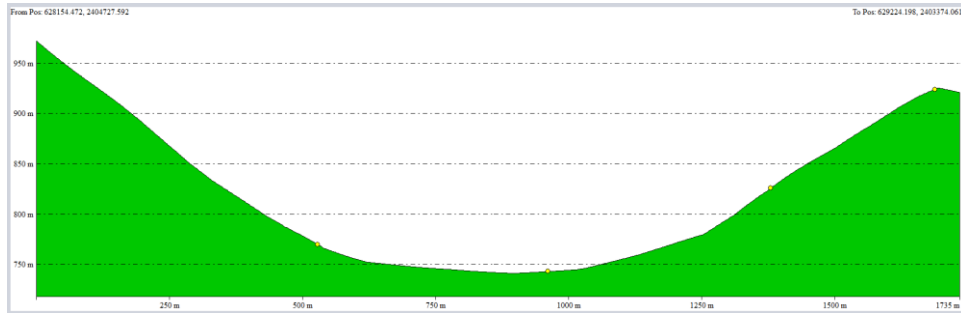
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج Global mapper v.18

المقطع العرضي لحوض وادي السييل الكبير:

يوضح المقطع العرضي للوادي انحدارًا شديدًا من الجانبين نحو مركز المجرى، حيث يصل الارتفاع على الحواف إلى نحو 875 م، مقابل 750 م في القاع، ويعرض يقارب 1.5 كم، مما يعطي شكلًا مقعرًا ناتجًا عن شدة الحت الرأسي.

تعكس الجوانب المنحدرة تأثير كل من التجوية الميكانيكية والانزلاقات الأرضية، إضافة إلى دور الفوالق في إضعاف بعض المناطق وجعلها أكثر عرضة للتعرية. وتؤدي صلابة صخور الجرانيت والشيست إلى بقاء الجوانب ذات مظاهر خشنة وانحدار حاد نسبيًا، وهو ما ينسجم مع مرحلة النضج المبكر للوادي، كما يظهر في الشكل (24).

شكل(24): مقطع عرض لنفس الموقع من حوض (السييل الكبير)



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج Global mapper v.18

المقطع الطولي للحوض الفرعي وادي ملح:

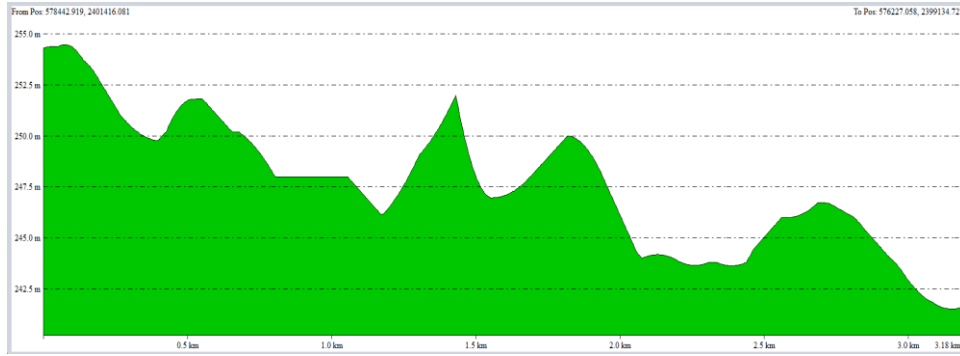
عرض المقطع الطولي للحوض الفرعي وادي ملح (الشكل 24) انحدارًا غير منتظم يمتد لمسافة نحو 6.21 كم، حيث يتدرج الارتفاع من حوالي 58 م في البداية إلى نحو 67 م في النهاية، مع تذبذبات واضحة في الميل. يظهر انخفاض حاد عند الكيلومتر الأول يصل إلى 55 م، ثم ترتفع قيم الانحدار تدريجيًا مع موجات صغيرة من الهبوط والارتفاع حتى تبلغ ذروتها عند 72 م في الجزء الأخير من المقطع.

هذا النمط المتعرج يدل على:

- تأثير الفوالق والانكسارات التي تُحدث عتبات انحدارية وتغيرات مفاجئة في الميل.

