المملكة العربية السعودية
وزارة التعليـــم
جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية
عمـــادة البحـث العلمـــي

رؤيـــة VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية

مجلة علمية دوريّة محكّمة

العدد الثمـانـون
ربيع الآخر 1448هـ أكتوبر 2026م

دور حملات العلاقات العامة بوزارة الداخلية في التوعية بأضرار المخدرات وانعكاساتها على زيادة الوعي لدى الجمهور الكويتي
دراسة مسحية د. محمد مرضي الشمري

نموذج سببي مقترح للعلاقة بين هوس السّلْـفي وأنماط الشخصية وأثرهما في التفاعل الاجتماعي لدى مستخدمي تطبيقات وسائل التواصل الاجتماعي
د. أحمد بن سعد بن ناصر الأحمد

المحددات الاجتماعية للاختيار الزواجي في الثقافة الجمعية القبلية السعودية
دراسة نوعية في الفروق الجندرية
د. ابتسام علي العمري

الأمطار والسيول وتأثيرهما في بعض محاور التنمية المستدامة في محافظات غرب منطقة عسير
د. مشاعل فهد مطلق العتيبي

A Mathematical Model for Enhancing Financial Planning through Behavioral Insights
Author: Eyas Gaffar A. Osman

عمادة البحث العلمي
Deanship of Academic Research

www.imamu.edu.sa
imsiujhss@imamu.edu.sa

المشرف العام:

الأستاذ الدكتور / أحمد بن سالم العامري

معالي رئيس الجامعة

نائب المشرف العام:

الدكتور / نايف بن محمد العتيبي

وكيل الجامعة للدراسات العليا والبحث العلمي

رئيس التحرير:

أ. د. ظافر بن محمد القحطاني

أستاذ علم النفس

بجامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

مدير التحرير:

د. أسماء بنت منصور المشرف

أستاذ اللغة الإنجليزية المشارك

بجامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

أعضاء هيئة التحرير

أ.د. زهير بن عبد الله الشهري

قسم التاريخ والحضارة بجامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

أ.د. هيفاء بنت يوسف الكندري

قسم الخدمة الاجتماعية بجامعة الكويت

أ. د. علي عقله نجادات

كلية الإعلام بجامعة البترا

أ. د. سطم بن صالح الجوعاني

قسم المحاسبة بجامعة تكريت

أ.د. عبد الرحمن محمد الحسن أحمد

قسم الجغرافيا بجامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

أ. د. محمد لخضر قويدر روبي

قسم علم النفس بجامعة البحرين

د. جوزيف فرنسيس إنجمان

جامعة ولاية نيويورك في بوفالو

د. دانيال بيلي

جامعة كونكوك

د. أندريا راكوشين لي

جامعة ولاية أوستن بي

د. سعد بن سعيد ربحان

أمين تحرير المجلة

الأمطار والسيول وتأثيرهما في بعض محاور التنمية المستدامة في محافظات غرب منطقة عسير

إعداد:

د. مشاعل فهد مطلق العتيبي

أستاذ الجغرافيا المناخية المساعد، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك فيصل

الأحساء، المملكة العربية السعودية

Rainfall Floods and Their Influence on Sustainable Development in the Western Asir Region

Prepared by:

Dr. Mashael Fahd Mutlaq Al Otaibi

Assistant Professor of Climate Geography, Department of Geography, College of Arts, King Faisal University

AL-Ahsa, Kingdom of Saudi Arabia

تاريخ ورود البحث	تاريخ قبول البحث
١٤٤٦/٩/٢٣هـ - ٢٠٢٥/٣/٢٣م	١٤٤٧/١/٢٤هـ - ٢٠٢٥/٧/١٩م


بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص الدراسة:

تهدف الدراسة إلى تحليل خصائص الأمطار والسيول في غرب عسير، حيث تتميز منطقة الدراسة بزيادة كميات الأمطار؛ بخاصة شرقها، وقد دُرِس الفاقد من الأمطار سواء بسبب التبخر أو التسرب لتحديد الفائض أو العجز المائي زمانياً ومكانياً؛ حيث تتحكم عدة عوامل في تحديد كميات الأمطار، منها: طبيعة الوحدات التضاريسية وخصائصها الشكلية، كما قُسّمت منطقة الدراسة إلى سبعة أحواض لتحليل كميات الأمطار الساقطة وحساب الفاقد منها، وتحديد المناطق المعرضة للسيول وتصنيفها بحسب درجة خطورتها، ومدى تأثيرها في التنمية العمرانية وشبكات الطرق والزراعة، واعتمدت الدراسة على بيانات خمس محطات مناخية هي: (أبها، السودة، النماص، محايل، المجاردة) للفترة الزمنية ١٩٨٥-٢٠١٩، وأظهرت النتائج أن أعلى فاعلية للمطر في النماص والسودة وأبها، بينما كانت الأقل في محايل والمجاردة؛ بخاصة في محافظة البرك والأطراف الشرقية لمحايل والمجاردة، وبلغ حجم الجريان السطحي في الأحواض المدروسة نحو ٢٧١٥٣ مليون م٣، وكان أعلى صافٍ للجريان في وادي نكب بـ ٣٧٥٠ مليون م٣، بينما سجل وادي حلى أقل كمية بـ ٣٩٣,٧ مليون م٣، وتؤكد النتائج أهمية دراسة الأمطار والسيول لضمان التنمية المستدامة وتقليل المخاطر التي نواجهها في منطقة الدراسة.

كلمات مفتاحية: الأمطار، التبخر الفعلي، معدلات التسرب، درجات خطورة السيول.

Abstract:
This study investigates the spatial and temporal patterns of rainfall and runoff in the western region of Asir, Saudi Arabia, an area known for relatively high precipitation levels, particularly in its eastern parts. The research aims to quantify rainfall losses—through evaporation and infiltration—and to assess water surplus or deficit across different zones and time periods. Topography and morphological characteristics of the terrain were found to be key influencing factors in rainfall distribution. The study area was divided into seven hydrological basins to analyze rainfall input, estimate losses, and identify flood-prone zones based on their hazard levels. Furthermore, the research evaluates the impact of flash floods on urban development, road networks, and agriculture. Climatic data from five meteorological stations, such as Abha, Al-Souda, Al-Namas, Muhayil, and Al-Majardah, were utilized, covering the period from 1985 to 2019. Results indicate the highest rainfall effectiveness in Al-Namas, Al-Souda, and Abha, while Muhayil and Al-Majardah, especially Al-Birk and their eastern outskirts, experienced significantly lower values. The total estimated surface runoff across the basins reached approximately 27,153 million cubic meters, with Wadi Nakb recording the highest runoff volume 3,750 million cubic meters, and Wadi Hali the lowest 393.7 million cubic meters. These findings underscore the critical role of hydrological studies in ensuring sustainable development and minimizing flood-related risks in the region.

Keywords: Rainfall – Actual evaporation – Infiltration Rates – Flood Hazard Levels.

مُقَدِّمَة

تعد دراسة الأمطار والسيول من الدراسات النفعية، التي تتجه إلى تقييم كميات مياه الأمطار وتقديرها، وتقليل الفاقد من المياه سواء بالتسرب أو التبخر، وذلك للاستفادة منها. ويهدف الاهتمام بدراسة الأمطار والسيول إلى معرفة صافي المياه وتحديد مدى الاستفادة منها في شتى الأنشطة البشرية المتاحة بمنطقة الدراسة، عن طريق تحديد المدخلات المائية المتمثلة في مياه الأمطار والمخرجات المتمثلة في التبخر والتسرب. وتبرز أهمية دراسة الأمطار في غرب عسير لدورها الأساس في تقييم مدى توافر المياه السطحية والجوفية، وتأثير العوامل المناخية في هذه الموارد بناءً على معرفة التفاعل بين العوامل المناخية المختلفة وكيفية إدارة الموارد المائية بفعالية، نظراً للطبيعة الجبلية للمنطقة والتباين في كميات الأمطار (Al-Harbi, 2021, p 26).

وتعد منطقة غرب عسير من المناطق التي تتسم بتضاريس جبلية معقدة، مما يجعلها عرضة لتقلبات مناخية ملحوظة تؤثر بشكل كبير في خصائص الأمطار والسيول؛ حيث تشهد أمطاراً غزيرة في كثير من الأوقات خلال فصول العام، مما يؤدي إلى تدفق المياه بشكل مفاجئ في الأودية والشعاب الجبلية.

وتعد هذه السيول من أبرز التحديات التي تواجه التنمية من خلال تأثيراتها البيئية وانعكاسها على مظاهر التنمية، كما أن دراسة خصائص الأمطار والسيول في منطقة غرب عسير تعد أمراً بالغ الأهمية لفهم العلاقة بين الأمطار والتضاريس؛ حيث يمكن من خلال دراسة موسمية الأمطار تحديد فترات الذروة التي تشهد فيها المنطقة أعلى معدلات الأمطار، وبالتالي الاستفادة القصوى من هذه الأمطار، بينما يسهم تحليل خصائص السيول في تقييم الأضرار المحتملة وسبل التخفيف والحد من تأثيراتها، علاوة على ذلك تسهم هذه الدراسة في تحديد درجات

الخطورة، ومدى تأثيرها في المناطق الزراعية والعمرانية وشبكات الطرق (El-Rawy, 2023,p15).

وتعد السيول في منطقة عسير من التحديات البيئية التي تؤثر بشكل مباشر في التنمية، فمع أن الأمطار الغزيرة تعد مصدراً مهماً للمياه، فإن تدفق السيول المفاجئ يمكن أن يسبب أضراراً كبيرة للبنية التحتية والطرق والجسور والمباني، مما يؤدي إلى تعطيل الأنشطة الاقتصادية وتوقف بعض المشاريع التنموية، كما أنها تؤثر في القطاع الزراعي؛ حيث تضر بالمحاصيل الزراعية وإنتاجها، كما تؤدي إلى تعرية التربة وانجرافها.

ونظراً لحرص المملكة على الاستفادة القصوى من مياه السيول، فقد نفذ معهد الأمير سلطان مشروع الملك فهد لحصاد مياه الأمطار والسيول وتخزينها بالمملكة؛ حيث أنشئ ما يقارب من ٢٢٠ سداً مقاماً في بطون الأودية الرئيسة في المملكة العربية السعودية (آل الشيخ، ٢٠٠٦، ص٧٥)، وفي عام ٢٠١٦م بلغ إجمالي السدود باختلاف أغراضها في المملكة ما يقارب ٥٠٨ سدّ، تصل سعة تخزينها ٢,٢٥٠,٠٤٣ متراً مكعباً (وزارة البيئة والمياه والزراعة، ٢٠١٦).

مشكلة الدراسة:

تقع المملكة العربية السعودية ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف، مما يجعلها تواجه تحديات وصعوبات كبيرة في مواردها المائية، ومع أن نطاق غرب عسير يعد من أكثر مناطق المملكة مطراً، فإن هذه المياه تتعرض للفقد نتيجة للتبخر أو التسرب في الشقوق الأرضية، غير أنها تسهم في تغذية المياه الجوفية، وبالتالي فإن هناك كميات كبيرة من هذه المياه السطحية مهدرة، وإن استغلت بشكل صحيح تصبح مورداً يعتمد عليه، وزاد الأمر إشكالية نتيجة تعرض منطقة الدراسة للسيول، التي ينبغي الاستفادة منها قدر المستطاع، وتفادي سلبياتها على محاور التنمية المختلفة بالمنطقة، وتجنب أن تُنفَق مبالغ كبيرة في إعادة تأهيل ما دمرته السيول.

أهمية الدراسة:

تحقيقاً للتنمية المستدامة بمنطقة الدراسة وتأمين احتياجاتها من المياه فإن ذلك يتطلب تحليل خصائص الأمطار بمنطقة الدراسة، وتأثيرها في توافر الموارد المائية، والإسهام في التخطيط المائي من خلال تقديم بيانات علمية تدعم صناع القرار في وضع استراتيجيات فعالة لإدارة المياه، فضلاً عن التصدي ومواجهة تحديات الفترات المطرية التي ينتج عنها السيول بالمنطقة، والاستفادة القصوى من هذه المياه؛ حيث أولت المملكة اهتماماً بكيفية المحافظة على مياه الأمطار والسيول وتخزينها في مناطق المملكة بوجه عام. وتُعنى الدراسة بتحديد مناطق احتمالية السيول ودرجات خطورتها بمنطقة غرب عسير، وأثر هذه السيول في الطرق والعمران والزراعة، وطرق مواجهة هذه الأخطار، ووضع سياسات لحماية البنية التحتية لتفادي أخطارها، ويمكن تحديد الأهمية العلمية لهذه الدراسة في تحليل خصائص الأمطار والسيول في منطقة غرب عسير، مما يسهم في فهم التغيرات المناخية المحلية وتأثيرها في التنمية المستدامة، بينما تتضح الأهمية التطبيقية في توجيه التخطيط العمراني وحماية الطرق والمناطق الزراعية من أخطار السيول، بما يخدم تحقيق التنمية المستدامة في المنطقة بشكل يتناسب مع طبيعتها الجغرافية والمناخية.

تساؤلات الدراسة:

في ضوء مشكلة الدراسة والخلفية العلمية من الدراسات السابقة، يمكن طرح التساؤلات التالية:

١- ما أكثر المناطق تركزاً وفاعلية للأمطار في محافظات غرب منطقة عسير؟

٢- ما حجم الفاقد المائي بالتبخر والتسرب في محافظات غرب منطقة عسير؟

٣- ما حجم صافي المياه التي يمكن الاستفادة منها اقتصادياً في محافظات غرب منطقة عسير؟

٤- ما ضرر الجريان السطحي الفجائي (السيول) على مظاهر التنمية في محافظات غرب منطقة عسير؟

أهداف الدراسة:

تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:

١- تحليل خصائص الأمطار لمعرفة مناطق تركزها في محافظات غرب منطقة عسير.

٢- تقسيم محافظات غرب منطقة عسير من حيث حجم الأمطار لتحديد أكثر المناطق لفاعلية المطر ومدى الاستفادة منها.

٣- تقدير حجم الفقد المائي عن طريق التبخر والتسرب ومن ثم تقدير صافي المياه التي يمكن الاستفادة منها في محافظات غرب منطقة عسير.

٤- دراسة العلاقة بين احتمالية السيول ومدى تأثيرها في التنمية المستدامة في منطقة غرب عسير.

منهجية الدراسة:

تحقيقاً لأهداف الدراسة، فقد استُخدم المنهج الإقليمي لتحديد منطقة الدراسة لتشمل المحافظات الأكثر مطراً بالمنطقة، والمنهج الموضوعي في دراسة خصائص الأمطار في منطقة غرب عسير، اعتماداً على خمس محطات مناخية موزعة في منطقة الدراسة كما يتبين من الجدول (١)، ومن الأساليب المستخدمة الأسلوب الكمي لتحديد متوسطات الأمطار لمحطات منطقة الدراسة وذلك خلال الفترة المناخية المدروسة (١٩٨٥ – ٢٠١٩)، وكذلك حساب فاعلية الأمطار وخصائصها طبقاً للمعايير المدروسة، فضلاً عن تقدير حجم الجريان السطحي، الذى يعتمد على بعض المعاملات المورفومترية، وقد سعت الباحثة إلى تحديد كميات الأمطار الشهرية والفصلية والسنوية، ومن ثم دراسة خصائص المطر

ومدى تركزه من خلال قرينة لورنز، ثم تحديد فاعلية المطر ومعرفة أكثر المناطق فاعلية للأمطار بمنطقة الدراسة، وذلك عن طريق تطبيق معياري ديمارتون وكوبن على محطات منطقة الدراسة، ثم دراسة الأحواض التي تسقط عليها هذه المياه، وحساب صافي الجريان المائي زمانياً ومكانياً، وذلك عن طريق تقسيم منطقة الدراسة إلى مناطق متدرجة في درجات الخطورة، ومعرفة أثرها في المناطق العمرانية وشبكات الطرق والمناطق الزراعية. فضلاً عن الأسلوب الكارتوجرافي في إنشاء خريطة الأساس Base Map والطبقات الخاصة ببعض الظاهرات الجغرافية وعنصر المطر باستخدام Feature Dataset، وأسلوب الاشتقاق المكاني Spatial Interpolation في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، للاستدلال عن القيم المتساوية بإنشاء خرائط خطوط التساوي Isopleth استنادا إلى البيانات المتوافرة والمرصودة Observed Data في محافظات غرب منطقة عسير؛ حيث ينتج عن تطبيق هذا الأسلوب تمثيل الظاهرات المرتبطة ببعض محاور التنمية المستدامة.

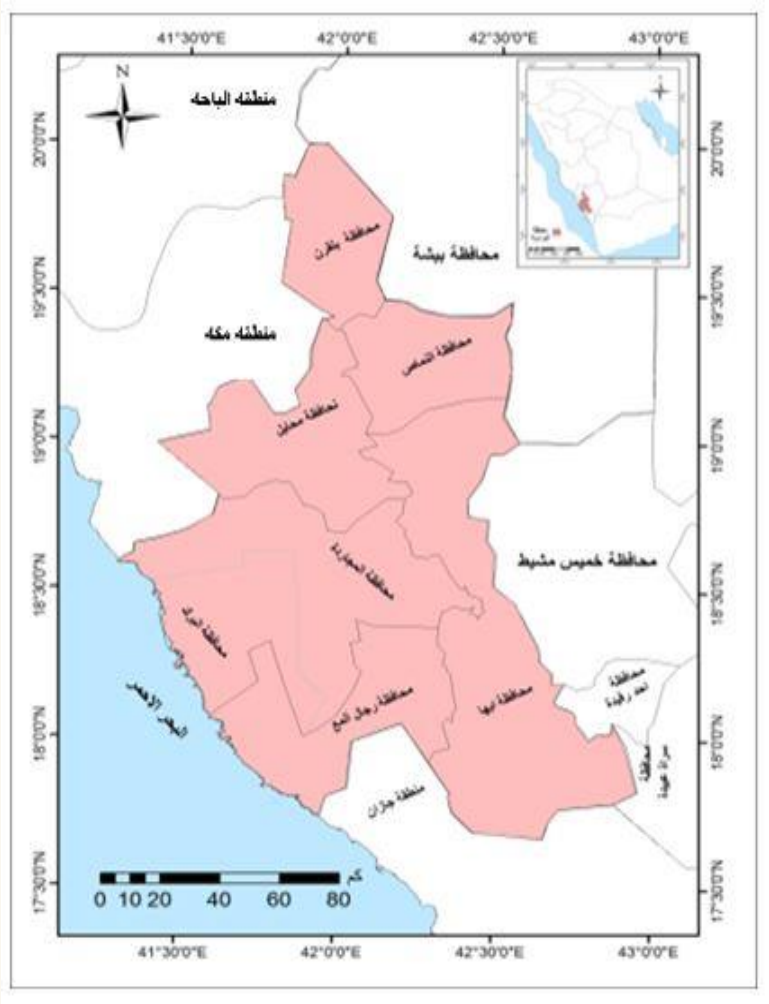
جدول (١) محطات الرصد الجوي التي اعتمدت عليها الدراسة

المحطة	الموقع الفلكي		الارتفاع (مترا)
	دائرة العرض (شمالًا)	خط الطول (شرقًا)	
أبها	١٨ ١٣	٤٢ ٣٩	٢٢٥٠
السودة	١٨ ١٥	٤٢ ٢٢	٣٠١٥
النماص	١٩ ١٠	٤٢ ٩	٢٨٠٠
محايل	١٨ ٥٢	٤٢ ٢٨	٨٥٠
المجاردة	١٩ ١	٤١ ٣٠	١٥٠٠

المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد ٢٠٢٣.

موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في غرب منطقة عسير وتشمل سبع محافظات منها، هي: محافظات أبها، النماص، بلقرن، محايل، المجاردة، البرك، رجال ألمع. وتمتد فلكيًا بين دائرتي عرض ٤٠َ ١٧ْ ٤ً، ٠َ ٢٠ْ ٠ً شمالاً، وبين خطي طول ٢٥َ ٤١ْ ١٣ً، ٣٠َ ٥٧َ ٤٢ْ شرقا، ويحد المنطقة محافظات بيشة وخميس مشيط وأحد رفيدة وسراة عبيدة شرقاً، والبحر الأحمر غرباً، بينما يحدها شمالاً منطقتا مكة والباحه، أما جنوباً فيحدها منطقة جازان (شكل ١).