- اختلاف صلابة الصخور الرسوبية مقارنة بأجزاء الوادي العليا، مما يزيد من قابلية القطاع للتعرية.
- أن الوادي يقع في مرحلة النضج المتأخر؛ حيث يقل الحت الرأسى وتزداد أهمية الحت الجانبي، ما يسمح بتوسع المجرى وتكوين بدايات سهول فيضية.
- كما أن وجود الرواسب الطينية والرملية في القاع يجعل المنطقة أكثر تأثرًا بالجريان، وهو ما يفسر التدرجات الواضحة في المقطع.

شكل(25): مقطع طولي للحوض الفرعي (وادي ملح).



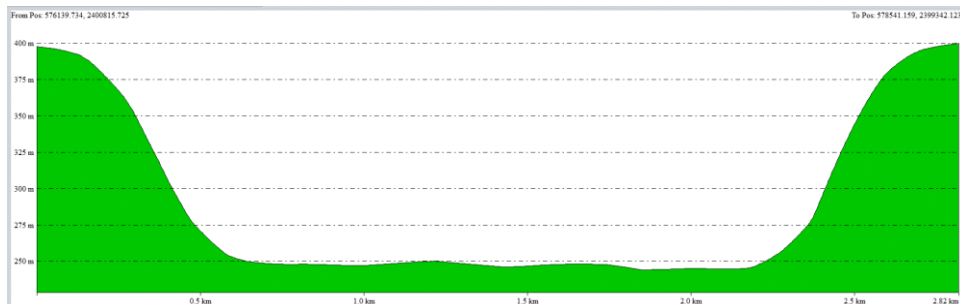
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج Global mapper v.18

المقطع العرضي للحوض الفرعي (وادي ملح):.

يوضح المقطع العرضي للحوض (الشكل 25) انحدارًا واضحًا من الجانبين نحو مركز المجرى، حيث يبلغ الارتفاع على الأطراف حوالي 170 م، مقابل 100 م في القاع، وبعرض يقارب 7.76 كم. ينتج عن ذلك شكل مقعر واسع يعكس سيطرة التعرية النهرية في القاع وتطور جوانب الوادي. يدل هذا المقطع على:

- أن الوادي في مرحلة النضج المتأخر، حيث يزداد دور الحت الجانبي مقارنة بالحت الرأسى.
- توسع المجرى وتكون مناطق فيضية محدودة على الجانبين.
- تأثير الصخور الرسوبية الأكثر ليونة، إضافة إلى الرواسب الطينية والرملية، في زيادة معدلات التعرية والانزلاقات الأرضية.
- دور الفوالق والانكسارات في إضعاف الجوانب وتشكيل الانحدار الحاد في الأطراف واتساع الوادي في الوسط، كما في الشكل (26)

شكل(26): مقطع عرض لنفس الموقع من حوض (وادي ملح).



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على برنامج Global mapper v.18

شكل رقم (27) يوضح للمقطع الطولي والعرض في أحد روافد اودية المنطقة.



المصدر: تصوير الباحثين من الاعمال الحقلية بالوادي

أما وادي ملح، فقد أظهر المقطع الطولي انحدارًا أكثر تدرجًا مع تذبذبات واضحة في الميل نتيجة تأثير الفوالق واختلاف صلابة الصخور الرسوبية، مما يدل على مرحلة نضج متأخرة يزداد فيها تأثير الحت الجانبي مقارنة بالحت الرأسي. كما اتسم المقطع العرضي باتساع أكبر للمجرى وظهور بدايات سهول فيضية نتيجة تراكم الرواسب الطينية والرملية وزيادة معدلات التعرية.

وحدة الهيدروغراف وتطبيقها في تحليل سيول وادي فاطمة

تُعد وحدة الهيدروغراف من أهم الأساليب الهيدرولوجية المستخدمة لتحليل العلاقة بين الأمطار والجريان السطحي داخل الأحواض المائية. وتعتمد فكرتها على تمثيل استجابة الحوض لكمية مطر فعال ثابتة خلال فترة زمنية محددة، ومن ثم قياس تغير التصريف مع الزمن. وتستخدم هذه الطريقة في تقدير حجم السيول وذروة التصريف وتحليل أخطار الفيضانات، خاصة في الأحواض التي تفتقر إلى سجلات هيدرولوجية مباشرة. كما تسهم في تطوير النماذج الهيدرولوجية وفهم سلوك الجريان السطحي في وادي فاطمة.

طرق اشتقاق وحدة الهيدروغراف

تُعد طريقة سنايدر من أكثر الطرق استخدامًا في تقدير وحدة الهيدروغراف للأحواض غير المقاسة، لاعتمادها على الخصائص المورفومترية للحوض مثل المساحة وطول المجرى الرئيس والمسافة بين مركز الحوض والمصب. وقد ساهم تطويرها لتتلاءم مع النظام المتري في انتشار استخدامها في الدراسات الهيدرولوجية التطبيقية.

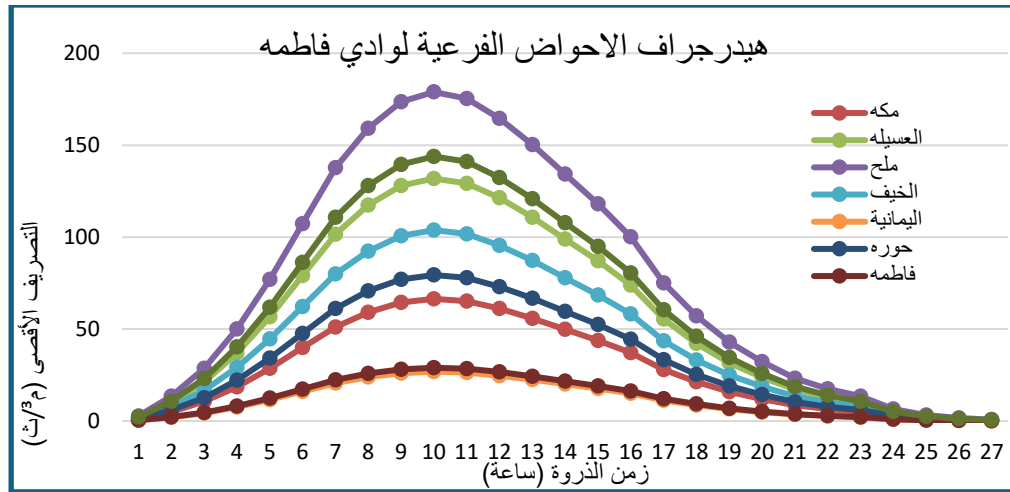
تطبيق طريقة سنايدر على أحواض وادي فاطمة

اعتمد التطبيق على حساب أهم خصائص وحدة الهيدروغراف للأحواض الفرعية بوادي فاطمة، مثل زمن الذروة والتصريف الأقصى، باستخدام مساحة الحوض وطول المجرى الرئيس والمسافة إلى المصب. وأظهرت النتائج اختلافًا واضحًا بين الأحواض تبعًا لاختلاف خصائصها المورفومترية.

زمن التباطؤ (Lag Time)

يمثل زمن التباطؤ الزمن اللازم لوصول الجريان السطحي من مركز الحوض إلى المصب، ويُعد مؤشرًا على سرعة الاستجابة الهيدرولوجية للحوض. وقد تراوح زمن الذروة بين 9.38 ساعة في وادي ملح و15.80 ساعة في وادي حورة شكل رقم (28)، حيث سجلت الأحواض الأكبر مساحة والأطول مجرى أزمان استجابة أطول.

شكل رقم (28) الوحدة الهيدرولوجية لليونت هيدروجراف للأحواض الفرعية لوادي فاطمة



المصدر: من عمل الباحثين استنادا الى برنامج wms وتحليل برنامج الاكسل

التصريف الأقصى لوحدة الهيدروغراف

تم تقدير التصريف الأقصى باستخدام مساحة الحوض وزمن الذروة ومعامل التخزين. وسجل وادي السيل الكبير أعلى تصريف بلغ 138.53 م³/ث، يليه وادي حورة ثم وادي الخيف، نتيجة كبر مساحة هذه الأحواض وقدرتها العالية على تجميع مياه الأمطار، بينما سجلت الأحواض الصغيرة قيم تصريف أقل.