المصدر: وزارة الشئون البلدية والقروية، وكالة الوزارة لتخطيط المدن، المخطط الاقليمى لمنطقة عسير ١٤٤٠

شكل (١) موقع منطقة الدراسة

الدراسات السابقة:

نستعرض الدراسات السابقة من خلال تناول الموضوعات ذات الصلة المباشرة بموضوع الدراسة، إضافةً إلى الدراسات التي تناولت المنطقة الجغرافية محل البحث، وذلك وفق الآتي:

– دراسة الصالح (١٩٩٧) عن التوزيع الزماني والمكاني للأمطار في مدينة الرياض، حيث هدفت الدراسة إلى حساب الاختلاف الزماني للأمطار للفترة الزمنية (١٩٦٥ – ١٩٩٥)، واستخدمت الدراسة الأساليب الإحصائية لحساب معامل الاختلاف للأمطار اليومية، مع تحليل مكاني للأمطار باستخدام بيانات محطات الرصد، وكانت أبرز النتائج تحديد معامل الاختلاف الذي بلغ ١٤٦ % للأمطار اليومية في الرياض، ومعرفة التوزيع الزماني والمكاني للأمطار في مدينة الرياض.

– دراسة آل الشيخ (٢٠٠٦) عن حصاد مياه الأمطار والسيول وأهميتها للموارد المائية في المملكة العربية السعودية للفترة (١٩٨٠ – ٢٠٠٠)؛ حيث هدفت الدراسة إلى معرفة التوزيع الجغرافي للأمطار في المملكة، وأهمية الاستفادة من مياه السيول في دعم القطاعات الزراعية، وتأمين مصادر المياه للمدن والقرى البعيدة عن مصادر المياه التقليدية، وأكدت الدراسة أهمية مياه السيول كمصدر غير تقليدي للمياه، وأوصت الدراسة بضرورة تطوير تقنيات حصاد المياه، وتبني سياسات إدارة متكاملة للموارد المائية لمواجهة تحديات ندرة المياه في المملكة .

– دراسة الكناني (٢٠٠٦) عن تحليل السلاسل الزمنية للأمطار في العراق، واستخراج سنوات الجفاف وكيفية التنبؤ بتلك السنوات، وهدفت الدراسة إلى معرفة تباين قيم الأمطار الساقطة في العراق خلال الفترة من (١٩٥٠ – ٢٠٠٠) بين مناطق العراق المختلفة، واعتمدت منهجية الدراسة على التحليل الإحصائي للسلاسل الزمنية لتحديد التغيرات المناخية، واتضح من نتائج الدراسة أن هناك

بعض السنوات يقل فيها التساقط المطري عن المعدل السنوي، كما أمكن رصد وتحديد السنوات الجافة في كميات الأمطار المتوقعة للمدة من (٢٠٠٦-٢٠١٥).

- دراسة (Shereif, 2015) عن أهمية حصاد مياه الأمطار في المملكة المتحدة للجزء الجنوبي الشرقي من انجلترا للفترة الزمنية من (١٩٩٠-٢٠١٠)، الذي يتصف بندرة المياه بالمقارنة بشمال وغرب انجلترا، وقد هدفت الدراسة إلى تحديد معايير مناطق الحصاد، واتبعت منهجية تحديد معايير اختيار مواقع حصاد المياه باستخدام النمذجة الجغرافية ومعايير الهيدرولوجيا المناخية. وأوصت الدراسة بالمزيد من دراسات تقنيات تجميع مياه الأمطار.

- دراسة أبو غرسة (٢٠١٥) عن القيمة الفعلية للمطر والموازنة المائية في منطقة سرت للفترة الزمنية (١٩٩٥-٢٠١٥)، وهدفت الدراسة إلى تحديد القيمة الفعلية للمطر من خلال معادلتي ديمارتون وشرف، وأظهرت النتائج أن شهر سبتمبر هو أقل قيمة لفاعلية المطر، أما أعلى قيمة فكانت لشهر ديسمبر، كما تم التطرق لدراسة الموازنة المائية، وتحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية في المناطق التي تعاني من تذبذب المطر.

- دراسة الشمري (٢٠٢١) عن توظيف التحليل التكراري المقارن للأمطار اليومية القصوى في تقدير احتمالية هطولها بمنطقة عسير؛ حيث هدفت الدراسة إلى تناول تحليل تكرار كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة (١٩٧١ - ٢٠١٧)، واحتمالية سقوطها بمنطقة الدراسة، واستخدمت الدراسة التحليل الإحصائي التكراري لمعدلات الهطول القصوى لتقدير الاحتمالات المستقبلية للأمطار الشديدة، وبينت الدراسة أن هناك تفاوتاً في تكرار الأمطار الشديدة، مما يتيح إمكانية تقدير مخاطر الفيضانات وتحسين التخطيط لمواجهتها.

- دراسة (Al-Harbi, 2021) عن التقييم المتوازن للمياه من أجل التنمية المستدامة في جنوب غرب المملكة العربية السعودية للفترة الزمنية (٢٠١٠-٢٠٢٠)،

التي هدفت إلى تقييم توازن المياه في منطقة جنوب غرب المملكة، بخاصة في مناطق مثل عسير وجازان، كما هدف البحث إلى دراسة كيفية استخدام الموارد المائية بشكل مستدام لدعم التنمية في هذه المناطق التي تواجه تحديات مائية بسبب الجفاف وتغير المناخ، واستخدمت الدراسة تحليل موازنة المياه بين الموارد المتاحة والطلب المتوقع، وأظهرت الدراسة اختلالاً في التوازن المائي نتيجة الجفاف وتغير المناخ.

– دراسة الأسمري (٢٠٢٢) عن الملاءمة المكانية لحصاد مياه الأمطار في محافظة النماص بالمملكة العربية السعودية للفترة الزمنية (٢٠٠٠ – ٢٠٢٠)، التي هدفت إلى دراسة خصائص الأمطار في محافظة النماص، وتقدير حجم المياه الجارية في أحواضها، ومن ثم تحديد الأنماط الأكثر ملاءمة لإنشاء مشاريع خزن مياه الأمطار، واعتمدت الدراسة على تحليل خصائص الأمطار وتقدير الجريان السطحي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة المكانية، وحددت الدراسة مواقع ذات كفاءة عالية لإنشاء مشروعات حصاد مياه، وأوصت بتطبيقها لدعم الأمن المائي وتقليل الفاقد من الجريان السطحي.

وتتفق الدراسة الحالية مع الدراسات السابقة في منهجية الدراسة، والتطرق لدراسة فاعلية الأمطار في بعض الدراسات المدروسة، منها: دراسة أبو غرسة. كما تتفق مع بعض الدراسات السابقة في تحليل ودراسة الميزانية المائية وتقدير حجم الجريان السطحي، منها: دراسة الأسمرى، بينما تمثل الإضافة العلمية لهذه الدراسة في إنتاج خريطة درجات خطورة السيول، وتقسيم منطقة الدراسة إلى مناطق متدرجة في الخطورة، فضلاً عن توقيع شبكات الطرق والعمران والزراعة على خريطة درجات خطورة السيول، وتحديد المناطق ذات الخطورة العالية وأثرها في مظاهر التنمية العمرانية والزراعية.

وقد استفادت الدراسة الحالية من الدراسات السابقة كدراستي الكناني وآل

الشيخ في بناء الإطار النظري، فضلاً عن الاستفادة من الأساليب المستخدمة بغاية تحقيق أهداف الدراسة.

التحليل والمناقشة:

أولاً: خصائص الأمطار في محافظات غرب منطقة عسير:

يحظى جنوب غرب المملكة بكميات وفيرة من الأمطار، وذلك نظراً لوقوع المنطقة تحت تأثير نطاقين من الضغط المنخفض:

الأول: المنخفض السوداني في فصل الصيف الذي يعمل على جذب الهواء الرطب عند مروره عبر سواحل البحر الأحمر فيحمل كميات كبيرة من بخار الماء ويصل إلى مرتفعات جنوب غرب عسير، مما يسبب هطول الأمطار.

والآخر: منخفض شرق البحر المتوسط في فصل الشتاء، الذي يتوغل إلى منطقة الدراسة مما يسبب الأمطار الشتوية (الجراش، ١٩٨١، ص ٥٤)، لذلك تسهم الرياح الموسمية والمنخفضات الجوية في زيادة متوسطات الأمطار مقارنة بمناطق أخرى في المملكة العربية السعودية، فضلاً عن الطبيعية التضاريسية الجبلية التي تعمل على رفع الهواء الرطب القادم من البحر الأحمر، مما يؤدي إلى تكثف السحب وسقوط الأمطار مما يميزها عن باقي مناطق المملكة الأقل مطراً.

١- التوزيع السنوي والفصلي لكميات الأمطار:

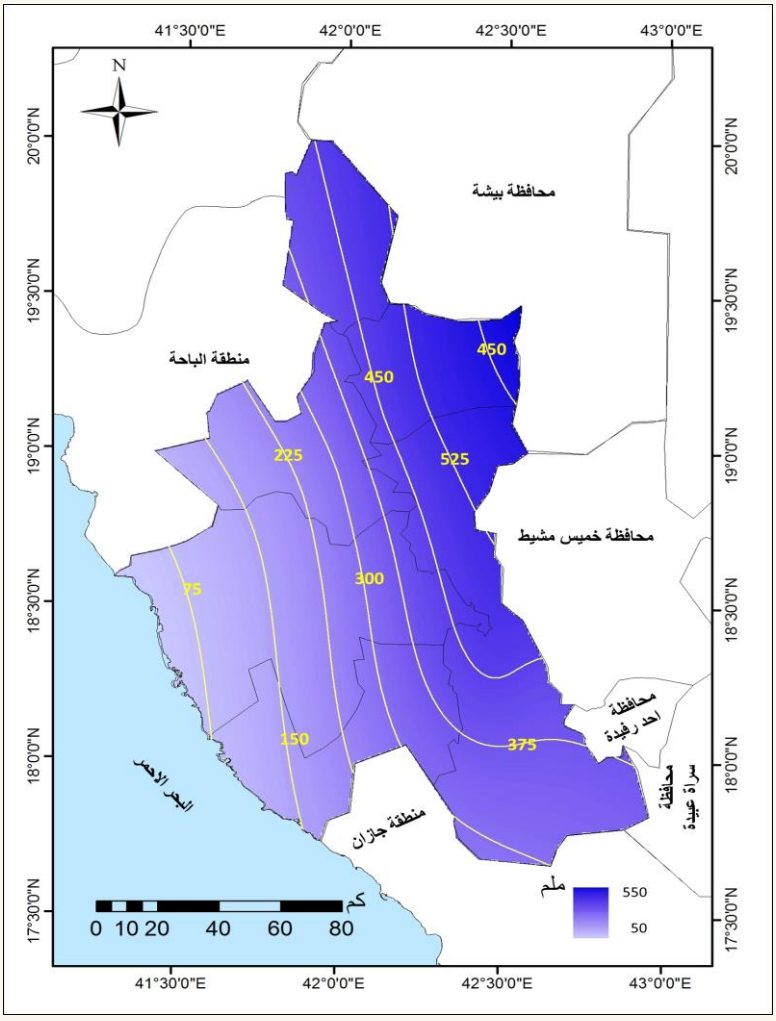
تبين من خلال تحليل الجدول (٢) والشكل (٢) أن المتوسط السنوي لكميات الأمطار يتراوح بين (٩٧,٨ - ٤٨٥,٩ ملم)، وكانت المناطق الأكثر ارتفاعاً هي الأعلى مطراً. ويعد فصل الربيع أكثر الفصول مطراً بإجمالي ٧٠١,٥ ملم، وتستأثر محطتا السودة والنماص بالنسبة الأعلى من هذه الكميات وذلك نظراً لبلغوهما أعلى ارتفاع تضاريسي بمنطقة الدراسة؛ حيث ترتفع السودة ٣٠١٥ مترا عن سطح البحر، والنماص ٢٨٠٠ متراً، يلي الربيع فصل الشتاء بإجمالي

٤١٦,٥ ملم، بينما سجلت محطتا محايل والمجاردة كميات منخفضة، مما يشير إلى ضعف تأثير المنخفضات الشتوية في المناطق المنخفضة، أما فصل الصيف فقد سجل ٢٦٨,٧ ملم مع تركز كميات الأمطار في محطات أبها والسودة مما يدل على تأثير الأمطار الجبلية الموسمية، بينما كان فصل الخريف في المرتبة الأخيرة من حيث إجمالي كميات الأمطار ١٦٥,١ ملم، مع استمرار النماص والسودة في تسجيل القيم الأعلى نسبياً، في حين استمرت محطتا محايل والمجاردة في تسجيل القيم الأدنى، مما يشير إلى أن الموقع الجغرافي والتضاريس يسهمان بدور رئيس في توزيع الأمطار موسمياً. وفيما يلي عرض تحليلي لكميات الأمطار على المستوى الفصلي، وترتبها تنازليا من الأعلى كمية إلى الأقل كمية.

جدول (٢) المتوسطات الفصلية والسنوية لكميات الأمطار (ملم) في غرب عسير للفترة (١٩٨٥ – ٢٠١٩)

المحطة المناخية	الشتاء		الربيع		الصيف		الخريف		السنوي
	كميات الأمطار	(%)	كميات الأمطار	(%)	كميات الأمطار	(%)	كميات الأمطار	(%)	
أبها	٧٨,٢	١٨,٧	١٧٢,١	٢٤,٥	١٠١,١	٣٧,٦	٢٨,٦	١٧,٣	٣٨٠
السودة	١٢٩,١	٣١	٢١٣,٣	٣٠,٤	٩٣,٩	٣٤,٩	٣٨,٣	٢٣,١	٤٧٤,٦
محايل	٣٤,٧	٨,٣	٤٤,٩	٦,٤	١٢,٨	٤,٧	٢١,١	١٢,٧	١١٥,٨
النماص	١٥٦,٦	٣٧,٧	٢٢٧,٣	٣٢,٤	٥٤,٤	٢٠,٢	٤٧,٦	٢٨,٨	٤٨٥,٩
المجاردة	١٧,٩	٤,٣	٤٣,٩	٦,٣	٦,٥	٢,٦	٢٩,٥	١٧,٨	٩٧,٨
المجموع	**٤١٦,٥**	**١٠٠**	**٧٠١,٥**	**١٠٠**	**٢٦٨,٧**	**١٠٠**	**١٦٥,١**	**١٠٠**	**١٥٥٤,١**

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد م تقارير مناخية غير منشورة (١٩٨٥ – ٢٠١٩).



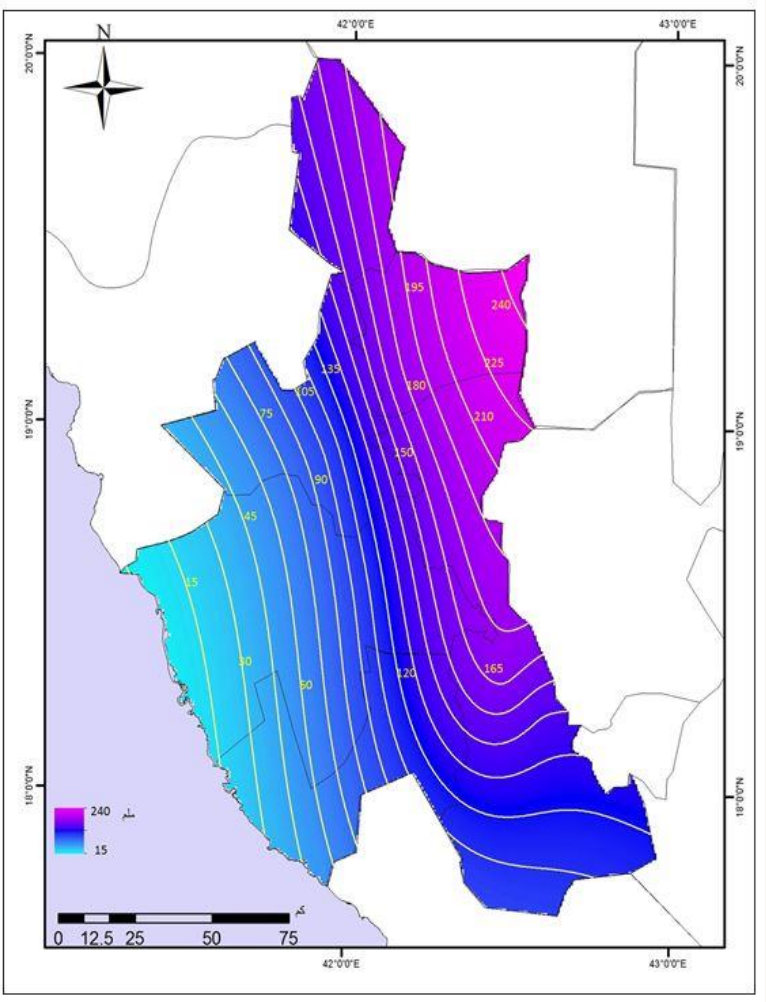
المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٢) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (٢)

خطوط تساوي متوسطات كميات الأمطار السنوية في منطقة الدراسة

فصل الربيع:

يعدّ فصل الربيع الفصل الأعلى مطراً بمنطقة الدراسة وذلك في كل محطات المنطقة؛ وذلك لتأثير الأمطار الموسمية التي تحدث نتيجة التقاء الكتل الهوائية فوق البحر الأحمر التي تؤدي إلى زيادة نشاط التيارات الهوائية الصاعدة، وهذه الأمطار ترافقها العواصف الرعدية التي أغلبها يسقط بعد الظهر بالإضافة إلى تأثير منخفض السودان الموسمي (الأحيدب، ١٩٩٨، ص٢٣)، فسجل فصل الربيع أعلى كميات أمطار في كل محطات منطقة الدراسة. سجلت النماص الأعلى ارتفاعاً عن مستوى سطح البحر ٢٢٧,٣ملم أي بنسبة ٤٦,٨ % من نسبة أمطارها السنوية، يليها السودة ٢١٣,٣ملم، بنسبة ٤٤,٩ % من كميات الأمطار السنوية بها بفصل الربيع.