تحليل نتائج تطبيق نموذج سنايدر

أظهرت النتائج وجود تباين واضح في قيم التصريف الأقصى بين الأحواض، ويرتبط ذلك أساسًا بمساحة الحوض وطول المجرى الرئيس. كما تبين أن الأحواض الكبيرة تسهم بصورة أكبر في تغذية السيول داخل وادي فاطمة.

التحليل الإحصائي للعلاقة بين مساحة الحوض والتصريف

أوضحت النتائج وجود علاقة طردية بين مساحة الحوض والتصريف الأقصى، حيث تؤدي زيادة مساحة الحوض إلى زيادة كمية المياه المتجمعة داخل شبكة التصريف، ومن ثم ارتفاع ذروة الجريان أثناء العواصف المطرية.

تفسير تقارب زمن الذروة بين الأحواض

أظهرت الدراسة تقارباً نسبياً في زمن الذروة بين الأحواض الفرعية، إذ تراوح بين 9-16 ساعة تقريباً، ويعكس ذلك التشابه الجيومورفولوجي والمناخي بين الأحواض من حيث الانحدار وشبكة التصريف والخصائص المطرية.

التأثيرات البيئية في منطقة الدراسة

تشير النتائج إلى أن الأحواض الكبيرة، مثل السيل الكبير وحورة والخيف، تمثل المصادر الرئيسية لتغذية السيول في الوادي. كما أن التزامن في وصول الجريان السطحي من عدة أحواض قد يؤدي إلى تضخيم الذروة الفيضانية وزيادة مخاطر السيول المفاجئة، خاصة مع التوسع العمراني، مما يبرز أهمية استخدام النمذجة الهيدرولوجية و GIS في التخطيط البيئي وإدارة الموارد المائية.

تقييم مخاطر السيول في وادي فاطمة

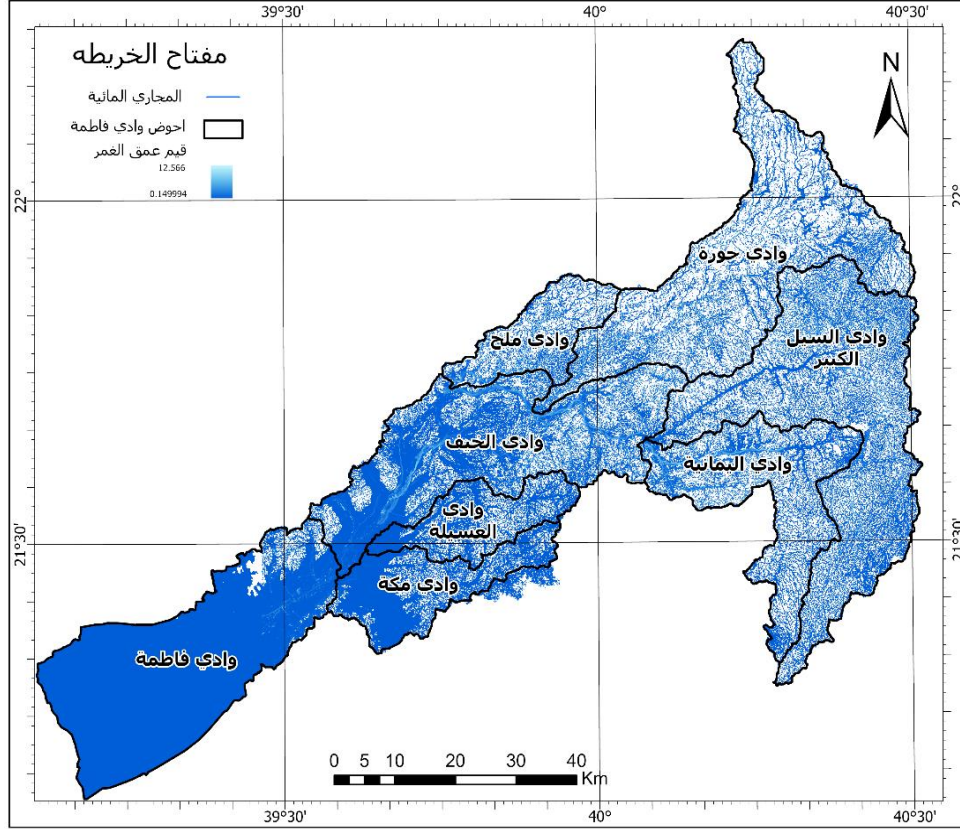
أظهرت الخرائط الطبوغرافية أن شبكة التصريف في وادي فاطمة تتكون من روافد وشعاب نشطة تتجه نحو الغرب باتجاه السهل الساحلي، حيث يمر المجرى الرئيس بمحاذاة أجزاء من منطقة الدراسة. كما تسهم الروافد الثانوية القادمة من المرتفعات الشرقية والشمالية الشرقية في زيادة تركيز الجريان السطحي أثناء العواصف المطرية.