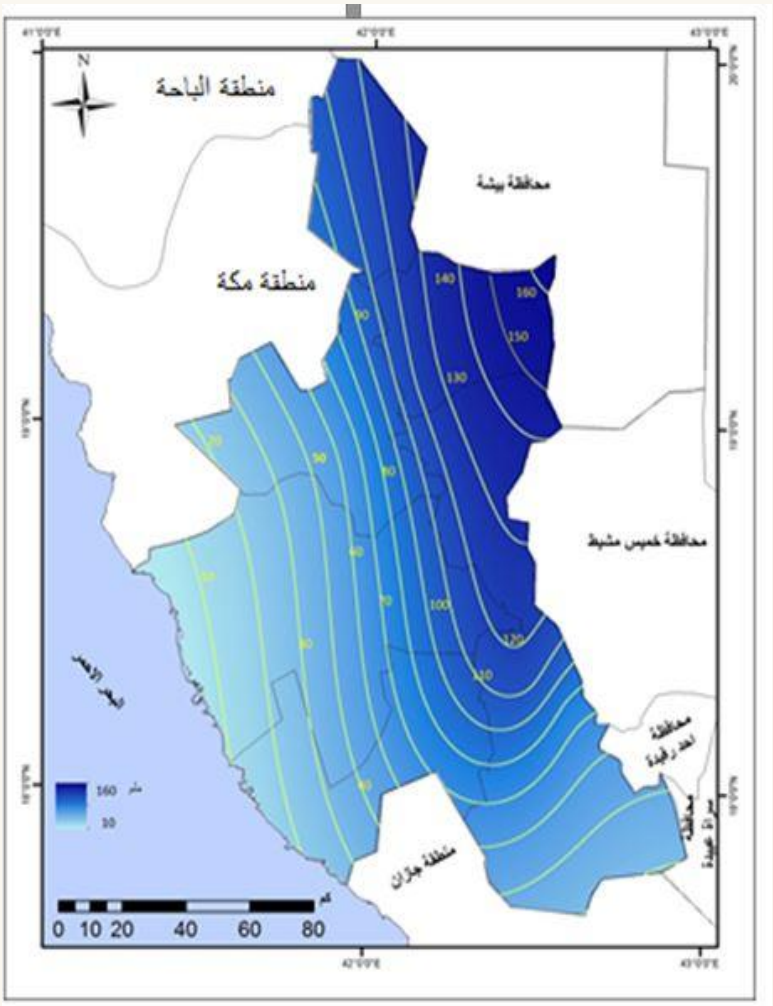
المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٢) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (٤)

خطوط تساوي متوسطات كميات الأمطار في فصل الربيع في منطقة الدراسة

فصل الشتاء:

يأتي فصل الشتاء في المرتبة الثانية مطراً بمنطقة الدراسة من حيث كميات الأمطار نتيجة تأثير المنخفضات الجوية القادمة من البحر الأبيض المتوسط، التي تؤدي إلى تكوين السحب الممطرة فوق المنطقة، بالإضافة إلى ذلك، تسهم الرياح الشمالية الغربية الباردة والرطبة في تكثف بخار الماء وسقوط الأمطار، بخاصة على المرتفعات الغربية من عسير (الأحيدب، ١٩٩٨، ص ٢٣)، فتتراوح متوسطات الأمطار بين (١٧,٩ – ١٥٦,٦ملم) بمحطات منطقة الدراسة، لتسجل النماص أعلى كميات أمطار شتاءً بنحو١٥٦,٦ ملم أي بنسبة ٣٢,٢ % من كميات أمطارها السنوية، وذلك نظراً لأنها أعلى منطقة الدراسة ارتفاعاً عن سطح البحر، ويليها محايل ٣٤,٧ملم، أي بنسبة ٢٩٪، ثم السودة ٢٧,٣ %، وكانت أقل نسبة أمطار شتاءً للمجاردة بنحو ١٧,٩ملم أي بنسبة ١٨,٣٪ .



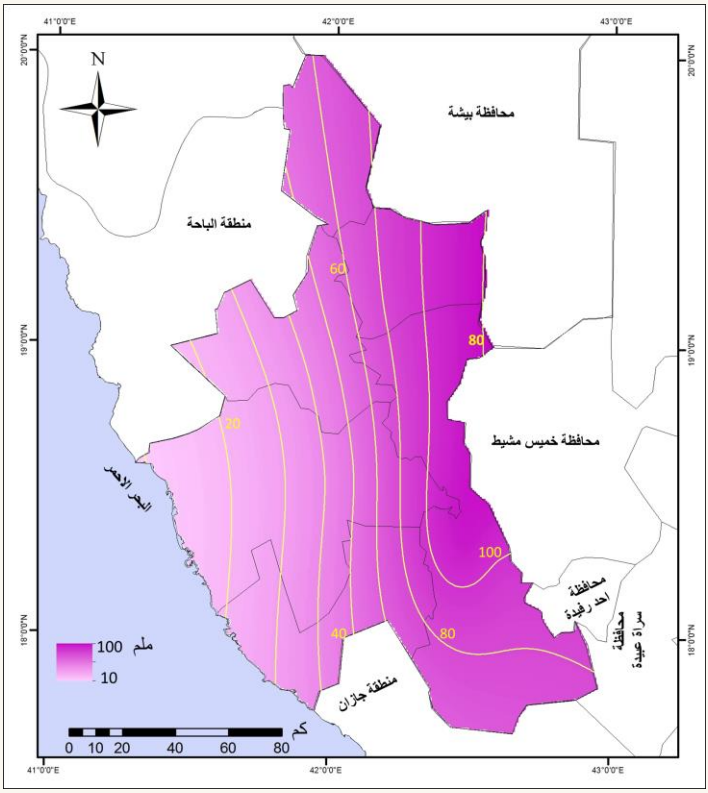
المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٢) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (٣)

خطوط تساوي متوسطات كميات الأمطار في فصل الشتاء في منطقة الدراسة

فصل الصيف:

يحتل فصل الصيف المرتبة الثالثة مطراً بمنطقة الدراسة بعد فصلي الربيع والشتاء، وذلك نظراً للارتفاع النسبي لدرجة الحرارة، وزيادة انخفاض الضغط الذى ينتج عنه زيادة في سرعة الرياح القادمة من البحر الأحمر في الغرب، وبالتالي زيادة نشاط التيارات الهوائية الصاعدة الرطبة، وتعد محطتا أبها السودة أعلى محطات منطقة الدراسة مطراً بفصل الصيف لتسجل أبها ١٠١,١ملم أي بنسبة ٢٦,٦٪ من نسبة أمطارها السنوية، والسودة ١٩,٨٪، ويرجع ذلك إلى وقوعهما في اتجاه هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية الرطبة، مما يؤدي إلى زيادة الأمطار بهما، التي ترافقها غالباً العواصف الرعدية التي تؤدي إلى الأمطار الشديدة التي يمكن أن تصل حد السيول، في حين سجلت محايل والنماص والمجاردة (١١، ١١,٢، ٦,٧ %) على التوالي.



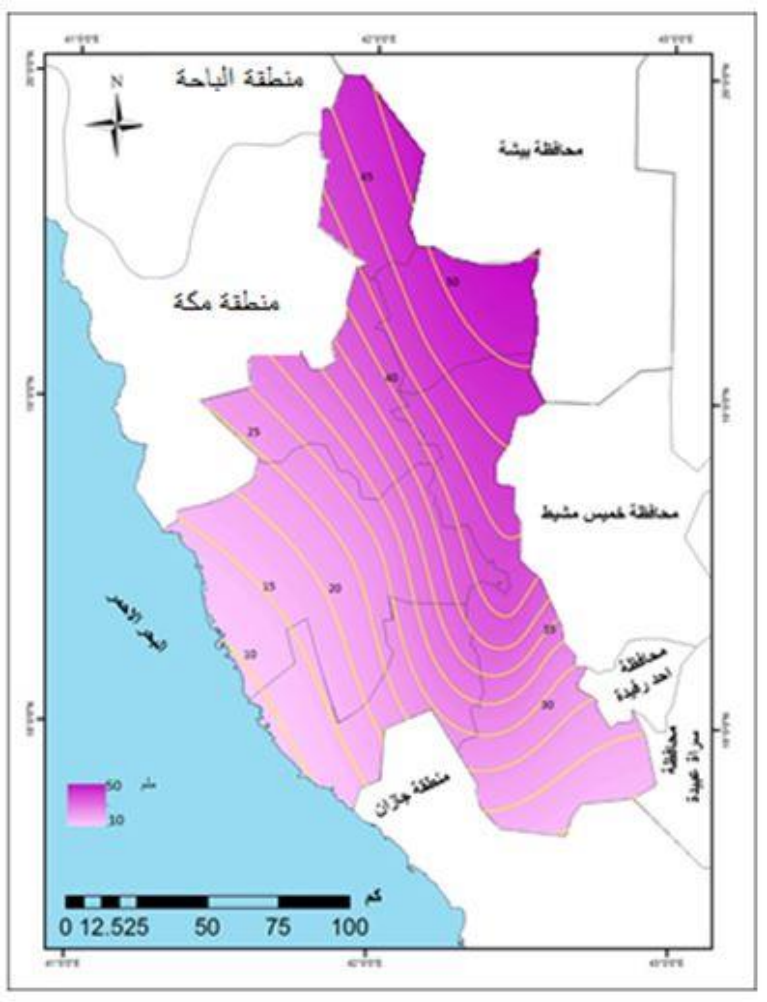
المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٢) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (٥)

خطوط تساوي متوسطات كميات الأمطار في فصل الصيف في منطقة الدراسة

فصل الخريف:

يعد فصل الخريف أقل فصول العام مطراً بمنطقة الدراسة، حيث يسجل المرتبة الرابعة في كميات الأمطار، وذلك نظراً لأن الكتل الهوائية الرطبة تحل محل الكتل الهوائية الجافة متأثرة بتوزيعات الضغط الجوي، كما أن الكتل الهوائية الرطبة القادمة من المحيط الأطلنطي والبحر المتوسط تأخذ في الهبوب من آن إلى آخر على الأجزاء الشمالية من المملكة، وقد تسقط الأمطار في أواخر هذا الفصل (سيف، ١٩٩٥، ص ٧٧)، ويستثنى من هذا الانخفاض محطة المجاردة التي وصلت نسبة الأمطار فيها في فصل الخريف ٣٠,١ % من نسبة الأمطار السنوية بها، ويليها محطة محايل ١٨٪، ويرجع ذلك إلى وقوعهما على منسوب منخفض عن باقي محطات الدراسة، بينما انخفضت كميات الأمطار بأبها والسودة والنماص إلى أقل معدلاتها خلال العام لتسجل (٧,٢، ٨، ٩,٨٪) على التوالي، ويعود ذلك إلى ضعف تأثير المنخفضات الجوية وقلة نشاط الرياح الموسمية خلال هذا الفصل.



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٢) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (٦)

خطوط تساوي متوسطات كميات الأمطار في فصل الخريف في منطقة الدراسة

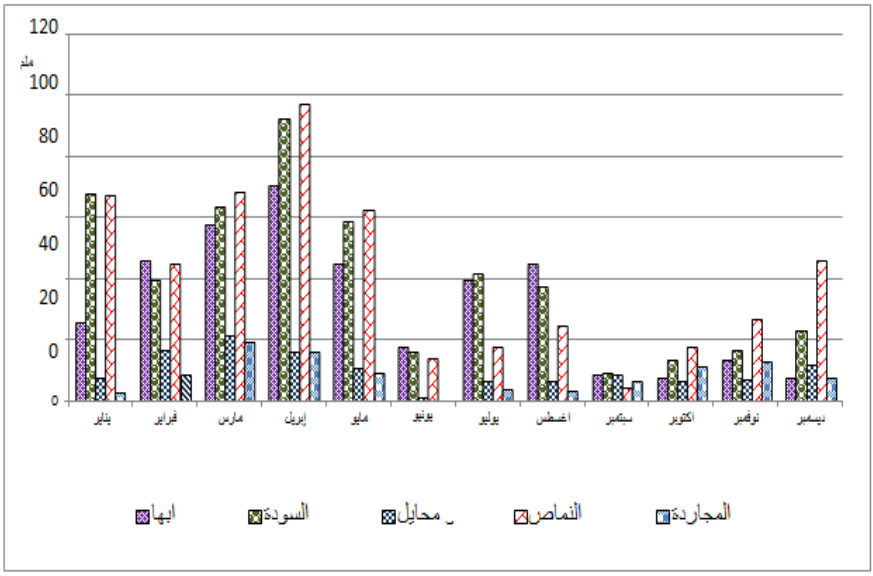
٢- التوزيع الشهري لكميات الأمطار:

تسقط معظم أمطار منطقة الدراسة خلال الفترة ما بين شهر يناير وحتى شهر أغسطس؛ حيث تسقط في هذه الفترة نحو ٩٠,٥ % من مجموع الأمطار السنوية لأبها، ونحو ٨٧,١ %، ٨٠,٩ % من مجموع الأمطار السنوية للسودة والنماص على التوالي، وتنخفض هذه النسبة في محايل والمجاردة إلى نحو ٧٢٪، ٦٢,٩٪ على التوالي، كما يستحوذ شهر أبريل على النصيب الأكبر من المطر بكل محطات منطقة الدراسة فسجل شهر أبريل بالنماص نحو٩٦,٩ ملم أي ما يمثل٢٠٪ من مجموع الأمطار السنوية، ويليه محطتا السودة وأبها (٩١,٨، ٧٠,٤ ملم)، أي بنسبة ١٩,٣ %، ١٨,٤ % على التوالي، ويرجع ذلك إلى ازدياد حركة الحزام المطري الاستوائي شمالاً، مما يعمل على نشاط الرياح الموسمية التي تحمل كميات كبيرة من الرطوبة، وعند اصطدام هذه الرياح بالمرتفعات الجبلية لعسير يحدث تكثف سريع لبخار الماء، مما يؤدي إلى تكوين السحب الممطرة، بالإضافة إلى ذلك تكون درجات الحرارة ملائمة لتكوين التيارات الصاعدة التي تسهم من فرص هطول الأمطار (الأحيدب، ١٩٩٨، ص ٣٣). ويليه شهر مارس الذي يشغل المرتبة الثانية مطراً بعد شهر أبريل، وذلك في كل محطات منطقة الدراسة، فقد سجل شهر مارس بالمجاردة ومحايل١٩,٦ %، ١٨,٣٪ من مجموع الأمطار السنوية على التوالي، بينما سجلت شهور فصل الخريف أقل الشهور مطراً خصوصا في محطات شرق منطقة الدراسة في أبها والسودة والنماص بالمقارنة بارتفاع كميات الأمطار في محطات غرب منطقة الدراسة في محايل والمجاردة، وذلك في فصل الخريف فقط.

جدول (٣) المتوسطات الشهرية لكميات الأمطار (ملم) في غرب عسير للفترة (١٩٨٥ – ٢٠١٩)

الشهر	أبها		السودة		محايل		النماص		المجاردة		المجموع الشهري	
	ملم	(%)	ملم	(%)	ملم	(%)	ملم	(%)	ملم	(%)	ملم	(%)
يناير	٢٥,٣	١٤,٩	٦٧,٣	٣٩,٧	٧,٢	٤,٢	٦٦,٨	٣٩,٥	٢,٥	١,٤	١٦٩,١	١٠٠
فبراير	٤٥,٥	٢٩,٥	٣٩,٢	٢٥,٤	١٦,٢	١٠,٥	٤٤,٣	٢٨,٧	٨,٧	٥,٦	١٥٣,٩	١٠٠
مارس	٥٧,٢	٢٤,٩	٦٣,٢	٢٧,٥	٢١,٢	٩,٢	٦٨,٢	٢٩,٧	١٩,٢	٨,٣	٢٢٩	١٠٠
أبريل	٧٠,٤	٢٤,٢	٩١,٨	٣١,٦	١٥,٦	٥,٣	٩٦,٩	٣٣,٣	١٥,٨	٥,٤	٢٩٠,٥	١٠٠
مايو	٤٤,٥	٢٤,١	٥٨,٣	٤٦,٢	١٠,٣	٥,٥	٦٢,٢	٣٣,٩	٨,٩	٤,٨	١٨٤,٢	١٠٠
يونيو	١٧,٢	٣٦,٢	١٥,٦	٣٢,٩	٠,٨	١,٦	١٣,٦	٢٨,٧	٠,٢	٠,٤	٤٧,٤	١٠٠
يوليو	٣٩,٢	٣٦,٦	٤١,٢	٣٨,٤	٥,٩	٥,٥	١٧,٢	١٦	٣,٦	٣,٣	١٠٧,١	١٠٠
أغسطس	٤٤,٧	٣٨,٩	٣٧,١	٣٢,٣	٦,٢	٥,٤	٢٤,١	٢٠,٩	٢,٧	٢,٣	١١٤,٨	١٠٠
سبتمبر	٨,٤	٢٣,٤	٨,٩	٢٤,٧	٨,١	٢٢,٥	٤,١	١١,٤	٦,٤	١٧,٨	٣٥,٩	١٠٠
أكتوبر	٧,٣	١٣,٣	١٣,٢	٢٤	٦,٢	١١,٢	١٧,٢	٣١,٢	١١,١	٢٠,٢	٥٥	١٠٠
نوفمبر	١٢,٩	١٧,٣	١٦,٢	٢١,٧	٦,٨	٩,١	٢٦,٣	٣٥,٢	١٢,٤	١٦,٦	٧٤,٦	١٠٠
ديسمبر	٧,٤	٧,٨	٢٢,٦	٢٤	١١,٣	١٢	٤٥,٥	٤٨,٤	٧,١	٧,٥	٩٣,٩	١٠٠

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد، مركز الوثائق العلمية مجموعة تقارير مناخية غير منشورة (١٩٨٥ – ٢٠١٩).



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٣).

شكل (٧) متوسطات الأمطار الشهرية في منطقة غرب عسير

يشير تحليل جدول (٣) إلى وجود تباين واضح في التوزيع المطري بين الأشهر والمحطات، فقد سجل شهرا مارس وأبريل أعلى المتوسطات المطرية الشهرية؛ حيث بلغ إجمالي كميات الأمطار في أبريل نحو ٢٩٠,٥ ملم، وهو ما يمثل ذروة الموسم المطير، تليها كميات مرتفعة في مارس ومايو، وتعد محطتا النماص والسودة الأكثر استقبالاً للأمطار خلال هذه الفترة، ويرجع ذلك إلى تأثير عامل الارتفاع وأيضاً اتجاه الرياح الغربية التي تمر فوق مياه البحر الأحمر مما يزيد من رطوبتها ويزيد كميات الأمطار نتيجة اصطدام الرياح بالحواجز الجبلية ثم صعودها لأعلى؛ حيث تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع، الأمر الذى يؤدي إلى تكاثف بخار الماء وسقوط الأمطار المؤدية للسيول، كما تظهر محطتا محايل والمجاردة أقل معدلات

للأمطار على مدار العام خصوصا في فصلي الصيف والشتاء، أما أشهر يونيو وسبتمبر وأكتوبر فهي الأقل من حيث كميات الأمطار، كما يتضح من شكل (٧). ويلاحظ كذلك أن منطقة الدراسة تتأثر بشكل رئيس بالعوامل المناخية الموسمية؛ حيث تتركز معظم الأمطار في فصل الربيع مع بعض التأثيرات الثانوية للأمطار الصيفية في المناطق المرتفعة.

٣– تصنيف نطاقات الأمطار بمنطقة الدراسة:

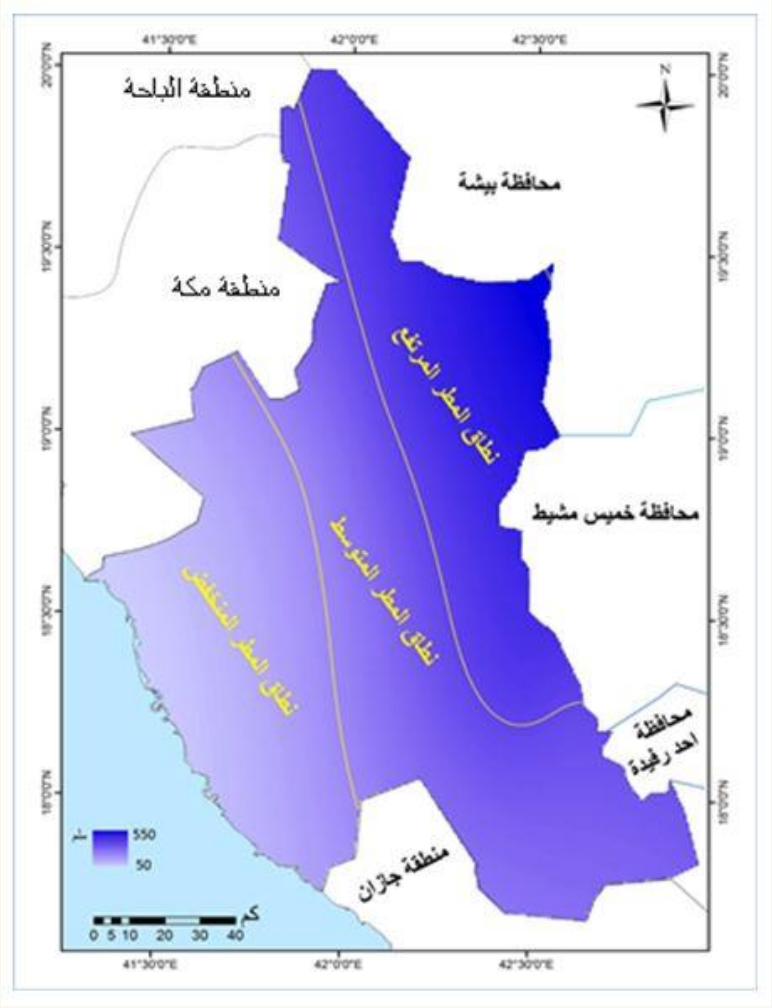
بناءً على تحليل خطوط تساوي الأمطار السنوية في غرب منطقة عسير، يمكن تقسيم منطقة الدراسة إلى ثلاثة نطاقات تبعاً لكميات الأمطار الساقطة على المنطقة يوضحها شكل (٨)، وهي كالتالي:

أ– نطاق الأمطار المرتفعة:

وفي هذا النطاق تبلغ كميات الأمطار السنوية أكثر من ٤٠٠ ملم، وتبلغ مساحة هذا النطاق نحو ٣٢ % من مساحة منطقة الدراسة؛ حيث تتركز في الجزء الشرقي من المنطقة؛ بخاصة معظم محافظات بلقرن والنماص والأجزاء الشرقية من محافظة أبها، ومركز السودة.

ب– نطاق الأمطار المتوسطة:

وتبلغ كميات الأمطار السنوية بهذا النطاق من (٢٠٠ – ٤٠٠) ملم، ويتركز تقريباً في القسم الأوسط من المنطقة، وتبلغ مساحة هذا النطاق نحو٣٩ % من مساحة منطقة الدراسة، ويتركز هذا النطاق في معظم محافظة أبها، والأجزاء الشرقية من محافظات المجاردة، ومحايل، ورجال ألمع.



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٣) بتصرف باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (٨)

توزيع نطاقات المطر السنوية في منطقة غرب عسير

ج. نطاق الأمطار المنخفضة:

تبلغ كميات الأمطار السنوية بهذا النطاق أقل من ٢٠٠ ملم، وتبلغ مساحته نحو ٢٩ % من مساحة منطقة الدراسة، والذي يتركز في غرب المنطقة، ليشمل محافظة البرك كاملة، وأجزاء من محافظات المجاردة، ومحايل، ورجال ألمع.

ثانياً: فاعلية المطر في محافظات غرب منطقة عسير:

تعد منطقة الدراسة من المناطق التي تشهد هطولاً مطرياً متفاوتاً، مما يجعل دراسة فاعلية الأمطار أمرا مهما لمعرفة مدى تأثيرها في السيول، وذلك بهدف معرفة كيفية توزيع الأمطار واستغلالها، بالإضافة إلى تقييم المخاطر المرتبطة بالسيول، وذلك لدعم التخطيط العمراني وإدارة الموارد المائية بكفاءة. ولمعرفة خصائص الأمطار بغرب عسير يمكن دراسة مدى تركزه في محطات منطقة الدراسة، وكذلك معرفة القيمة الفعلية لهذه الأمطار وذلك على النحو التالي:

١– تركز الأمطار بمنطقة الدراسة بتطبيق قرينة لورنز:

يمكن معرفة مدى تركز المطر بغرب عسير من خلال دراسة قرينة لورنز؛ حيث تستخدم قرينة لورنز لتحليل التفاوت في توزيع الأمطار، مما يساعد على فهم مدى تركزها في مناطق أو فترات زمنية معينة، وترجع أهمية دراستها في قدرتها على تقييم مدى انتظام توزيع الأمطار، ويظهر معامل لورنز ما إذا كانت الأمطار موزعة بشكل متوازن أو مركزة في مناطق محددة فقط دون غيرها، كما يمكن استخدامها لتحديد المناطق التي تعاني من تذبذب في توزيع الأمطار، مثل: الأمطار الغزيرة التي تسقط خلال فترات قصيرة التي تؤدي إلى السيول، لذلك فدراستها تسهم في وضع خطط للمناطق الآمنة للمنشآت العمرانية وشبكات الطرق، وأيضاً لمعرفة مدى ما يمكن الاستفادة منه من مياه الأمطار في الزراعة، ويوضح الجدول (٤) تطبيق قرينة لورنز لقياس تركز المطر المكاني من خلال المعادلة الآتية:

$$I = (A - R) / (M - R)$$
(Arnold, et al, 2018.)

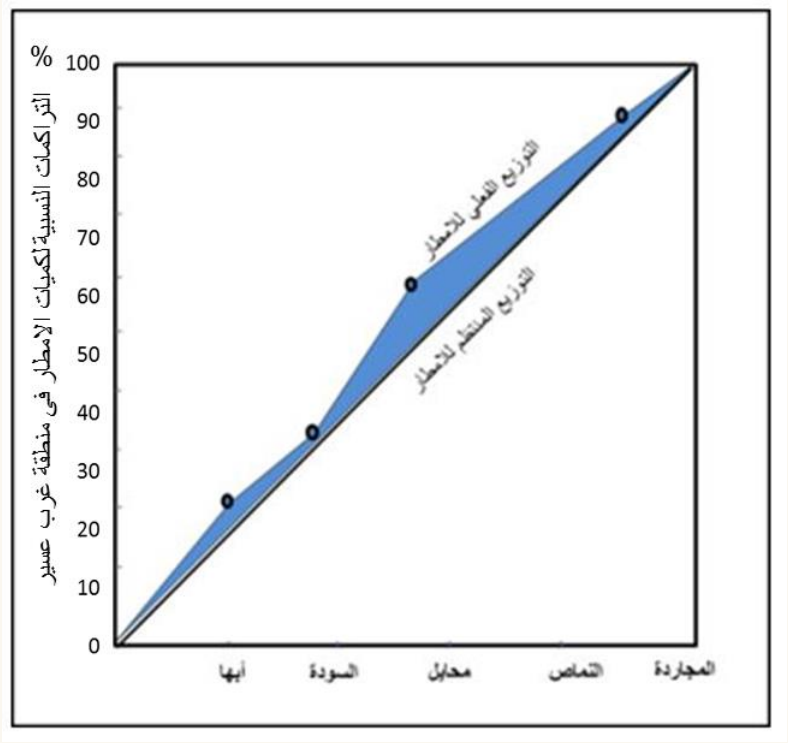
حيث: (A) هي التراكمات النسبية التراكميات، (R) تمثل التوزيع المنتظم التراكمي، (M) تمثل التوزيع المركز التراكمي.

ويمكن تمثيل نتائج المعادلة على منحنى لورنز الذي يظهر التوزيع التراكمي للأمطار مقارنة بالتوزيع المثالي المتساوي، حيث يساعد هذا التحليل في اتخاذ قرارات تتعلق بإدارة الموارد المائية، والتخطيط الزراعي والعمراني بالمنطقة، فإذا أظهر معامل لورنز تركزاً عالياً للأمطار في فترة قصيرة، فقد يشير ذلك إلى مخاطر الأمطار التي تؤدي إلى السيول، ما يستدعي تهيئة البنية التحتية للتعامل مع مياه هذه الأمطار، فضلاً على أنه يكشف أيضاً عن مناطق ضعف الأمطار التي تحتاج إلى حلول لمواجهة خطر الجفاف، وقد أشارت نتائج تطبيق المعادلة إلى أن قرينة لورنز تبلغ نحو (٠,١٧) على منطقة غرب عسير، وهو بذلك يتميز بالتوزيع المكاني شبه المنتظم، وذلك لصغر ناتج قرينة لورنز، كما يتضح من شكل (٩).

جدول (٤) نتائج تطبيق قرينة لورنز لتركز المطر بمنطقة غرب عسير

المحطة	معدل الأمطار التكرارات المطلقة	التكرارات النسبية	التراكمات النسبية التراكميات (A)	توزيع منتظم	توزيع منتظم تراكمي (R)	توزيع مركز	توزيع مركز تراكمي (M)
أبها	٣٨٠	٢٤,٤	٢٤,٤	٢٠	٢٠	١٠٠	١٠٠
السودة	٤٧٤,٦	٣٠,٦	٥٥	٢٠	٤٠	–	١٠٠
محايل	١١٥,٨	٧,٤	٦٢,٤	٢٠	٦٠	–	١٠٠
النماص	٤٨٥,٩	٣١,٣	٩٣,٧	٢٠	٨٠	–	١٠٠
المجاردة	٩٧,٨	٦,٣	١٠٠	٢٠	١٠٠	–	١٠٠
المجموع	**١٥٥٤,١**	**١٠٠**	**٣٣٥,٥**	**١٠٠**	**٣٠٠**	**–**	**٥٠٠**

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على تطبيق قرينة لورنز وبيانات جدول (٢).



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (٤).

شكل (٩) منحنى لورنز لتركز الأمطار في منطقة غرب عسير

٢– القيمة الفعلية للأمطار في منطقة الدراسة:

من الطبيعي بمكان أن كميات الأمطار الساقطة بغرب عسير لا يتم الاستفادة منها كلياً وذلك لأن نسبة منها تفقد بوسائل عديدة كالتبخر والتسرب في شقوق القشرة الأرضية، ومسام التربة، وبالفقد عن طريق الجريان السطحي، لذلك فإن الكميات الساقطة للأمطار لا يمكن الاعتماد عليها كلياً في التنمية لما بها من نسبة فقد، لذا سوف تتطرق الباحثة إلى دراسة بعض معادلات القيمة الفعلية للمطر مثل ديمارتون وكوبن وذلك من أجل دراسة فاعلية المطر وتصنيف

مناطقها، وذلك على النحو التالي:

أ. القيمة الفعلية للمطر تبعاً لمعيار ديمارتون:

اعتمد ديمارتون في تصنيفه على كميات المطر السنوية، بالإضافة إلى كميات الحرارة السنوية التي أخذت الصيغة التالية: (موسى، ١٩٨٩، ٣٨).

ق = م / ح+ ١٠

حيث ق = القيمة الفعلية للأمطار، م = معدل المطر السنوي (ملم)، ح = معدل درجة الحرارة السنوية (م)، ١٠= معامل ثابت. وفي حالة التطبيق على القيمة الفعلية للأمطار الشهرية يضرب الناتج في (١٢) معامل ثابت.

جدول (٥) الحدود القياسية للأقاليم المناخية تبعاً لتصنيف ديمارتون

القيمة الفعلية للأمطار	نوع المناخ
أقل من ٥	مناخ جاف صحراوي
من ٥ – ١٠	مناخ شبه جاف
من ١٠ – ٢٠	مناخ رطب نسبياً
من ٢٠ – ٣٠	مناخ رطب
أكثر من ٣٠	مناخ شديد الرطوبة

المصدر: (موسى، ١٩٨٩، ص ٣٩).

وبتطبيق تصنيف ديمارتون (السنوي والفصلي والشهري) على محطات منطقة الدراسة كانت النتائج كما يتبين من الجدول (٦)، ومن التحليل يتضح ما يلي:

أظهرت نتائج فاعلية المطر السنوية لديمارتون أن أقصى فاعلية للمطر السنوي توجد في النماص والسودة وأبها؛ حيث صنفهم المعيار بالمناخ الرطب النسبي، في حين صنفت محطتي محايل والمجاردة بالمناخ الجاف، وكان أعلى فاعلية للأمطار الفصلية في المحطات لفصل الربيع، والذي بلغ (٣٥,٩) في النماص و(٣١,٢) في السودة؛ حيث صُنّفوا بالمناخ شديد الرطوبة نظراً لتخطي قيمة المعيار أكثر من ٣٠.

جدول (٦) نتائج تطبيق القيمة الفعلية للأمطار طبقا للتصنيف الشهري والفصلي والسنوي لديمارتون في محطات منطقة غرب عسير

المحطة	العنصر	ديسمبر	يناير	فبراير	الشتاء	مارس	أبريل	مايو	الربيع	يونيو	يوليو	أغسطس	الصيف	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	الخريف	السنوي
أبها	مطر	٧,٤	٢٥,٣	٤٥,٥	٧٨,٢	٥٧,٢	٧٠,٢	٤٤,٥	١٧١,٩	١٧,٢	٣٩,٢	٤٤,٧	١٠١,١	٨,٤	٧,٣	١٢,٩	٢٨,٩	٣٨٠
	حرارة	١٤,٩	١٤,١	١٤,٧	١٤,٥	١٧,٣	١٨,٧	٢١,٨	١٩,٢	٢٤,٥	٢٤,٣	٢٤,١	٢٤,٣	٢٢,٧	١٩,٨	١٦,٧	١٩,٧	١٩,٤
	ديمارتون	٣,٥	١٢,٥	٢٢,١	١٢,٤	٢٥,١	٢٩,٤	١٦,٧	٢٣,٢	٥,٩	١٣,٧	١٥,٧	١١,٦	٣	٢,٩	٥,٧	٥,٨	١٢,٩
	التصنيف	جاف	رطب نسبيا	رطب	رطب نسبيا	رطب	رطب	رطب نسبيا	رطب	شبه جاف	رطب نسبيا	رطب نسبيا	رطب نسبيا	جاف	جاف	شبه جاف	شبه جاف	رطب نسبيا
السودة	مطر	٢٢,٦	٦٧,٣	٣٩,٢	١٢٩,١	٦٣,٢	٩١,٨	٥٨,٣	٢١٣,٣	١٥,٦	٤١,٢	٣٧,١	٩٣,١	٨,٩	١٣,٢	١٦,٢	٣٨,٣	٤٧٤,٦
	حرارة	١٢,٨	١١,٩	١٣,٤	١٢,٧	١٥,٥	١٦,٨	١٩,٦	١٧,٣	٢١,٨	٢١,٨	٢٠,٧	٢١,٤	١٨,٨	١٥,٩	١٤,٥	١٦,٤	١٦,٩
	ديمارتون	١١,٨	٣٦,٨	٢٠,١	٢٢,٧	٢٩,٧	٤١,١	٢٣,٦	٣١,٢	٥,٨	١٥,٥	١٤,٥	١١,٨	٣,٧	٦,١	٧,٩	٥,٨	١٧,٦
	التصنيف	رطب نسبيا	شديد الرطوبه	رطب	رطب	رطب	شديد الرطوبة	رطب	شديد الرطوبة	شبه جاف	رطب نسبيا	رطب نسبيا	رطب نسبيا	جاف	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	رطب نسبيا
النماص	مطر	٤٥,٥	٦٦,٨	٤٤,٣	١٥٦,٦	٦٨,٢	٩٦,٩	٦٢,٢	٢٢٧,٣	١٣,٦	١٧,٢	٢٤,١	٥٤,٩	٤,١	١٧,٢	٢٦,٣	٤٧,٦	٤٨٥,٩
	حرارة	٩,٨	٩,٨	١٠,٧	١٠,١	١٣,٢	١٤,٩	١٨	١٥,٣	٢٠,٦	٢٠,٧	٢٠,٦	٢٠,٦	٢٠,١	١٦,٥	١٥,٢	١٧,٢	١٥,٨
	ديمارتون	٢٧,٥	٤٠,٤	٢٥,٧	٣١,١	٢٥,٢	٤٦,٦	٢٦,٦	٣٥,٩	٥,٣	٦,٧	٩,٤	٧,١	١,٦	٧,٧	١٢,٥	٧	١٨,٨
	التصنيف	رطب	شديد الرطوبة	رطب	شديد الرطوبة	رطب	شديد الرطوبة	رطب	شديد الرطوبة	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	جاف	شبه جاف	رطب نسبيا	شبه جاف	رطب نسبيا
محايل	مطر	١١,٣	٧,٢	١٦,٢	٣٤,٧	٢١,٢	١٥,٦	١٠,٣	٤٧,٢	٠,٨	٥,٩	٦,٢	١٢,٩	٨,١	٦,٢	٦,٨	٢١,١	١١٥,٨
	حرارة	١٥,٩	١٥,٩	١٧,٥	١٦,٣	٢١,١	٢٢,٨	٢٤,٦	٢٢,٨	٢٦,٩	٢٨	٢٨,٥	٢٧,٨	٢٦,٤	٢١,١	١٧,٨	٢١,٧	٢٢,١
	ديمارتون	٥,٢	٣,٣	٧	٥,٢	٨,١	٥,٧	٣,٥	٥,٧	٠,٢	١,٩	١,٩	١,٣	٢,٦	٢,٤	٢,٩	٢,٦	٣,٦
	التصنيف	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	شبه جاف	جاف	شبه جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف
المجاردة	مطر	٧,١	٢,٥	٨,٧	١٨,٣	١٩,٢	١٥,٨	٨,٩	٤٣,٩	٠,٢	٣,٦	٢,٧	٦,٥	٦,٤	١١,١	١٢,٤	٢٩,٩	٩٧,٨
	حرارة	١٥,٩	١٥,٩	١٧,٩	١٦,٥	٢١,٧	٢٢,٦	٢٤,٤	٢٢,٩	٢٦,٩	٢٧,٦	٢٨,٤	٢٧,٦	٢٦,٤	٢١,٥	١٧,٨	٢١,٩	٢٢,٢
	ديمارتون	٣,٢	١,١	٣,٧	٢,٧	٧,٢	٩,٤	٣,١	٥,٣	٠,٠٦	١,١	٠,٨	٠,٧	٢,١	٤,٢	٥,٣	٣,٧	٣,١
	التصنيف	جاف	جاف	جاف	جاف	شبه جاف	شبه جاف	جاف	شبه جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	جاف	شبه جاف	جاف	جاف

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على تطبيق معيار ديمارتون وجدول (٢) ثم الرطب في أبها (٢٣,٢)، ثم المناخ شبه الجاف للمحايل والمجاردة (٥,٧، ٥,٣) على التوالي.

سجل شهر أبريل أعلى قيم لفاعلية المطر خلال العام؛ بخاصة في محطتي النماص والسودة بنحو (٤٦,٦، ٤١,١) على التوالي، وكانت أقل قيمة لفاعلية المطر في فصل الخريف وذلك في كل المحطات، ليصنف بالمناخ شبه جاف في النماص والسودة وأبها (٧، ٥,٨، ٥,٨) على التوالي، وبالمناخ الجاف لمحايل والمجاردة (٢,٦، ٣,٧) تباعاً، وكان شهر سبتمبر هو أقل فصول العام لفاعلية المطر بكل المحطات، الذي اتصف بمناخه الجاف تبعاً لتصنيف ديمارتون في كل المحطات، وذلك لتدني ناتج المعيار أقل من (٥)، نظراً لارتفاع درجة الحرارة وقلة

الأمطار، وجدير بالذكر أنه بالرغم من أن محايل والمجاردة يغلب عليهما المناخ الجاف وشبه الجاف تبعاً لمعيار ديمارتون، فإنه تحدث فيهما أمطار فجائية في بعض الأيام تسبب السيول.

ب. القيمة الفعلية للمطر تبعاً لمعيار كوبن:

طُبّق تصنيف كوبن لمعرفة فاعلية الأمطار في محطات منطقة الدراسة، وذلك بالاعتماد على المعادلة التالية التي تعتمد على فصلية المطر وذلك كما يلي:

القيمة الفعلية للمطر (A) = كميات المطر بالسنتمير (p) / معدل درجة الحرارة المئوية (T)
(Peel , et al ,2007)

وبتطبيق المعادلة على محطات منطقة الدراسة سواء فصلياً، أو سنوياً كانت النتائج كما في جدول (٧).

جدول (٧)

فاعلية المطر الفصلية والسنوية في محطات منطقة غرب عسير في ضوء معيار (كوبن)

المحطة	الشتاء			الربيع			الصيف			الخريف			سنوي		
	كمية المطر السنوى (سم)	معدل الحرارة السنوي (م)	ناتج التطبيق	كمية المطر السنوى (سم)	معدل الحرارة السنوي (م)	ناتج التطبيق	كمية المطر السنوى (سم)	معدل الحرارة السنوي (م)	ناتج التطبيق	كمية المطر السنوى (سم)	معدل الحرارة السنوي (م)	ناتج التطبيق	كمية المطر السنوى (سم)	معدل الحرارة السنوي (م)	ناتج التطبيق
أبها	٧,٨	١٤,٥	٠,٥	١٧,١	١٩,٢	٠,٩	١٠,١	٢٤,٣	٠,٤	٢,٨	١٩,٧	٠,١	٣٨	١٩,٤	١,٩
السودة	١٢,٩	١٢,٧	١	٢١,٣	١٧,٣	١,٢	٩,٣	٢١,٤	٠,٤	٣,٨	١٦,٤	٠,٢	٤٧,٤	١٦,٩	٢,٨
النماص	١٥,٦	١٠,١	١,٥	٢٢,٧	١٥,٣	١,٥	٥,٤	٢٠,٦	٠,٤	٤,٧	١٧,٢	٠,٣	٤٨,٥	٥,٨	٣,١
محايل	٣,٤	١٦,٣	٠,٢	٤,٧	٢٢,٨	٠,٢	١,٢	٢٧,٨	٠,٠٤	٢,١	٢١,٧	٠,١	١١,٥	٢٢,١	٠,٥
المجاردة	١,٨	١٦,٥	٠,١	٤,٣	٢٢,٩	٠,٢	٠,٦	٢٧,٦	٠,٠٢	٢,٩	٢١,٩	٠,١	٩,٧	٢٢,٢	٠,٤٤

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على تطبيق معادلة كوبن وبيانات جدول (٢).