ورغم ذلك، فإن وجود منشآت حماية قائمة، مثل الحواجز الترابية والتكسية الحجرية والجدران الاستنادية، ساعد في تقليل أخطار السيول، مما يجعل الموقع منخفض التأثير نسبياً في وضعه الحالي، مع ضرورة التحقق من كفاءة المجاري القائمة وقدرتها على استيعاب تصريفات فترة التكرار (100 سنة).

2.14 الغمر بمنطقة الدراسة

توضح خريطة الغمر شكل (29) تزايد عمق الغمر تدريجياً من أعالي الحوض ذات الانحدارات الشديدة نحو الأجزاء الوسطى والسفلى، حيث يقل الانحدار ويتسع السهل الفيضي، مما يؤدي إلى تراكم المياه وارتفاع منسوب الغمر. وتمثل المناطق ذات اللون الأزرق الداكن أعلى مستويات الخطورة الفيضانية.

شكل (29) خريطة غمر وادي فاطمه



المصدر: من عمل الباحثين استنادا الى برنامج WMS وHEC-RAS

ويتأثر الغمر بعدة عوامل، أهمها شدة الأمطار، ومساحة الحوض، وكثافة شبكة التصريف، والانحدار الطبوغرافي، ونوع التربة، واستخدامات الأراضي، إضافة إلى وجود المنشآت الهيدروليكية. كما يؤدي التوسع العمراني وزيادة الأسطح غير المنفذة إلى رفع حجم الجريان السطحي وزيادة احتمالية الغمر.

دور الغطاء النباتي في تقليل الغمر

يسهم الغطاء النباتي في تقليل سرعة الجريان السطحي وزيادة معدلات التسرب، مما يخفف من ذروة التصريف ويحد من التعرية وانجراف التربة. كما يساعد على تحسين كفاءة المجاري المائية وتقليل ارتفاع منسوب المياه أثناء السيول، في حين يؤدي تدهوره إلى زيادة مخاطر الغمر واتساع نطاقه.

الحلول المقترحة لحماية الموقع من مخاطر السيول

يعتمد النهج الحالي على رفع كفاءة البنية القائمة بدلاً من إنشاء منشآت جديدة، من خلال:

- إعادة تقييم القدرة الاستيعابية للمجاري وفق التصريفات التصميمية .
- صيانة الحواجز والتكسية الحجرية وتحسين كفاءتها .
- إزالة الترسبات والعوائق داخل المجاري المائية .
- مراقبة استخدامات الأراضي ومنع التعديلات على مجاري السيول .

- تحديث نماذج المحاكاة باستخدام GIS و DEM لتحسين تقدير المخاطر .

الحلول البيئية المستدامة المقترحة

تشمل الحلول البيئية المتكاملة:

- استخدام التغطية الحبوبية وزراعة النباتات المحلية لتثبيت التربة وتقليل الجريان .
- إنشاء مصائد رسوبية ومناطق احتجاز طبيعية لتخفيف ذروة السيول .
- تعزيز تغذية المياه الجوفية عبر مناطق الانتشار المائي .
- استعادة بعض السهول الفيضية الطبيعية وتحسين مراقبة التغيرات البيئية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد و GIS .
- تنظيم التوسع العمراني ومنع البناء داخل المناطق المعرضة للغمر .