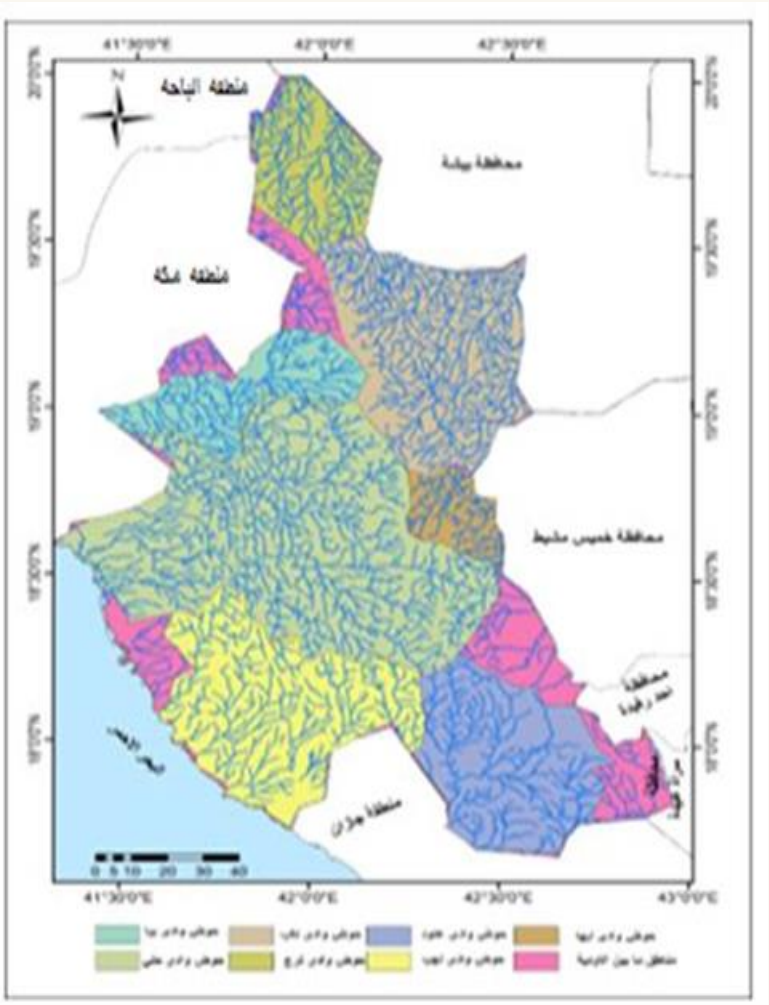
من خلال تطبيق تصنيف كوبن وتحليل الجدول السابق يتضح وجود تباين مكاني وزماني للقيمة الفعلية للمطر؛ حيث ترتفع القيم الفعلية في المناطق الجبلية مثل: النماص (٣,١) والسودة (٢,٨) وأبها (١,٩)، مما يعكس انتماءها إلى مناخ البحر المتوسط الحار صيفاً، بينما تنخفض هذه القيم في محايل (٠,٥) والمجاردة (٠,٤) إلى مستويات تعكس مناخاً شبه جاف، مما يوضح أن حدود التصنيف المناخي تنتقل من الإقليم المعتدل الرطب في المرتفعات إلى الإقليم الجاف في المناطق المنخفضة، ويرجع هذا التباين إلى اختلاف كميات الأمطار في هذه المحطات، حيث ترتفع في شرق منطقة الدراسة، وتنخفض في غربها، وكذلك لاختلاف درجات الحرارة بين مناطقها، كما يتضح وجود تباين زماني للقيمة الفعلية للمطر في المحطات؛ حيث تزيد القيمة الفعلية للمطر في كل محطات منطقة الدراسة بفصل الربيع، حيث تتراوح بين (٠,٢ – ١,٥) من المجاردة حتى النماص، ويليه فصل الشتاء بقيم تتراوح بين (٠,١ – ١,٥) من المجاردة إلى النماص، وكانت أقل فاعلية للمطر في محطات منطقة الدراسة تبعاً لتصنيف كوبن في فصل الخريف، الذى تراوح قيمه بين ٠,١ لكل من أبها ومحايل والمجاردة، و٠,٣ للنماص، ويرجع ذلك للتباين في كميات الأمطار واختلاف درجات الحرارة في هذه المحطات؛ حيث ترتفع كميات الأمطار في النماص والسودة، ويليهما أبها، وتقل في محايل والمجاردة، في حين يحدث العكس بالنسبة لدرجة الحرارة، لترتفع في محايل والمجاردة، وتقل في النماص والسودة وأبها نظراً لارتفاعها.

ومن المقارنة بين المعيارين تبين توافق نتائج تطبيق معياري ديمارتون وكوبن على منطقة الدراسة، ووجود تطابق في نتائج التطبيق المكاني والزمني للمعيارين، حيث أظهرت أن فاعلية المطر ترتفع في النماص والسودة وأبها، وتقل في محايل والمجاردة، كما أكدت النتائج أن فاعلية الأمطار ترتفع في فصل الربيع في كل محطات منطقة الدراسة، وذلك نظراً لارتفاع كميات الأمطار المتساقطة خلال هذا الفصل نتيجة

التقاء الكتل الهوائية فوق البحر الأحمر، التي تؤدي إلى زيادة نشاط التيارات الهوائية الصاعدة، بالإضافة إلى تأثير المنخفض السوداني الموسمي، يليه فصل الشتاء أيضاً بكل محطات منطقة الدراسة، بينما تقل فاعلية الأمطار في فصل الخريف في كل محطات منطقة الدراسة، ويرجع ذلك إلى اضمحلال الضغط الجوي المنخفض على اليابسة، ووجود منخفضات محلية ينشأ عنها رياح محلية تؤدي إلى عدم استقرار سقوط الأمطار بهذا الفصل.

ثالثاً: السيول في منطقة غرب عسير:

تعد السيول تدفقات مائية تنجم عن الأمطار الغزيرة، تتسبب في جريان المياه بشكل مكثف وسريع في الأودية والمناطق المنخفضة، وتعد الأودية جزءاً مهماً من النظام الطبيعي لتصريف المياه في المناطق الجبلية والمنخفضة، حيث تسهم بدور رئيس في توجيه السيول وإفراغها في شبكات الصرف الرئيسة، وينشأ الجريان السطحي عن تفاعل عدة عوامل مترابطة، منها: خصائص المطر والتربة والمناخ والتضاريس، إضافة إلى السمات الهيدرولوجية لأحواض التصريف، واستخدامات الأراضي المحيطة (Smith & Ward, 2020, p 123). وتمثل العلاقة بين الأمطار والسيول حصيلة تفاعل عناصر البيئة الطبيعية، فهي تجسم تفاعل عناصرها في نطاق حوض التجمع المائي، وذلك بتحديد حجم مياه السيول في مجاري الأحواض بالنسبة لكميات الأمطار الساقطة عليه، التي بدورها ينتج عنها تحويل الأمطار إلى سيول، وقد تسببت السيول التي ضربت المملكة العربية السعودية عام ٢٠٠٩ في خسائر كبيرة؛ حيث أدت إلى وفيات عديدة (أكثر من ١٢١ حالة وفاة)، إلى جانب خسائر مالية بمليارات الدولارات وتأثيرات على صحة الإنسان (AL-Areeq, 2023, p25).



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات نتائج المرئيات الفضائية (DEM).

شكل (١٠)

شبكة التصريف والأحواض الثانوية بمنطقة غرب عسير

كما أدت السيول إلى كثير من الأضرار في منطقة الدراسة مثل: الأضرار على الطرق؛ وبخاصة في مناطق النماص والسودة، ولأن منطقة الدراسة تعد من أكثر مناطق المملكة غزارة بالأمطار فإن هذا التميز نتج عنه حدوث سيول في أوديتها، وذلك بمعدلات تكرار أكبر بالمقارنة ببقية مناطق المملكة (Tarawneh, 2015, P 45)، وتعد مجاري الأودية ممرات طبيعية للسيول، لكنها قد تؤدي إلى تفاقم آثارها في حال تضييق القنوات أو التغير في نمط التدفق؛ من أجل ذلك وجب دراسة شبكة التصريف في منطقة الدراسة؛ حيث تمثل مجاري السيول، وبدراسة شبكة التصريف بمنطقة الدراسة كما يتضح من شكل (١٠) الذي يوضح شبكات وأحواض التصريف بمنطقة غرب عسير، أمكن إجراء بعض القياسات المورفومترية المهمة في قياس درجات الخطورة، وتحتوي منطقة الدراسة على سبعة أحواض ثانوية، ومن ثم دُرست مورفومترياً وذلك من أجل سهولة حساب كميات الأمطار الساقطة عليها، وحساب صافي الجريان من المياه بعد خصم الفاقد من المياه الساقطة بالتبخر والتسرب.

١- مساحة أحواض التصريف داخل منطقة الدراسة:

تتفاوت مساحة أحواض التصريف داخل منطقة الدراسة كما يتضح من جدول (٨)؛ حيث إن هناك بعض الأحواض مكتملة داخل المنطقة مثل: أحواض بيل وحلى، وبعض الأحواض الثانوية من أحواض أخرى تصرف مياها خارج منطقة الدراسة مثل: أحواض أودية (نكب وترج ونهب وعتود وأبها).

جدول (٨) مساحات الأحواض الثانوية في منطقة غرب عسير

حوض وادي	بيا	حلى	نهب	عتود	أبها	نكب	ترج	إجمالي الحوض (كم٢)
مساحة الحوض (كم٢)	١٩٥٤	٤٧٨٣	٢٨٥٦	٢٣٦٨	٨٧٥	٢٩٤٧	١٧٤٥	١٧٥٢٨

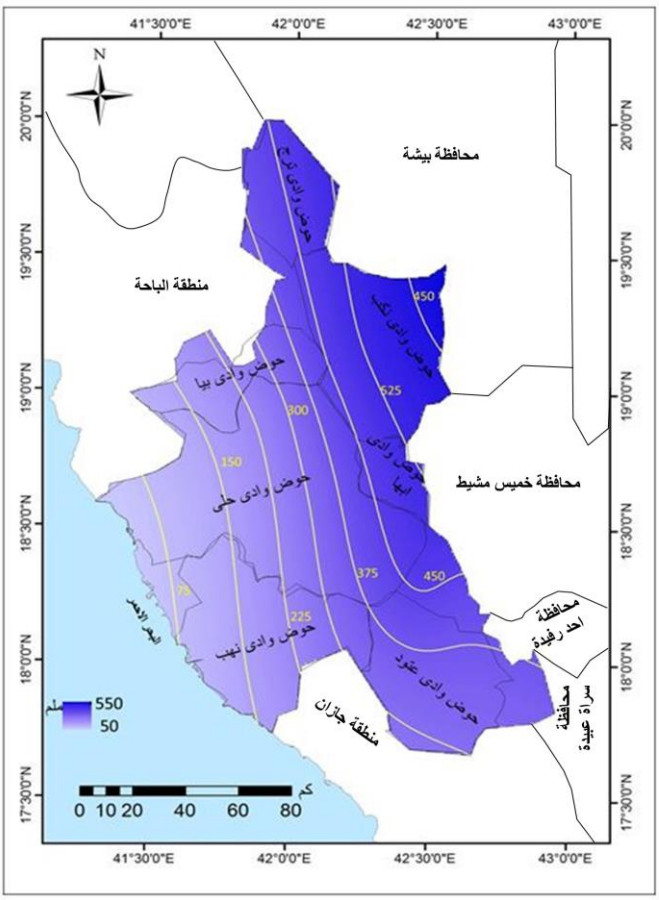
المصدر: من عمل الباحثة على بيانات نتائج المرئيات الفضائية (DEM) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

وكان حوض وادي حلى أكبر الأحواض مساحة في المنطقة بمساحة تصل إلى ٤٧٨٣ كم٢، ويليه حوض وادي نكب بمساحة تصل إلى ٢٩٤٧ كم٢، بينما أقل هذه الأحواض مساحة هما حوضا وادي أبها، وحوض وادي ترج بمساحات تصل إلى ٨٧٥ كم٢ و١٧٤٥ كم٢ على التوالي؛ حيث إنهما يمثلان المنابع العليا لحوض وادي بيشة، ومما لا شك فيه أن هناك علاقة بين مساحة الحوض وكميات الجريان السطحي؛ حيث تشير بعض الدراسات إلى وجود علاقة عكسية بين مساحة حوض التصريف وكميات الجريان السطحي، وتتناسب كميات الفائض من مياه الأمطار التي يتولد عنها جريان سطحي تناسباً عكسياً مع مساحة الحوض، كما أن هناك علاقة طردية بين مساحة حوض التصريف وكميات الفواقد (خضر، ١٩٩٧، ص٢٢٠)، ويرجع ذلك إلى أن أغلب العواصف المطيرة لا تغطي إلا جزءًا صغيرًا من سطح الحوض، فهي ذات أقطار مساحية صغيرة لذلك فإن عملية الجريان سوف تتوقف على رافد أو أكثر من روافد الوادي (صالح، ١٩٩٩، ص٤٤)، كما تتناقص كميات التصريف المائي مع زيادة مساحة الحوض وذلك لارتفاع معدلات الفواقد (التبخر– التسرب)، مما يقلل من فائض المياه؛ وبذلك تنخفض معدلات التصريف المائي فيها، وكلما زادت مساحة الحوض زادت الفترة الزمنية اللازمة لتصريف الحوض، أي أنه كلما زادت المساحة قلت شدة الفيضان (عبد الصمد، ٢٠٠١، ص٦١).

٢– مساحة الجريان السيلي وحجمها في منطقة الدراسة:

اعتُمد على خريطة متوسطات الأمطار السنوية التي منها تم حساب مساحة كل فئة مطرية في مساحة الأحواض الثانوية بمنطقة الدراسة شكل (١١)، مما أمكن تقدير حجم المطر الساقط على كل حوض، وذلك بضرب مساحة كل فئة

مطرية (بين خطي تساوي المطر) في قيمة الفئة داخل الحوض ومن ثَم حساب مساحة الجريان السيلي وحجمه (جدول ٩).



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات بيانات شكل (٢) وشكل (١٠) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

شكل (١١)

توزيع الأمطار على الأحواض الثانوية في منطقة غرب عسير

وتبين من التحليل أن إجمالي كميات الجريان السيلي في المنطقة بلغ نحو ٢٧١٥٣ مليون م^{3}، وإن تباينت هذه الكميات من منطقة إلى أخرى تبعاً لمساحة الحوض والفئات المطرية به؛ حيث كان أعلى حجم للجريان السطحي في حوض وادي نكب بنحو ٥٤٢٥ مليون م^{3}، وذلك بالرغم من أنه ليس الأكبر مساحة ولكن الفئات المطرية به هي الأعلى، ويليه حوض وادي ترج في حجم الجريان السيلي (٤٢٤٦) مليون م^{3}؛ حيث إنه في نطاق الفئات المطرية الأعلى نفسها، بينما كان أقل الأحواض في حجم الجريان السيلي هو حوض وادي بيا بنحو ٢١٢٥ مليون م^{3}، نظراً لقلة الفئات المطرية به.

جدول (٩) مساحة الجريان السيلي وحجمه في منطقة غرب عسير مليون/م٣

الحوض	المساحة (كم^{2})	حجم الجريان السيلي (مليون/م^{3})
بيا	١٩٥٤	٢١٢٥
حلى	٤٧٨٣	٤١٥٣
نهب	٢٨٥٦	٣٢١٠
عتود	٢٣٦٨	٢٦٢٠
أبها	٨٧٥	٣١٢١
نكب	٢٩٤٧	٥٤٢٥
ترج	١٧٤٥	٤٢٤٦
أراض ما بين الأودية	٣١٩٥	٢٢٥٣
إجمالي مساحة المنطقة	٢٠٧٢٣	٢٧١٥٣

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على بيانات نتائج المرئيات الفضائية (DEM) وبيانات جدول (٣) وشكل (١١).

٣- حساب الفاقد المائي من الجريان السطحي في منطقة الدراسة:

يتنوع الفاقد من الجريان السطحي الفجائي (السيول) في منطقة الدراسة بين مياه تفقد عن طريق التسرب، وأخرى تفقد عن طريق التبخر، وسوف يتم العرض والتحليل فيما يلي:

أ. الفاقد المائي بالتسرب:

يعتمد نظام تسرب المياه داخل مفتتات الصخور بشكل أساس على خصائص هذه الصخور مثل: النفاذية والفراغات بين الحبيبات، وتتكون التربة في هذه المنطقة من مشتقات الصخور النارية، والمتحولة منها: الجرانيت، والديوريت والشست، ومن خصائصها أنها ذات طبيعة حصوية خشنة مختلطة بشظايا صخرية خاصة في تربة التلال، والمنحدرات الجبلية. وتتكون تربة الأودية من الإرسابات الغرينية، والرملية بيّن أن حوالي ٩١,٧٪ من أراضي عسير تتألف من تربة رملية أو حصوية، وهذه التربة الخشنة ذات النفاذية العالية تدعم من إمكانية تجديد المياه الجوفية (Alzghoul, et al; 2021, p45)، بالإضافة إلى العوامل المناخية والطبوغرافية المحيطة، وتظهر الدراسات أن معدلات تسرب المياه ترتفع في الصخور ذات النفاذية العالية مثل الحجر الرملي، بينما تكون أقل في الصخور الكثيفة مثل الجرانيت، وهذه الظاهرة لها تأثيرات كبيرة على توافر المياه الجوفية واستدامتها، خصوصاً في المناطق القاحلة وشبه القاحلة (Sharma،2019, p 25)، بينما يشير (Horton, 1945,p 307) إلى أنه لكي يتفوق التساقط على التسرب وتبدأ عملية الجريان لا بد من سقوط المطر بمعدل يتراوح بين ٦ إلى ٩ ملم/ساعة، في حين يشير (Cook and Others, 1982, P. 215) إلى أنه لكي يبدأ الجريان لا بد من توافر تساقط لا يقل عن ١ ملم/دقيقة وبمجموع لا يقل عن ١٠ملم.

وقد وضع (Wilson,1980, p.46) معادلة يمكن منها الحصول على قيمة التسرب أثناء زمن التباطؤ وهي:

التسرب= مساحة الحوض × زمن التباطؤ × ٠,٠٨ (ملم/ دقيقة).

ويمكن الحصول على قياس زمن التباطؤ من المعادلة:

$$Tl = KI\ (A)0.3 / [sa / Dd]$$

حيث KI = معامل ثابت (٠,٢٥ للسطوح الرملية والحصوية)، A = مساحة الحوض، sa = متوسط انحدار حوض التصريف (وحُسب متوسط انحدار الحوض الفرق بين أعلى نقطة للمنبع وأقل نقطة للمصب مقسوم على طول المجرى). وكانت النتائج كما يتضح من جدول (١٠).

جدول (١٠) معدلات التسرب في الأحواض الثانوية في منطقة غرب عسير

حوض وادي	بيا	حلى	نهب	عتود	أبها	نكب	ترج	المجموع
مساحة الحوض (كم٢)	١٩٥٤	٤٧٨٣	٢٨٥٦	٢٣٦٨	٨٧٥	٢٩٤٧	١٧٤٥	١٧٥٢٨
زمن التباطؤ (ساعة)	٥,٢	٦,٢	٤,٣	٣,٨	٤,١	٤,٩	٥,٢	–
كميات التسرب (مليون م٣)	٨١٢,٨	٢٣٧٢,٣	٩٨٢,٤	٧١٩,٨	٢٨٧	١١٤٤,٢	٧٢٥,٩	٧٠٤٤,٤

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على معادلة Wilson وشكل (١١)

تزيد قيمة زمن التباطؤ في الأحواض شديدة الانحدار حيث وصلت أعلاها في حوض وادي حلى بنحو ٦,٢، وكذلك في حوض وادي بيا ٥,٢، بينما كان أقل معدلات لزمن التباطؤ في أحواض وادي عتود وأبها ونهب، وقد تم استخدام قيم معدلات التسرب في منطقة غرب عسير من أجل الوصول إلى معدلات تسرب المياه في المنطقة.

بلغ إجمالي معدلات التسرب في الأحواض الثانوية بمنطقة غرب عسير

٧٠٤٤,٤ مليون م٣، وإن تباين ذلك على مستوى الأحواض الثانوية بالمنطقة، حيث كانت أعلاها في حوض وادي حلى بنحو ٢٣٧٢,٣ مليون م٣، ويليه حوض وادي نكب بنحو ١١٤٤,٢ مليون م٣، وكان أقل معدلات التسرب في حوض وادي أبها ٢٨٧ مليوم م٣، وذلك لصغر مساحة الحوض وكثافة الغطاء النباتي به.

ب- الفاقد المائي بالتبخر:

يعدّ التبخر أحد أهم عوامل فقد المياه في المنطقة، ومن ثَم وجب دراسة هذا العامل؛ حيث طُبقت معادلة ثورانثويت لحساب التبخر- النتح المحتمل الشهري، وهي معادلة تعتمد على درجة الحرارة الشهرية وعدد ساعات النهار الشهرية (Thornthwaite, 1948, p 97).

$$PET = 16\left(\frac{L}{12}\right)\left(\frac{N}{30}\right)\left(\frac{T \cdot 10}{I}\right)^{a}$$

حيث: PET التبخر-النتح المحتمل الشهري (بالملم)، T متوسط درجة الحرارة الشهرية (°مئوية)، L عدد ساعات النهار الشهرية، N عدد أيام الشهر، I مؤشر الحرارة السنوي، ويحسب من المعادلة الآتية:

$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{{}_iT}{5}\right)^{1.514}$$

aمعامل تجريبي يحسب من I

$$a = 6.75\times10^{-7}I^3 - 7.71\times10^{-5}I^2 + 1.792\times10^{-2}I + 0.49239$$

تبين من التحليل تباين معدلات التبخر الشهرية والفصلية والسنوية بين محطات منطقة الدراسة، فقد سجلت محطة محايل أعلى معدل سنوي للتبخر بلغ ٢٠٣,٢ ملم، تليها محطة المجاردة بـ ١٩٣,٨ملم، مما يعكس تأثر هاتين المحطتين بمناخ أكثر حرارة وجفافاً، خصوصًا خلال فصلي الصيف والخريف اللذين شهدا

أعلى القيم الفصلية، بينما جاءت محطتا السودة والنماص في أدنى الترتيب من حيث التبخر السنوي بـ ١٦٢,٩ ملم و١٨٢,٣ ملم على التوالي، نتيجة لطبيعتهما الجبلية وارتفاعهما عن سطح البحر، وقد سجل فصل الصيف أعلى معدلات التبخر في جميع المحطات حيث كان أعلاها صيف محطة محايل بنحو ٦٥,٣ ملم، نظراً لارتفاع درجات الحرارة والانخفاض الشديد في الرطوبة النسبية مع ارتفاع معدلات سرعة الرياح، بينما كان الشتاء الأقل وهو ما يبرز التأثير المباشر لدرجة الحرارة في التبخر، كما أظهرت محطة أبها نمطاً معتدلاً من التبخر السنوي بلغ ١٨٤,٧ ملم. ومن خلال دراسة معدلات التبخر السنوية في المحطات المناخية لمنطقة غرب عسير تم رسم خطوط تساوي التبخر في الأحواض الثانوية في المنطقة كما يتضح من شكل (١٢). ومن خلال الشكل أمكن حساب كميات التبخر لكل حوض، وذلك من خلال ضرب متوسط فئات التبخر في مساحة الحوض، وكانت نتائج تطبيق ذلك بالجدول (١٢).

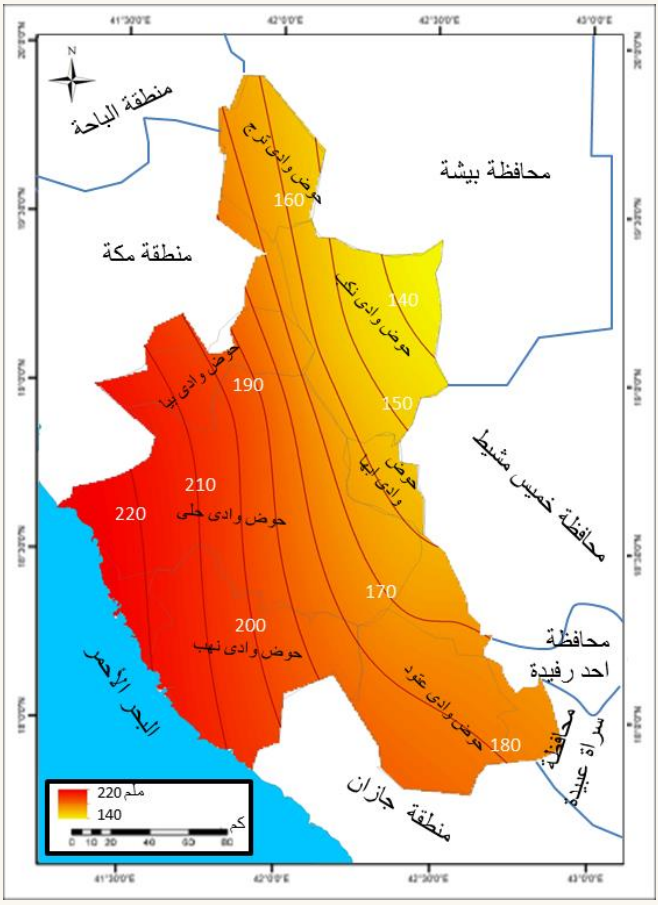
جدول (١١)

معدلات التبخر الشهرية والفصلية (ملم) لمحطات منطقة الدراسة خلال الفترة (١٩٨٥-٢٠١٩)

المحطة	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	السنوي
أبها	٨,١	٩,٢	٩,٩	١٠,٣	١٢,٤	١٤,٣	١٧,٥	٢١,٣	٢٢,٥	٢٣,٣	٢١,٤	١٤,٥	١٨٤,٧
الفصلي	٢٧,٢			٣٧			٦١,٣			٥٩,٢			
السودة	٧,٩	٨,٩	٩,١	٩,٥	١٠,٥	١١,٢	١٥,٣	١٧,٩	٢٠,٥	٢٠,٣	١٨,٩	١٢,٩	١٦٢,٩
الفصلي	٢٥,٩			٣١,٢			٥٣,٧			٥٢,١			
محايل	١٠,٦	١١,٨	١١,٢	١١,٤	١٣,٨	١٥,٦	١٨,٩	٢٢,٥	٢٣,٩	٢٤,٥	٢٢,٥	١٦,٥	٢٠٣,٢
الفصلي	٣٣,٦			٤٠,٨			٦٥,٣			٦٣,٥			
النماص	١٠,٣	٩,٥	١٠,١	١٠,٢	١٢,٦	١٤,٩	١٥,٩	١٩,٥	٢١,٥	٢١,٣	٢٠,٩	١٥,٦	١٨٢,٣
الفصلي	٢٩,٩			٣٧,٧			٥٦,٩			٥٧,٨			
المجاردة	٩,٨	١٠,٢	١١,٤	١١,٦	١٤,١	١٥,٦	١٧,٢	٢٠,٥	٢١,٦	٢١,٤	٢٣,٥	١٦,٩	١٩٣,٨
الفصلي	٣١,٤			٤١,٣			٥٩,٣			٦١,٨			

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على المركز الوطني للأرصاد، مركز الوثائق العلمية، مجموعة تقارير مناخية غير منشورة (١٩٨٥: ٢٠١٩)، وتطبيق معادلة أيفانوف (E) = ٠,٠٠١٨ [درجة الحرارة (T)+٢٥]^{٢} [١٠٠- الرطوبة النسبية (A)]

تبين من تحليل النتائج أن إجمالي حجم كميات التبخر في الأحواض الثانوية بمنطقة الدراسة بلغ ٣٣١٧,٤ مليون م^{٣}؛ حيث تباينت هذه الكميات من حوض إلى آخر، فنجد أعلاها في حوض وادي حلى، حيث وصلت كميات التبخر به إلى ١٠٦٩,٥ مليون م^{٣}، وأقلها في حوض وادي أبها التي وصلت إلى ١٢٩,٧مليون م^{٣}، كما يلاحظ وجود علاقة طردية بين مساحة الحوض وكميات التبخر بصورة كبيرة؛ حيث وصلت هذه العلاقة إلى ٠,٦٤، كما يلاحظ زيادة كميات التبخر بالاتجاه نحو الغرب وهو ما يعاكس اتجاه زيادة كميات الأمطار التي تزيد بالاتجاه نحو الشرق.



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات بيانات جدول (١١) باستخدام برنامج ArcGIS10.2

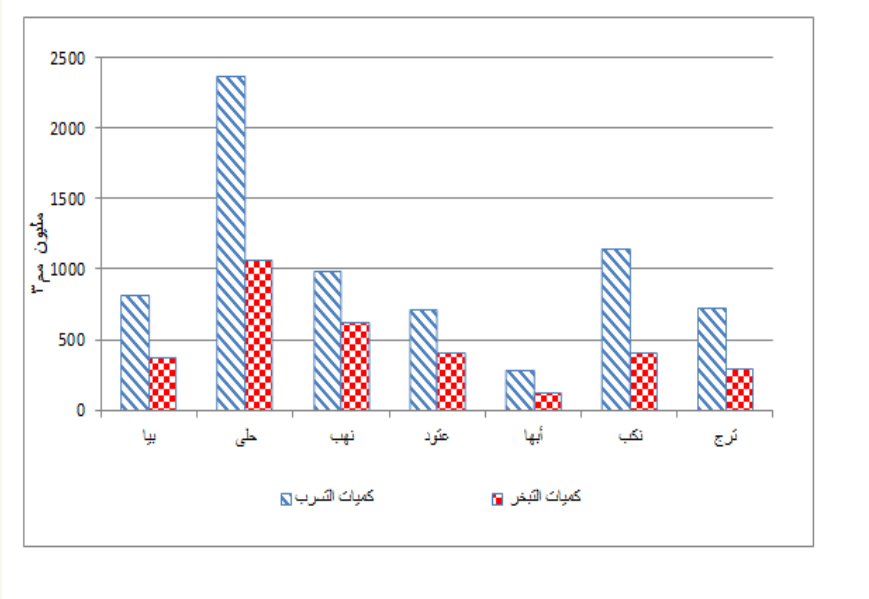
شكل (١٢)

خطوط تساوي معدلات التبخر السنوية على الأحواض الثانوية في منطقة غرب عسير

جدول (١٢) كميات تبخر المياه داخل الأحواض الثانوية في منطقة غرب عسير

حوض وادي	بيا	حلى	نهب	عتود	أبها	نكب	ترج	المجموع
مساحة الحوض (كم٢)	١٩٥٤	٤٧٨٣	٢٨٥٦	٢٣٦٨	٨٧٥	٢٩٤٧	١٧٤٥	١٧٥٢٨
كميات التبخر (مليون/ملم٣)	٣٧٣,٦	١٠٦٩,٥	٦٢٦,٦	٤١٠,٧	١٢٩,٧	٤٠٩,٧	٢٩٧,٦	٣٣١٧,٤

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات جدول (١٣)



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات شكل (١١)؛ حيث تم ضرب مساحة الحوض في متوسط فئات التبخر بالحوض.

شكل (١٣)

فاقد المياه بالتسرب والتبخر في الأحواض الثانوية في منطقة غرب عسير

يوضح الشكل (١٣) حجم الفاقد المائي بالتسرب والتبخر في الأحواض

الثانوية بمنطقة غرب عسير، حيث تبين أن حوض حلى يسجل أعلى معدلات الفاقد، إذ تجاوزت كميات التسرب فيه ٢٤٠٠ مليون م^3، تليه كميات التبخر التي بلغت نحو ١١٠٠ مليون م^3، كما يظهر أن أحواض نكب ونهب تسجلان أيضاً فاقداً مائياً كبيراً، بينما يعد حوض أبها الأقل من حيث كميات التسرب والتبخر وذلك لصغر مساحة حجم الحوض، ويشير الشكل إلى ضرورة توجيه سياسات إدارة المياه نحو تقليل الفاقد خاصة في الأحواض ذات الفقد العالي مثل حلى ونكب، لضمان استدامة الموارد المائية في المنطقة.

٤– الميزانية المائية لأحواض التصريف الثانوية في منطقة الدراسة:

يمكن الحصول على صافي الجريان من خلال حساب الفائض المائي بعد طرح مجموع كميات المياه الساقطة على المنطقة من كميات المياه المفقودة منها، سواء أكانت بالتسرب أم التبخر، ويوضح جدول (١٣) ناتج هذ العملية الحسابية.

جدول (١٣)

صافي الجريان في الأحواض الثانوية بمنطقة غرب عسير

حوض وادي	بيا	حلى	نهب	عتود	أبها	نكب	ترج	مجموع
كميات المياه الساقطة مليون م٣	٢١٢٥	٤١٥٣	٣٢١٠	٢٦٢٠	٣١٢١	٥٤٢٥	٤٢٤٦	٢٤٩٠٠
كميات التسرب مليون م٣	٨١٢.٨	٢٣٧٢.٢	٩٨٢.٤	٧١٩.٨	٢٨٧	١١٤٤.٢	٧٢٥.٩	٧٠٤٤.٤
كميات التبخر مليون ملم٣	٣٧٣.٦	١٠٦٩.٥	٦٢٦.٦	٤١٠.٧	١٢٩.٧	٤٠٩.٧	٢٩٧.٦	٣٣١٧.٤
صافي كميات المياه مليون م٣	٩٣٨.٦	٧١١.٣	١٦٠.١	١٤٨٩.٥	٢٧٠٤.٣	٣٨٧١.١	٣٢٢٢.٥	١٤٥٣٨.٢

المصدر: من عمل الباحثة اعتماداً على بيانات شكلي (١١ و١٢) واعتماداً على بيانات جدولي (١٠ و١٢)

ومن تحليل النتائج يتضح أن حوض نكب يحتوي على أكبر كميات من المياه

الساقطة؛ حيث بلغت ٥٤٢٥ مليون م^{٣}، يليه حوض وادي ترج الذي سجل ٤٢٤٦ مليون م^{٣}، بينما كان حوض وادي بيا هو الأقل في كميات المياه الساقطة بواقع ٢١٢٥ مليون م^{٣}، أما عن أكبر الأحواض في كميات التسرب فكان لحوض وادي حلى الذي سجل أعلى كميات تسرب تقدر بـ ٢٣٧٢,٣ مليون م^{٣}، بينما سجل حوض وادي أبها أدنى كميات تسرب ٢٨٧ مليون م^{٣}، كما تشير كميات التبخر إلى أن حوض وادي حلى كان به أعلى كميات تبخر بـ ١٠٦٩,٥ مليون م^{٣}، يليه حوض وادي نهب بـ ٦٢٦,٦ مليون م^{٣}، وكان أقل كميات للتبخر تقع بحوض وادي أبها ١٢٩,٧ مليون م^{٣}. وعند حساب صافي كميات المياه تبين أن حوض وادي نكب يحتوي على أكبر كميات صاف للمياه التي بلغت ٣٨٧١,١مليون م^{٣}، يليه وادي ترج بـ ٣٢٢٢,٥ مليون م^{٣}؛ حيث يلاحظ تباين كبير بين الأحواض في كميات المياه الساقطة وكميات المياه المفقودة بالتسرب والتبخر، مما يعكس تأثير العوامل البيئية والمناخية في كميات المياه الساقطة في المنطقة.

٥- درجات خطورة السيول في منطقة الدراسة:

يمكن قياس خطورة السيول على منطقة الدراسة من خلال منحنى التقييم الهيدرولوجي، ولكن هناك بعض المعاملات المورفومترية التي يجب قياسها ودراستها؛ حيث يعد تحديد المناطق المعرضة للسيول أحد الحلول الرئيسة للتخفيف من آثارها (Karaoui, et al., 2018. p 56) ومن ثم التطبيق على المنحنى الهيدرولوجي، وهذه المعاملات تتضح في جدول (١٤):

جدول (١٤)

بعض المعاملات المورفومترية المرتبطة بأحواض التصريف في منطقة غرب عسير

الحوض	معامل	كثافة التصريف	التكرار النهري	نسبة التشعب النهري
بيا	٠,٢٣	٤,٦	٦,٣	٤,٨
حلى	٠,٧٢	٤,٢	٦,٨	٥,٣
نهب	٠,٦٢	٤,٧	٤,٩	٣,٨
عتود	٠,٨١	٣,٥	٣,٥	٣,٩
أبها	٠,٥٥	٦,٧	٥,٤	٤,٣
نكب	٠,٤٤	٥,٦	٤,٢	٣,٨
ترج	٠,٦١	٦,٤	٥,٨	٣,٩

المصدر: من إعداد الباحثة باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM)، وبعض المعادلات المورفومترية.

معامل الاستدارة: معامل يقارن مدى تقارب شكل الحوض من الشكل الدائرى؛ حيث إن الأحواض القريبة من الاستدارة تكون أكثر خطورة للسيول، كما أنه معامل يقارن بين مساحة الحوض ومساحة دائرة محيطها يساوي محيط الحوض، وتم الحصول على نسبة الاستدارة عن طريق المعادلة التي أوردها ميللر، والتي يمكن الحصول عليها من المعادلة التالية (Miller,1953,P.9):

معامل الاستدارة = مساحة الحوض كم^{٢}/ مساحة الدائرة التي لها محيط الحوض نفسه كم^{٢}.

وتميل الأحواض صغيرة المساحة إلى الشكل الدائري بصفة عامة، وبالتالى فإنها تكون أكثر خطورة للسيول، ويرتبط بها حدوث سيول سريعة كبيرة ومدمرة، ومن ثم تشير زيادة نسبة الاستدارة الى زيادة خطورة السيول في الحوض، وكان حوض وادي عتود هو أعلى معامل استدارة في الأحواض (٠,١٨)، أما أقل نسبة استدارة فكانت لحوض وادي بيا (٠,٢٣)؛ حيث يميل شكل الحوض إلى نمط

الاستطالة وليس الاستدارة.

كثافة التصريف: تعبر الكثافة التصريفية عن العلاقة بين أطوال المجاري ومساحة أحواضها التجميعية، ويمكن الحصول عليها من المعالة التالية (Horton,1945, p283):

$$D = EL/A$$

حيث: A مساحة الحوض، L طول الحوض، EL مجموع أطوال الروافد في مساحة ما، D هى كثافة التصريف

تبين من التطبيق والتحليل اختلاف كثافة التصريف في المنطقة من حوض إلى آخر؛ حيث بلغت أعلاها في حوض وادي أبها وترج (٦,٧، ٦,٤) على التوالى، وأقلها في أحواض أودية عتود وحلى وبيا (٣,٥، ٤,٢، ٤,٦) على التوالى، ويمكن القول إن كثافة التصريف تزيد في المناطق الخالية من النباتات؛ حيث تتحرك المياه بسرعة عالية دون عائق، فضلاً عن أنها تزيد في المنابع؛ حيث تعد أحواض أبها وترج ونكب جزءًا من المنابع العليا لحوض وادي بيشة، بينما تقل كثافة التصريف بالقرب من المصب مثل وادي بيا وحلى.

التكرار النهري: يعبر عن العلاقة بين أعداد المجاري النهرية والمساحة الحوضية، ويمكن الحصول عليه من المعادلة التالية (Horton,1945, p285):

$$F = ENU/A$$

حيث: A مساحة الحوض، ENU مجموع كل الراوفد في مساحة ما، F التكرار النهري

وتبين من التحليل أن أعلى معدل تكرار نهري في المنطقة كان من نصيب حوض حلى ٦,٨ مجرى/ كم، بينما كان أقل معدل تكرار نهري حوض وادي عتود بنحو ٣,٥ مجرى / كم؛ حيث يزيد معدل التكرار النهري عند المنابع العليا

للأحواض، وذلك نتيجة زيادة كثافة التصريف في وحدة مساحية واحدة وكذلك كثافة سقوط الأمطار، وزيادة معدلات الانحدار في هذه المناطق، بينما يقل معدل التكرار النهري عندما يقل سقوط الأمطار وتقل الانحدارات في المنطقة.