الاستنتاج

- يتميز حوض وادي فاطمة باتساعه وشكله الممدود، مما يطيل زمن التركيز ويقلل شدة الذروة، مع استمرار احتمال السيول وتأثيراتها البيئية.
- تُظهر الخصائص المورفومترية تشتت الجريان وتأثره بالعوامل الجيولوجية، مما ينعكس على توزيع التأثيرات البيئية.
- تتحكم التكوينات الصخرية والنفاذية العالية في سلوك الجريان والتغذية الجوفية والتوازن البيئي.
- تشير الكثافة التصريفية والوعورة إلى مرحلة جيومورفولوجية ناضجة للحوض.
- تدل بيانات الأمطار المرتفعة على قابلية حدوث سيول مفاجئة ذات آثار بيئية.
- أدى التوسع العمراني وزيادة الأسطح غير المنفذة إلى زيادة الجريان السطحي وتفاقم التأثيرات البيئية.

التوصيات

- ❖ تبني إدارة متكاملة للأحواض المائية تراعي الجوانب الهيدرولوجية والبيئية للحد من آثار السيول.
- ❖ تطوير وتحديث خرائط المخاطر باستخدام GIS لدعم التخطيط البيئي واتخاذ القرار.
- ❖ تنظيم التوسع العمراني ومنع البناء في مجاري الأودية للحد من التأثيرات البيئية السلبية.
- ❖ تحسين البنية المائية (سدود حصاد، قنوات تصريف، أحواض تهدئة) بما يحقق التوازن بين الحماية والاستدامة.
- ❖ استخدام نماذج HEC-HMS و HEC-RAS لتحليل سيناريوهات السيول وتقييم آثارها البيئية مستقبلاً.
- ❖ تعزيز إعادة تغذية المياه الجوفية والاستفادة من مياه السيول كأحد موارد الاستدامة.
- ❖ تفعيل أنظمة الإنذار المبكر وربطها ببيانات الأرصاد للحد من المخاطر البيئية للسيول.

• المراجع العربية:

- الحربي، نوير مسري (2007)، النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية- دراسة من منظور جيومورفولوجي، رسالة ماجستير جامعة أم القرى، مكة المكرمة
- الزريقات، علاء الدين عبد القادر سرور (2004) ، مورفولوجية حوض وادي راجب رسالة ماجستير غير من شورة مقدمة لقسم الجغرافيا، كلية الدراسات العليا، الجامعة الأردنية.
- البلادي، عاتق بن غيث (1985)، أودية مكة المكرمة، دار مكة للنشر والتوزيع، مكة المكرمة، السعودية، الطبعة الأولى.
- الرحيلي، أمينة عطا الله (2005)، خصائص المناخ في إمارة منطقة مكة المكرمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا بجامعة أم القرى، مكة المكرمة.
- شاور، أمال إسماعيل (1979)، الجيومورفولوجيا والمناخ، دراسة تحليلية للعلاقة بينهما، مصر، مكتبة الخانجي.
- أحمد، بدر الدين يوسف (1997)، مناخ الطائف، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي، مكة المكرمة.
- تيم، فيروز كامل محمد (2015م) حوض وادي زقلاب: دراسة جيومورفولوجية، غزة: الجامعة الإسلامية.
- سقا، عبدالحفيظ محمد (2011 م) الخصائص المورفومترية لحوض تصريف وادي لبن بالمملكة العربية السعودية: دراسة جيومورفولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: مجلة جامعة الملك عبد العزيز- الآداب والعلوم الإنسانية، مجلد 19، العدد 1: 68- 31.
- محمد. (2018). أدخل عنوان الكتاب أو البحث هنا. دار النشر: جامعة الملك عبدالعزيز.
- رؤية المملكة 2030. (2018). خطة التنمية الوطنية. وزارة الاقتصاد والتخطيط، المملكة العربية السعودية.
- النجار، ي. س. ح، و كسيبي، م. (2017). تقييم الموقد الحراري الكهربائي التجريبي JUST للمناطق المحرومة من الكهرباء. مراجعات الطاقة المتجددة والمستدامة، 69، 854-861. دار النشر: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.041>
- .Pearson Education. Daniels, J. D., & Radebaugh, L. H. (2018). International Business (الطبعة 16).
- Italconsult. (1973). دراسة المياه الجوفية لحوض صنعاء. برنامج الأمم المتحدة الإنمائي اليمن / Italconsult، روما.
- Al-Rehaili, M. H., & Moore, T. A. (1989). الخريطة الجيولوجية لمربع مكة، المملكة العربية السعودية (مقياس 1:250,000 [خريطة جيولوجية GM-107C]. المديرية العامة للموارد المعدنية، السعودية.
- Merghelani, H., El-Isa, Z., & Bazzari, M. (1984). سلسلة زلازل خليج العقبة يناير-أبريل 1983. المجلة الجيوفيزيائية الدولية، 78، 711-722. مطبعة جامعة أكسفورد.
- Jado, A., وآخرون. (1984). الهندسة الجيولوجية لمدينة مكة المكرمة. هيئة المساحة الجيولوجية السعودية.
- أحمد، بدر الدين. (1992). مناخ مكة المكرمة. سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية، معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
- أحمد، بدر الدين. (1993). مناخ المملكة العربية السعودية. الجمعية الجغرافية الكويتية، قسم الجغرافيا، جامعة الكويت، الكويت، العدد 511.
- بخرجي، فوزية. (2002). خصائص الرياح السطحية وأثارها البيئية في شمالي المملكة. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.
- بدوي، إبراهيم. (2004). الجغرافيا المناخية مع نماذج تطبيقية للوطن العربي والمملكة العربية السعودية. مكتبة الشقري، الرياض.
- الشريف، عبد الرحمن. (1976). جغرافية المملكة العربية السعودية. دار المريخ للنشر، الرياض.
- الصالح، محمد. (1998). تقدير التبخر الشهري في المملكة العربية السعودية. الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت، الكويت، العدد 251.