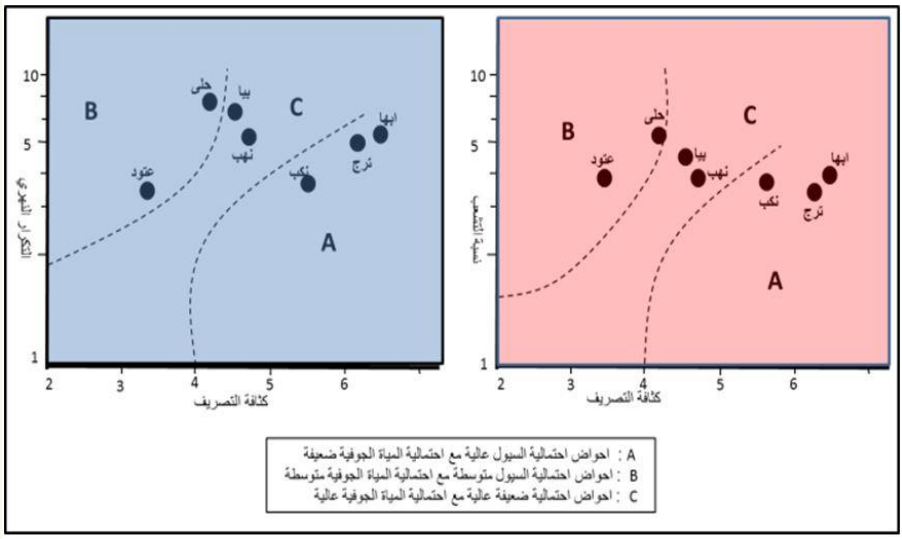
نسبة التشعب: تفيد دراسة نسبة التشعب في معرفة كميات الأمطار التي تهطل على المنطقة، وتنتظم في المجاري المائية، حيث تعمل نسبة التشعب المرتفعة في منطقة المنابع على استيعاب الهطول المتزايد للأمطار وانتظامها في قنوات مائية (Wood, 1983, p.85) مما يزيد من احتمالية السيول في هذه الأحواض. ويمكن الحصول عليها من المعادلة التالية (محسوب، ١٩٩٧، ص٢١١):

$$Rb=NU/\ NU+1$$

حيث: NU مجموع الراوفد لرتبة ما، NU+1 مجموع الراوفد للرتبة الأعلى، F تكرار نهري، Rb نسبة التشعب.

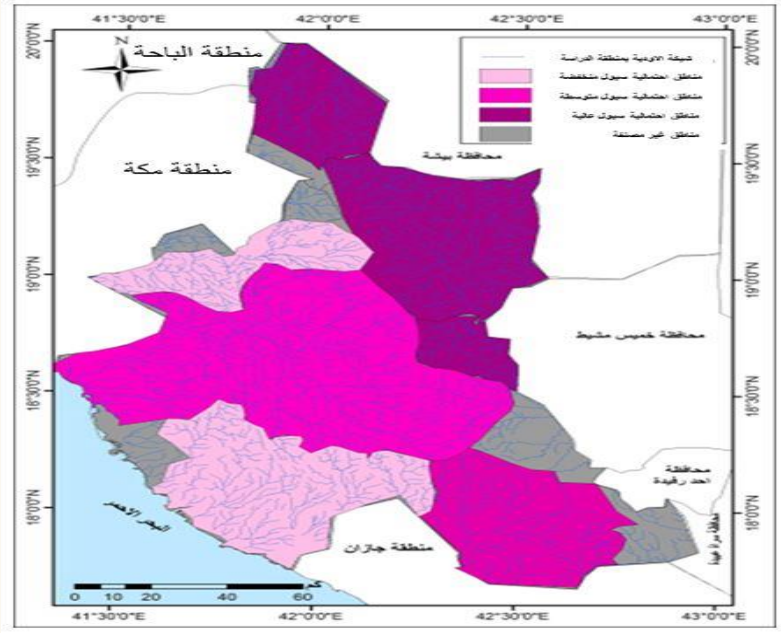
وتبين من التحليل تباين نسبة التشعب في أحواض منطقة الدراسة؛ حيث كان أعلاها في حوضي حلى وبيا (٥,٣، ٤,٨)، بينما سجل حوضا وادي نهب ووادي نكب أقل الأحواض في نسب التشعب بنحو (٣,٨).

وبناء على ما سبق، وبعد إجراء مجموعة القياسات المورفومترية على أحواض منطقة غرب عسير، ومن نتائج هذه القياسات، يمكن التطبيق على منحنى التقييم الهيدرولوجي، ويوضحه شكل (١٤)، وتبين من التحليل العام أن هناك أحواضا تقع في منطقة احتمالية السيول العالية، بينما هناك أحواض تقع في منطقة احتمالية السيول المتوسطة، وأخيراً توجد أحواض تقع في منطقة احتمالية حدوث السيول المنخفضة.



المصدر: (El-Shamy, 1992)، واعتمادا على بيانات جدول (١٤)

شكل (١٤) المنحنى الهيدرولوجي لأحواض التصريف في منطقة غرب عسير



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على بيانات نتائج المرئيات الفضائية (DEM)، وشكل (١٤).

شكل (١٥)

احتمالية السيول في الأحواض الثانوية بمنطقة غرب عسير

من التحليل التفصيلي للمنحنى الهيدرولوجي بالشكل (١٤) يتضح أن هناك ثلاثة أحواض تقع في منطقة احتمالية السيول العالية، وهى: أحواض وادي نكب وترج وأبها؛ حيث تمثل المنابع العليا لحوض وادي بيشة، بينما هناك أحواض تقع في منطقة احتمالية السيول المتوسطة، وهي: حلى وعتود، وتتصف بأنها أحواض ذات تصريف خارجي، تتميز بشدة الانحدار وزيادة أطوالها، وأخيراً توجد أحواض تقع في منطقة احتمالية حدوث السيول المنخفضة، وتشتمل على بيا ونهب، ويوضح شكل (١٥) درجات خطورة السيول في منطقة غرب عسير اعتماداً على أحواض التصريف المدروسة .

رابعاً: تأثير السيول في بعض محاور التنمية المستدامة:

تعد السيول في منطقة غرب عسير من العوامل البيئية التي تؤثر سلباً في التنمية المستدامة؛ حيث تؤدي إلى تضرر الطرق والجسور، وتعطل المشاريع الاستثمارية، وتراجع الإنتاج الزراعي، فالسيول المفاجئة تؤدي إلى خسائر مالية كبيرة نتيجة الأضرار التي تلحق بالبنية التحتية الحيوية، مما يؤثر في استدامة التنمية في المنطقة، كما أن السيول تؤدي إلى زيادة تكاليف الصيانة وإعادة الإعمار والتأهيل، مما يفرض تحديات إضافية على خطط التنمية، لذا فإن دراسة السيول وأثرها في بعض محاور التنمية في غرب منطقة عسير يعد أمراً ضرورياً للحد من المخاطر ودعم قدرة المنطقة على مواجهة التحديات البيئية، ولذلك سوف نتطرق في هذه الجزئية من البحث إلى دراسة أثر السيول في أهم محاور التنمية المستدامة

بمنطقة غرب عسير مثل: تأثيرها في شبكات الطرق، والعمران، والزراعة وذلك من إنشاء خرائط تفاعلية تعتمد على خريطة احتمالات السيول في الأحواض شكل (١٥)، مع الخرائط الخاصة بالطرق والعمران والزراعة وإظهار درجات خطورة السيول على تلك المحاور.

١- تأثير السيول في الطرق في منطقة غرب عسير:

تعد السيول من الظواهر الطبيعية التي تؤثر بشكل كبير في البنية التحتية للطرق، خصوصا في المناطق الجبلية مثل غرب عسير، حيث تؤدي الأمطار الغزيرة إلى انجراف التربة وضعف الطبقات الأسفلتية، مما يسبب أضراراً كبيرة للطرق ويؤثر في سلامة النقل، كما تؤدي السيول إلى زيادة معدلات تضرر الطرق، مما يتطلب تكاليف كبيرة في عمليات الصيانة وإعادة التأهيل. ونظراً لأن الأضرار الناجمة عن السيول تكلف الاقتصاد المحلي مبالغ سنوياً، مما يستدعي اتخاذ تدابير وقائية لتحسين تصريف المياه وتقوية متانة الطرق، بناءً على ذلك فإن فهم تأثير السيول في شبكة الطرق في غرب عسير يعد ضرورياً لتطوير حلول مستدامة تضمن استمرار كفاءة البنية التحتية وتقليل المخاطر المستقبلية، ويمكن تناول ذلك من خلال عدة نقاط؛ منها علاقة شبكة الطرق بمخاطر السيول في أحواض المنطقة، وذلك بعمل خريطة تفاعلية بين شبكة الطرق وخريطة درجات الاحتمالات المستنتجة سابقاً، ومن ثم إيجاد علاقة خطورة السيول بشبكة الطرق كما يتضح من جدول (١٥) وشكل (١٦).

جدول (١٥)

توزيع أطوال شبكة الطرق تبعاً لدرجات خطورة السيول في منطقة غرب عسير

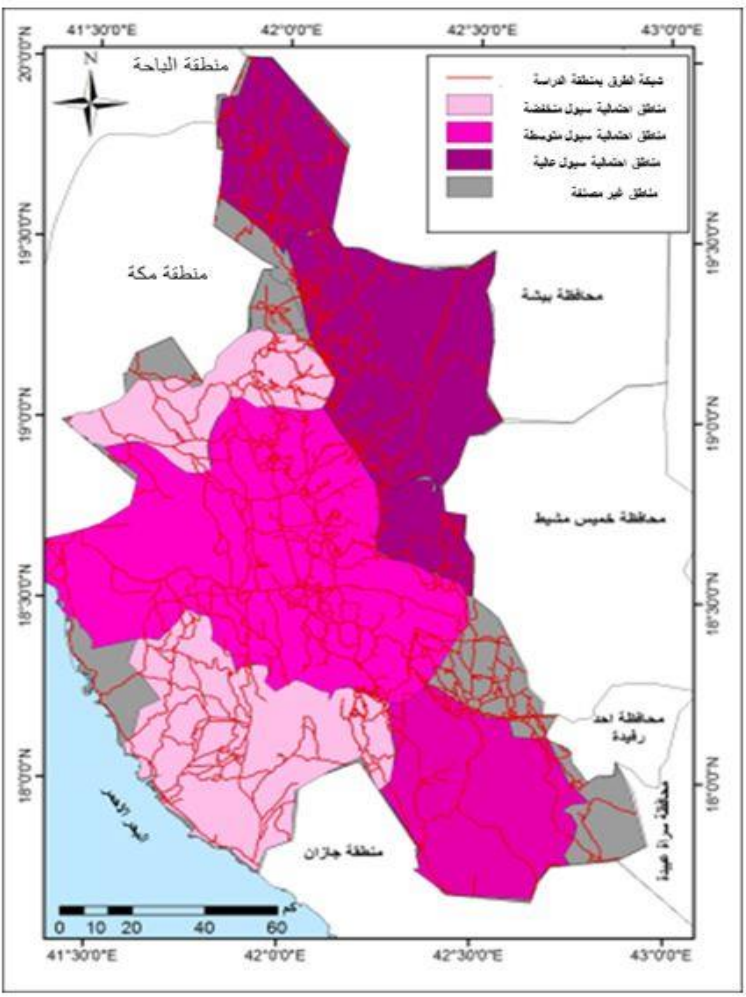
درجة خطورة السيول	أطوال الطرق (كم)	النسبة من إجمالي أطوال الطرق (%)
خطرة	٢٥٢	٢٧,٧
متوسطة	٢٨٥	٣١,٣
منخفضة	٢٢٥	٢٤,٧
غير مدروسة	١٤٧	١٦,٣
الإجمالي	**٩٠٩**	**١٠٠**

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ :٥٠٠٠٠ باستخدام برنامج ArcGIS 10.2.

يتضح من التحليل أن هناك أطوالا عدة من الطرق تقع في فئات السيول الخطرة؛ خصوصا التي تتركز في بعض الأحواض الفرعية الصغيرة، مثل: أحواض حلى وعتود، أي في المنطقة الجبلية في سلسلة جبال عسير، حيث المنابع العليا لهذه الأحواض، حيث أنجزت مناطق حماية لهذه الطرق من خطر السيول، كما اتضح أن نحو ٢٥٢ كم من الطرق توجد في المناطق ذات السيول الخطرة، وهو ما يمثل نحو ٢٧,٧ % من إجمالي أطوال الطرق بمنطقة الدراسة، أما الطرق التي توجد في مناطق السيول ذات الخطورة المتوسطة، فيبلغ أطوالها نحو ٢٨٥ كم، أي ما يمثل ٣١,٣ % من إجمالي أطوال الطرق بمنطقة الدراسة، وهي بذلك تمثل أعلى نسبة، في حين شكلت أطوال الطرق التي توجد في مناطق السيول ذات الخطورة المنخفضة نحو ٢٢٥ كم، وهي بذلك تمثل أقل نسبة بنحو ٢٤,٧ % من إجمالي الطرق بمنطقة الدراسة.

ومن نماذج الطرق التي تتعرض لخطورة السيول العالية كما يتضح من جدول

(١٦): طريق النماص وتم تحديد أطوال الوصلات من شكل (١٦)، الذي يجري في روافد وادي نكب وحلى، والذي يعد أطول الطرق بطول يصل إلى ١٢٥ كم، ويليه طريق محايل البرك بطول يصل إلى ٧٨ كم.



المصدر: وزارة الشؤون البلدية والقروية – مشروع المخطط الإقليمي لمنطقة عسير عام ١٤٤٤هـ، وشكل (١٤).

شكل (١٦)

توزيع شبكة الطرق بناء على احتمالية السيول في الأحواض الثانوية بمنطقة الدراسة

جدول (١٦)

بعض وصلات الطرق الواقعة في مجاري أودية تتميز بخطورة السيول العالية في منطقة غرب عسير

م	الوصلة	الأودية	وصف وطول الوصلة
١	وصلة الحريضة	روافد وادي نكب	طريق مزدوج بطول ٦٠ كم
٢	وصلة البرك	روافد وادي حلى	طريق مزدوج بطول ٤٥ كم
٣	وصلة سعيدة الصوالحة	روافد وادي بيا	طريق مزدوج بطول ٣٠ كم
٤	وصلة النماص	روافد وادي نكب وروافد وادي حلى	طريق مزدوج بطول ١٢٥كم
٥	وصلة سراة عبيدة	روافد وادي حبونة	طريق بطول ٥٠ كم
٦	وصلة المجاردة	راوفد وادي حلى	طريق بطول ٦٠ كم
٧	وصلة شمال محايل	روافد وادي نكب وروافد وادي حلى	طريق بطول ٥٠ كم
٨	وصلة جنوب رجال ألمع	روافد وادي نمب	طريق بطول ٦٥ كم
٩	وصلة طريق محايل البرك	وادي حلى وروافد وادي بيا	طريق الترابي بطول ٧٨كم

المصدر: من عمل الباحثة اعتمادا على الخرائط الطبوغرافية مقياس ١: ٥٠٠٠٠ باستخدام Arc GIS10.2

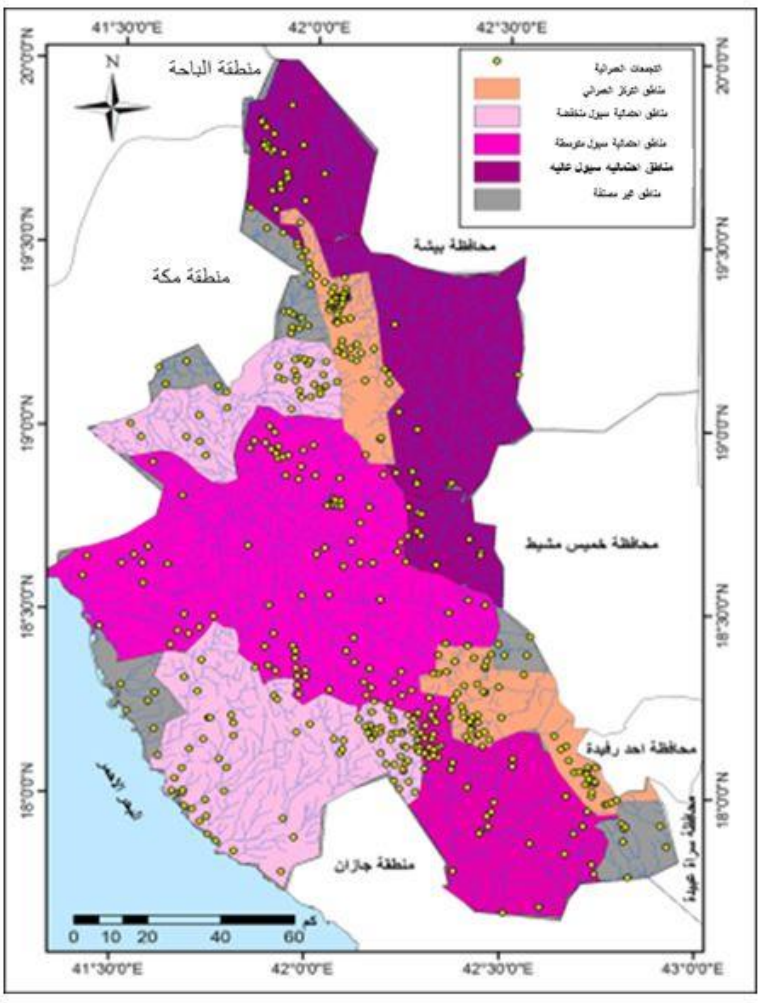
٢– تأثير السيول في العمران في منطقة غرب عسير:

يسهم التوزيع العمراني غير المدروس الذي يتداخل مع مجاري الأودية الطبيعية في زيادة خطر السيول، فعندما تقام التجمعات السكانية والبنية التحتية في مناطق الأودية دون أخذ العوامل الجيومورفولوجية والهيدرولوجية بعين الاعتبار، يؤدي ذلك إلى انسداد مجاري المياه، مما يزيد من احتمالية تراكم المياه وتدفقها بقوة أكبر

أثناء السيول، كما أن إنشاء المناطق العمرانية يزيد من مساحة الأسطح غير النفاذة، مما يقلل من امتصاص المياه ويضاعف سرعة الجريان السطحي، مما يدعم تأثير السيول، ففي عام ٢٠٠٠ إلى عام ٢٠١٥، زادت نسبة سكان العالم المتضررين من كوارث السيول بنسبة ٢٠-٢٤٪ (Wang , et al., 2024, p25).

وتعد الأودية بمنطقة غرب عسير أحد أهم عناصر استقرار التجمعات السكانية حيث نشأت تلك التجمعات حول حوافها لتوافر عنصر المياه، وإمكانية قيام أنشطة الزراعة، والرعي، ومن أهم الأودية فروع وادي بيشة، ووادي عتود، ووادي حبونة، ووادي حلي، ووادي يبا، (Ouma, 2014, p20)، وبدراسة التجمعات العمرانية وعلاقتها بشبكات التصريف ومخاطر السيول كما يتضح من شكل (١٧)، تبين أن السيول في منطقة غرب عسير تمثل تحدياً بارزاً للتخطيط العمراني والبنية التحتية، وذلك بسبب الطبيعة الطبوغرافية الجبلية للمنطقة وكميات الأمطار الموسمية الغزيرة التي تؤدي إلى تدفق المياه بسرعة عالية، مما يسبب خطر تعرية التربة وانجرافها وبالتالي التأثير في استقرار المباني.

ويتضح من تحليل شكل (١٧) أن هناك منطقتي تركز عمراني بمنطقة الدراسة؛ الأولى تقع في محافظة النماص وأجزاء من محافظة بلقرن والقسم الشمالي من محافظة أبها، وهذة المنطقة معرضة بصورة كبيرة لاحتمالات السيول العالية بها، أما المنطقة العمرانية الثانية فتتركز في جنوب محافظة أبها وهي ذات احتمالية سيول متوسطة، كما توجد تجمعات عمرانية صغيرة مبعثرة في المنطقة بصورة متباينة تجمع بين جميع احتمالات السيول في المنطقة، وتم هذا التصنيف اعتمادا على خريطة احتمالات السيول في منطقة الدراسة شكل (١٤).



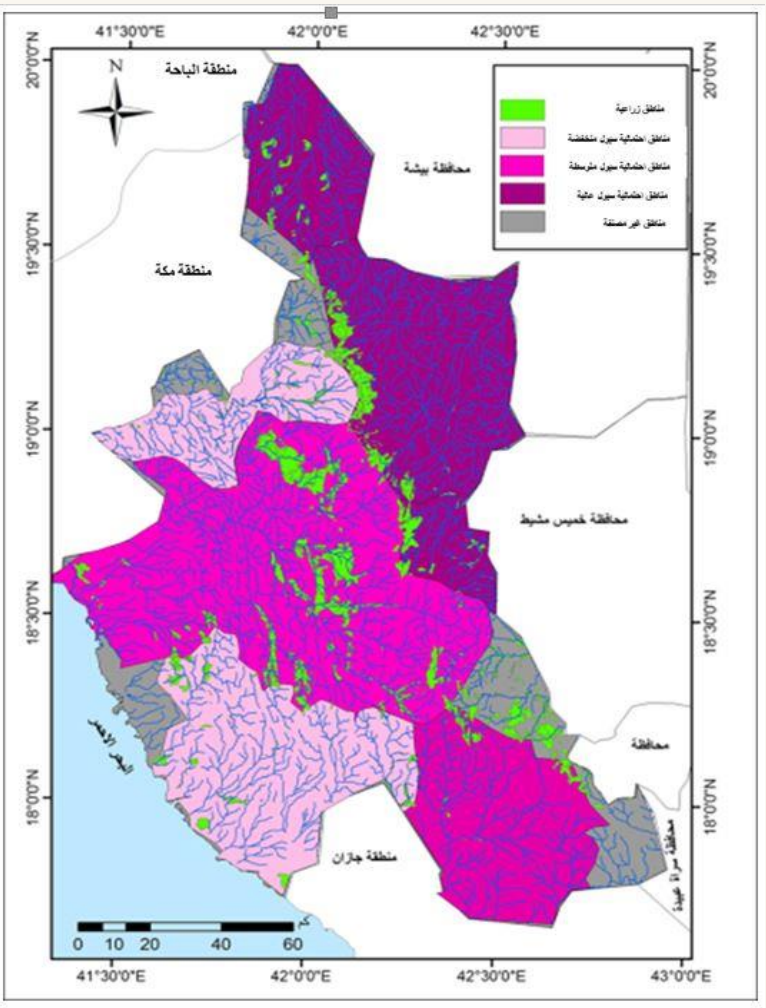
المصدر: وزارة الشؤون البلدية والقروية – مشروع المخطط الإقليمي لمنطقة عسير عام ١٤٤٤هـ.

شكل (١٧)

توزيع التجمعات العمرانية بناء على احتمالية السيول في الأحواض الثانوية في منطقة الدراسة

٣- تأثير السيول في الأراضي الزراعية في منطقة غرب عسير:

تتصف منطقة الدراسة بغزارة الأمطار؛ حيث تتركز الأمطار على جبال السراة وتنحدر نحو السهول، بينما تكون الأمطار في تهامة أقل وغير منتظمة، مما يسهم في انجراف التربة وتكوين الرواسب على المنحدرات، لتجنب هذا الجرف قام المزارعون بإنشاء المصاطب الزراعية على المنحدرات الجبلية، ويوضح شكل (١٨) المناطق الزراعية تبعاً لاحتمالية السيول في منطقة غرب عسير، حيث يوضح أن معظم المناطق الزراعية تقع في مناطق احتمالية سيول عالية، مثل: المناطق التي تتركز في محافظات النماص وبلقرن، والأجزاء الشمالية من محافظة أبها، أو احتمالية سيول متوسطة، مثل: المناطق الزراعية التي تتركز في محافظة محايل والمجاردة؛ حيث يعد ذلك أحد التحديات الكبيرة التي تواجه المزارعين؛ حيث تتسبب الأمطار الغزيرة في خطر انجراف التربة.



المصدر: وزارة الشؤون البلدية والقروية – مشروع المخطط الإقليمي لمنطقة عسير عام ١٤٤٤هـ، وشكل (١٤).

شكل (١٨)

توزيع الأرضي الزراعية بناء على احتمالية السيول في الأحواض الثانوية في منطقة الدراسة

وقد ابتكر الفلاحون في المنطقة مجموعة من الأساليب الزراعية تتماشى مع طبيعة البيئة الجبلية وتساعد في حماية التربة من التدهور، ومن أبرز هذه الطرق المصاطب الزراعية أو المدرجات، التي تعد من الحلول الفعالة لزيادة استدامة الزراعة على المنحدرات؛ حيث يتم تحويل التربة إلى مدرجات صغيرة تعمل على تثبيت التربة وتقليل تأثير المياه الجارية، مما يمنع انجرافها ويحسن قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء؛ إضافة إلى ذلك يعتمد المزارعون في المنطقة على الزراعة بالتناوب، التي تتيح زراعة محاصيل متنوعة في فترات زمنية متعاقبة، وهذه الطريقة لا تسهم فقط في الحفاظ على خصوبة التربة، بل تساعد أيضاً في تقليل احتمالية انجرافها نتيجة لتوزيع المحاصيل بشكل متوازن، مما يسهم في تجنب استنزاف العناصر الغذائية (Riley et al., 2017).

٤- المقترحات والحلول للحد والتخفيف من التأثيرات السلبية للسيول:

- تحسين إدارة الموارد المائية من خلال دعم استراتيجيات إدارة الموارد المائية من قبل وزارة البيئة والمياه والزراعة، خصوصا في ظل التغيرات المناخية المتسارعة التي قد تؤثر سلبًا في استدامة المياه والزراعة في منطقة عسير.
- تطوير البنية التحتية لتصريف السيول واستكمال البنية التحتية من قبل إمارة منطقة عسير، لاحتواء مياه السيول وتخزينها بما يضمن الاستفادة منها في أوقات الجفاف، وتقليل خطر الفيضانات.
- منع التوسع العمراني في المناطق الخطرة وذلك بإيقاف التوسعات العمرانية في مجاري الأودية ومناطق مخاطر السيول من قبل الجهات التنظيمية، خصوصًا في المناطق المصنفة عالية الخطورة، للحفاظ على الأرواح والممتلكات.
- تصميم طرق مقاومة للسيول من خلال وزارة النقل بإنشاء الطرق والجسور باستخدام مواد مقاومة للانجراف، وتحديث معايير البناء لتتلاءم مع طبيعة المخاطر الناتجة عن السيول.
- تعزيز شبكات تصريف المياه بتطوير أنظمة تصريف مياه الأمطار من خلال تركيب

شبكات حديثة ومتطورة لمنع تجمع المياه في الطرق، والحد من الانهيارات والانجرافات.

- استخدام الحلول البيئية الطبيعية وذلك بإقامة مصدّات طبيعية وزراعة الأشجار والشجيرات حول الأراضي الزراعية، مما يسهم في كسر قوة السيول وتقليل انجراف التربة.
- تحديث المخططات الحضرية بما يضمن عدم البناء في مجاري السيول، واعتماد معايير تخطيط صارمة عند اختيار مواقع المشاريع التنموية.

النتائج:

توصلت الدراسة بعد العرض والتحليل إلى عدة نتائج أهمها: زيادة كميات الأمطار بصفة عامة بالاتجاه نحو شرق منطقة الدراسة، وذلك في محطات أبها والسودة والنماص بالموازنة بمحطات غرب منطقة الدراسة والمتمثلة في محايل والمجاردة؛ حيث يمثل فصل الربيع الفصل الأعلى مطراً بغرب عسير وذلك في كل محطات منطقة الدراسة، يليه فصل الشتاء، أما فصل الصيف فيحتل المرتبة الثالثة مطراً، وأخيراً يأتي فصل الخريف في المرتبة الأخيرة. وتسقط معظم أمطار منطقة الدراسة من شهر يناير وحتى شهر أغسطس؛ حيث زادت كميات الأمطار بهذه الفترة في أبها بنحو ٩٠٪ على كميات الأمطار السنوية بها، ونحو أكثر من ٨٠ % من أمطار السودة والنماص، كما كان شهر أبريل أعلى شهور العام مطراً بكل محطات منطقة الدراسة.

صُنفت منطقة الدراسة إلى ثلاثة نطاقات متدرجة من الفئات المطرية، فقد بلغت كميات الأمطار السنوية بالنطاق الأول أكثر من ٤٠٠ ملم، وتمثل مساحته ٣٢ % من مساحة منطقة الدراسة، والنطاق الثانى من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ ملم، وتصل مساحته إلى ٣٩ %، أما النطاق الثالث فتبلغ كميات الأمطار به أقل من ٢٠٠ ملم، وتبلغ مساحته٢٩ % من مساحة منطقة الدراسة.

وقد أكدت دراسة قرينة لورنز أن خصائص الأمطار بغرب عسير تتميز بالتوزيع المكاني شبه المنتظم، وذلك لبلوغ ناتج القرينة ٠,١٧، كما تبين من خلال نتائج فاعلية المطر السنوية لديمارتون وكوبن أن أقصى فاعلية للمطر السنوي توجد في النماص والسودة وأبها، في حين كانت أقل فاعلية للمطر لمحايل والمجاردة.

وأكدت القياسات المورفومترية التي طُبّقت على الأحواض السبعة المدروسة، أن إجمالي كميات الجريان السيلي في المنطقة بلغ نحو ٢٧١٥٣ مليون م^{٣}؛ حيث تمثل أعلى حجم للجريان السطحي في حوض وادي نكب بنحو ٥٤٢٥ مليون ملم^{٣}، بينما كان أقل الأحواض في حجم الجريان السيلي في حوض وادي بيا بنحو ٢١٢٥ مليون م^{٣}.

تبين من خلال دراسة أثر السيول في الطرق أن هناك أطوالا عدة من الطرق تقع في فئات السيول الخطرة، خصوصا في المنطقة الجبلية في سلسلة جبال عسير في بعض الأحواض الفرعية الصغيرة، مثل أحواض حلى وعتود، كما يوجد نحو ٢٧,٧ % من إجمالي الطرق بمنطقة الدراسة في المناطق ذات السيول الخطرة، ثم ٣١,٣ % في مناطق السيول المتوسطة، بينما وقع ٢٤,٧ % في المناطق المنخفضة السيول.

وتبين بدراسة التجمعات العمرانية وعلاقتها بشبكات التصريف ومخاطر السيول أن هناك منطقتي تركز عمراني بمنطقة الدراسة، الأولى تقع في المنطقة ذات السيول العالية، وهي محافظة النماص وأجزاء من محافظة بلقرن، فضلاً عن الجزء الشمالي من محافظة أبها، أما المنطقة الثانية فتوجد في جنوب محافظة أبها، وهي: ذات احتمالية سيول متوسطة.

كما تبين أن معظم المناطق الزراعية تقع في احتمالية السيول العالية، مثل: المناطق التي تتركز في محافظات النماص وبلقرن، والأجزاء الشمالية من محافظة أبها، وأيضاً هناك مناطق زراعية تقع في مناطق احتمالية سيول متوسطة مثل: المناطق

الزراعية التي تتركز في محافظتي محايل والمجاردة.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن الأمطار التي تسقط على منطقة غرب عسير تسهم بدور مزدوج في التأثير في التنمية بالمنطقة؛ حيث تمثل من جهة مورداً مائياً مهماً للأنشطة الزراعية، وتسهم في تغذية المياه الجوفية؛ وبخاصة في المناطق الجبلية، ومن جهة أخرى فإن الكثافة المطرية وشدة السيول المصاحبة لها تؤدي إلى أضرار مباشرة على البنية التحتية، لا سيما شبكات الطرق والمناطق العمرانية الواقعة في ممرات السيول أو عند مصبات الأودية، كما تبين وجود تأثيرات سلبية في استدامة الزراعة في الأراضي المنخفضة التي تتعرض للانجراف وتدهور التربة بفعل المياه الجارية، وتبرز هذه النتائج أهمية إدارة مياه الأمطار والسيول بشكل متكامل، وتوظيفها بما يحقق التوازن بين محاور التنمية المستدامة في منطقة غرب عسير.

المصادر والمراجع:

أولاً المصادر:

- وزارة البيئة والمياه والزراعة، ٢٠١٦
https://www.mewa.gov.sa/ar/Pages/default.aspx
- أمارة منطقة عسير ٢٠٢٣ https://portal.aseer.gov.sa/ar
- وزارة الشئون البلدية والقروية، وكالة الوزارة لتخطيط المدن، المخطط الاقليمى لمنطقة عسير ١٤٤٥ https://momah.gov.sa/ar/node/13020
- وزارة البيئة والزراعة والمياه، المركز الوطنى للأرصاد، مركز الوثائق العلمية لبيانات الفترة الزمنية من (١٩٨٥: ٢٠١٩)
https://www.mewa.gov.sa/ar/InformationCenter/OpenData/Pages/home.aspx

ثانياً المراجع:

المراجع العربية:

- **الأحيدب، إبراهيم سليمان (١٩٩٨)**: توزيع الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية، الرياض، جامعة الملك سعود.
- **آل الشيخ، عبد الملك عبد الرحمن (٢٠٠٦)**: حصاد مياه الأمطار والسيول وأهميته للموارد المائية في المملكة العربية السعودية، كلية علوم الأغذية، جامعة الملك سعود، الرياض، المؤتمر الدولى الثانى والموارد المائية والبيئة الجافة
- **الجراش، محمد عبد الله (١٩٨١)**: العوامل المؤثرة في كميات الأمطار على غرب وجنوب المملكة العربية السعودي، مجلة كلية الآداب، جامعة الملك سعود، المجلد الثامن، العدد الثامن.
- **خضر، محمود محمد (١٩٩٧)**: "الأخطار جيومورفولوجية الرئيسية في مصر، مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

- **صالح، أحمد سالم (١٩٩٩)**: "السيول في الصحاري نظرياً وعملياً"، دار الكتاب الحديث، القاهرة.
- **عبد الصمد، متولي عبد العزيز (٢٠٠١)** حوض وادي وتير – دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراة منشورة، قسم الجغرافيا – كلية الآداب – جامعة القاهرة.
- **محسوب، محمد صبري (١٩٩٧)** جيومورفولوجية الأشكال الأرضية ، دار الفكر العربي ، القاهرة
- **موسى، على حسن (١٩٨٩)**: مناخات العالم، دار الفكر، دمشق.

المراجع الأجنبية:

- Al-Harbi, M. (2021). Water balance assessment for sustainable development in southwestern Saudi Arabia. Journal of Environmental Management, 290, 112583.
- 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.
- Arnold, B. C., & Sarabia, J. M. (2018). Analytic expressions for multivariate Lorenz surfaces. Sankhya A: The Indian Journal of Statistics, Series A, 80, 84–111. https://doi.org/10.1007/s13171-018-00158-9
- Cook, R. U., Brusden, D. Doorn Kamp J. C., and Jenes, D. K. (1982): Urban Geomorphology in Drylands, Oxford Univ. press, London & New York.

- El-Rawy, M., Batelaan, O., Al Arifi, N., Alotaibi, A., Abdalla, F., & Gabr, M. E. (2023). Climate change impacts on water resources in arid and semi-arid regions: A case study in Saudi Arabia. Water, 15(3), Article 606.
- El Shamy, I.Z. (1992) Recent recharge and flash flooding opportunities in the Eastern Desert, Egypt. Ann. Geol. Surv. Egypt.
- HORTON, R.E., (1945): Drainage basin characteristic, geophysics. Union. Trans., V., 13, PP. 350-361.
- Miller, V., (1953): A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, project NR 389 – 042, Tech. Rept.3., Columbia Uni.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007
- Riley, L., Behera, S. K., & Singh, A. (2017). Agronomic challenges and opportunities for smallholder terrace agriculture in developing countries. *Frontiers in Plant Science, 8*, 331. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00331
- Sharma, P. K., & Suresh, N. (2019). Groundwater recharge in fractured rock aquifers: A geotechnical perspective. Journal of Hydrology, 576, 256–270.

- Smith, J., Brown, K., & Lee, M. (2020). Application of Lorenz Curve in Rainfall Concentration Analysis. Climate Studies, 45(3), 112-130
- Tarawneh, Q. Y. (2015). Spatial variation of Saudi Arabia's annual rainfall using a regional prediction model. Arabian Journal of Geosciences, 8, 4147–4160
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38(1), 55–94
- Wilson, E.M. (1980). Engineering Hydrology. Elbs and Macmillan, London
- Scopus references
- AL-Areeq, A. M., Sharif, H. O., Abba, S. I., Chowdhury, S., Al-Suwaiyan, M., Benaafi, M., Yassin, M. A., & Aljundi, I. H. (2023). Digital elevation model for flood hazards analysis in complex terrain: Case study from Jeddah, Saudi Arabia. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 119, 103330.
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843223001528
- Karaoui, I., Arioua, A., El Amrani Idrissi, A., Hssaisoune, M., Nouaim, W., & Ait Ouhamchich, K. (2018). Assessing land use/cover variation effects on flood intensity via hydraulic simulations: A case study of Oued El Abid watershed

(Morocco). Geology, Ecology, and Landscapes, Volume 2.

- https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24749508.2018.1452461
- Wang, S., Li, R., & Wu, H. (2024). Integrated expression and analysis of urban flood disaster events from the perspective of multi-spatial semantic fusion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 132,104032.
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843224003868#s0135
- - Romanized Arabic references:
- Āl-Uḥaydib, Ibrāhīm Sulaymān (1998) M: Tawzīʿ al-Amṭār fī Janūb Gharb al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah, al-Riyāḍ, Jāmiʻat al-Malik Saʻūd.
- Āl al-Shaykh, ʻAbd al-Malik ʻAbd al-Raḥmān (2006) M: Ḥaṣād Miyāh al-Amṭār wālsywl wa-ahammīyatuhu lil-mawārid al-mā'īyah fī al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah, Kullīyat ʻulūm al-Aghdhiyah, Jāmiʻat al-Malik Saʻūd, al-Riyāḍ, al-Mu'tamar al-Dawlī al-thānī wa-al-Mawārid al-mā'īyah wa-al-bī'ah al-jāffah
- Āljrāsh, Muḥammad ʻAbd Allāh (1981) M: al-ʻawāmil al-mu'aththirah fī kammīyah al-Amṭār ʻalá Gharb wa-Janūb al-Mamlakah al-ʻArabīyah al-Saʻūdīyah, Majallat Kullīyat al-Ādāb, Jāmiʻat al-Malik Saʻūd, al-mujallad al-thāmin, al-ʻadad al-

thāmin.

- Khiḍr, Maḥmūd Muḥammad (1997): "al'khṭār jiyūmūrfūlūjīyah al-ra'īsīyah fī Miṣr, ma'a al-tarkīz 'alá al-suyūl fī ba'ḍ manāṭiq Wādī al-Nīl", Risālat mājistīr ghayr manshūrah, Kullīyat al-Ādāb, Jāmi'at 'Ayn Shams.
- Ṣāliḥ, Aḥmad Sālim (1999): "al-suyūl fī alṣḥārá nẓryan w'mlyā" an, Dār al-Kitāb al-ḥadīth, al-Qāhirah.
- 'Abd al-Ṣamad, Mutawallī 'Abd al-'Azīz (2001) Ḥawḍ Wādī wtyr-dirāsah zhiyūmūrfūlūzhīyat, Risālat duktūrāh manshūrah, Qism al-jughrāfiyā – Kullīyat al-Ādāb – Jāmi'at al-Qāhirah.
- Maḥsūb, Muḥammad Ṣabrī (1997) jiyūmūrfūlūjīyah al-ashkāl al-arḍīyah, Dār al-Fikr al-'Arabī, al-Qāhirah
- Mūsá, 'alá Ḥasan (1989): mnākhāt al-'ālam, Dār al-Fikr, Dimashq.