- عزيز، مكي. (1972). الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية. مجلة كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.
- هيئة المساحة الجيولوجية السعودية. (2012). المملكة العربية السعودية: حقائق وأرقام. المملكة العربية السعودية.
- الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة. (2010). البيانات المناخية لمحطات الرصد الجوي في المملكة العربية السعودية للفترة 1985–2010. خرائط الضغط الجوي من المركز الوطني الأمريكي للتوقعات البيئية (NCEP) مُتاح على: <http://www.ncep.noaa.gov>

المراجع غير العربية:

- Alshehri, F., & Abdelrahman, K. (2023). Groundwater potentiality of Wadi Fatimah using geophysical and GIS techniques. *Water*, 15(1828) <https://doi.org/10.3390/w15101828>
- Bishta, A. Z., & Qudsi, E. Z. (2023). Implementation of space imageries, remote sensing and GIS techniques in the geological and geomorphological analysis of Wadi Fatima drainage basin. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 26(3), 563–579. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.06.004>
- Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). The “Anthropocene.” *Global Change Newsletter*, 41, 17–18.
- Khan, M. Y. A. (2024). Evaluating the spatial variations in bed sediment and their depositional environments in Wadi Fatima, Saudi Arabia. *Water*, 16(24), 3553. <https://doi.org/10.3390/w16243553>
- McHarg, I. L. (1969). *Design with nature*. New York: Wiley.
- Prasetyo, W. E., Devy, M. M. R., et al. (2022). Geomorphological mapping for land suitability evaluation. In *Proceedings of ICGE 2021 Conference* (pp. 259–274).
- Saudi Press Agency. (2024, December 3). Saudi Green Initiative drives sustainable development and climate action. Retrieved from <https://www.spa.gov.sa>
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? *AMBIO*, 36(8), 614–621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2)
- Vision 2030. (n.d.). Saudi Green Initiative. Retrieved from <https://www.vision2030.gov.sa>
- Zhang, H., Tang, G., Xiong, L., et al. (2024). Geomorphology-oriented theoretical framework and construction method for value-added DEM. *Journal of Geographical Sciences*, 34, 165–184. <https://doi.org/10.1007/s11442-024-21>