

النمذجة الهيدروجيومورفولوجية لتحديد المواضع المثلى لحصاد مياه الجريان السيلبي بحوض وادي الجمال

د. حمدي نبيه عيد محمد (*)

ملخص:

تعد عمليات حصاد مياه الجريان السيلبي وتحديد المواضع المثلى للسدود أحد أهم الاتجاهات المتبعة في الأدبيات العالمية وأحدثها لإدارة الموارد المائية بالمناطق الجافة وشبه الجافة وتخطيط استخدامها ودرء الأخطار الهيدروجيومورفولوجية الناجمة عنها حال عدم وجود أساليب حماية كافية لضبط حركة مياه الجريان السيلبي بها، فجاءت هذه الدراسة لنمذجة الضوابط الهيدروجيومورفولوجية الأكثر تأثيراً في عملية الجريان السيلبي في ضوء عملية التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process (AHP وهي إحدى طرق اتخاذ القرار المتبعة في عمليات النمذجة المكانية تم فيها الدمج بين النماذج الهيدروجيومورفولوجية التوزيعية Distributed وشبه التوزيعية Semi Distributed، ففي الأولى تم التعامل مع الحوض كوحدة جيومورفولوجية واحدة وحسبت قيم بعض المعايير والمؤشرات المختارة على مستوى كل خلية بحوض الوادي من خلال الحاسبة الخلوية Raster Calculator، وفي الأخيرة تم التعامل مع الحوض على أساس أنه محصلة لمجموعة من الأحواض الفرعية مع اعتبار أن كل منها وحدة جيومورفولوجية مستقلة بذاتها مما أتاح تفسير التباين المكاني الناتج عن عملية النمذجة لتسهيل عملية التحكم المكاني في هذه الوحدات والتخطيط المستند لها باعتبار أن نهاية كل وحدة جيومورفولوجية (حوض فرعي) محبساً طبيعياً وصمام أمان يمكن من خلاله التحكم في مسارات الجريان السيلبي ودرء أخطاره، وقد أسفرت نتائج النمذجة عن أن المواضع الملائمة جداً لحصاد مياه الجريان السيلبي شغلت نحو ١٦٩,٢٦ كم^٢ بما يعادل ٨,٦٣% من مساحة الحوض، كما شغلت المواضع الملائمة نحو ٣٨٩,٤٧ كم^٢ أي ما يوازي ١٩,٨٧% من مساحته، بينما شغلت المواضع متوسطة الملائمة ٥٥٣,٠٩ كم^٢ أي ٢٨,٢١% من مساحة الحوض، في حين قدرت المساحات التي شغلها المواضع ذات الملائمة المكانية المنخفضة نحو ٥٥٠,١٤ كم^٢ أي نحو ٢٨,٠٦% من المساحة الكلية للحوض، أما عن المواضع غير الملائمة فقدت مساحتها بنحو ٢٩٨,٣١ كم^٢ أي ما يعادل ١٥,٢٢% من مساحة الحوض.

الكلمات الدالة:

النمذجة الهيدروجيومورفولوجية، حصاد مياه الأمطار، وادي الجمال.

AHP, Water Harvesting , Wadi El Gemal , Hydro-geomorphological Modeling .

(*) مدرس الجغرافية الطبيعية ونظم المعلومات الجغرافية – كلية الآداب – جامعة سوهاج.

Hydro-geomorphological Modeling for Identifying Optimal Sites for Runoff Water Harvesting in the Wadi El Gemal Basin

Dr. Hamdi Nabih Eid (*)

Abstract

The harvesting of runoff water and identification of optimal dam sites stand as principal strategies reflected in global literature for water resource management in arid and semi-arid regions. These efforts contribute to usage planning and mitigation of hydro-geomorphological risks associated therewith, especially when adequate protective measures for managing runoff waters are absent.

This study endeavors to model the predominant hydro-geomorphological controls affecting runoff processes through the Analytic Hierarchy Process (AHP), a decision-making tool employed in spatial modeling. The study integrates both Distributed and Semi-Distributed hydrological models. In the former approach, the basin is treated as a single geomorphological unit, computing selected criteria and indices for each cell within the basin using the Raster Calculator. Conversely, the latter approach regards the basin as an aggregation of independent sub-basins, each considered as a standalone geomorphological unit. This permits the elucidation of spatial variations arising from modeling processes, facilitating spatial management and sustainable planning within these units. Thus, each geomorphological unit (sub-basin) functions as a natural reservoir and safety valve, allowing for control over runoff paths and mitigation of risks.

Modeling results revealed that highly suitable sites for runoff water harvesting cover approximately 169.26 km², equivalent to 8.63% of the basin area. Suitable sites occupy about 389.47 km², or 19.87%² of the area, while moderately suitable sites comprise 553.09 km², representing 28.21% of the basin. In contrast, sites with low spatial suitability account for approximately 550.14 km², about 28.06% of the total basin area. Finally, unsuitable sites span around 298.31 km², which equates to 15.22% of the basin.

Keywords:

Hydro-geomorphological Modeling, Rainwater Harvesting, Wadi El Gemal, AHP, Water Harvesting

* Dr. Hamdi Nabih Eid Mohammed, Lecturer, Department of Geography and Geographic Information Systems, Faculty of Arts, Sohag University.

CONTACT: hamdy_mohamed1@art.sohag.edu.eg | hamdy.nabeih@yahoo.com - hamdynabeih1@gmail.com

المقدمة

تعد عملية الحصاد المائي من الطرق التي زاولها الإنسان منذ القدم في المناطق الجافة لخرن مياه الأمطار عقب سقوطها بشكل طبيعي مستغلاً جريان مياه الأمطار من المناطق المرتفعة إلى المنخفضة ليجمعها ويستثمرها بأسلوب يعود عليه بالمنفعة ويوفر له حوائج المختلفة من المياه، وقد أضحت محط اهتمام العالم اليوم، لاسيما في ظل التحديات المرتبطة بنقص الموارد المائية في المناطق الجافة وشبه الجافة والتي عادة ما تسقط على شكل زخات غزيرة وسريعة في فترة زمنية قصيرة، مما دفع العديد من دول العالم لوضع استراتيجيات لحجز تلك المياه واستغلالها وقت الحاجة من خلال الآبار والخزانات كما هو الحال في ولاية راجستان بالهند أو الخزانات الكبيرة كما هو الحال غرب أستراليا أو من خلال بناء السدود الصغيرة والبرك لاستخدامها في أغراض الشرب والزراعة كما هو الحال بمناطق عسير والباحة و الطائف وحائل بالمملكة العربية السعودية ، والسدود التخزينية كسد الملك طلال وسد الوحدة وسد وادي العرب بالأردن ، وقد اتبعت مصر عدة أساليب لحصد مياه الجريان السيلي منها السدود التخزينية التي أنشأتها وزارة الموارد المائية والري كسد وادي وتير وسد الروافعة في شمال سيناء، و الخزانات الأرضية والبحيرات الصناعية كبحيرة التجمع في جنوب سيناء، والتي تسهم في تخزين مياه الجريان السيلي وتغذية المياه الجوفية بالمنطقة، كما تستخدم العديد من السدود التعويقية للحد من خطر الجريان السيلي على طول قطاعات الأودية الجافة بالصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء والساحل الشمالي الغربي .

موقع منطقة الدراسة

يقطع حوض وادي الجمال جبال البحر الأحمر في القسم الجنوبي الشرقي من مصر في النطاق المحصور بين خطي عرض بين ٢٤ ٩ ٤٥° و ٢٤ ١٤٩ ٥٣° شمالاً وخطي طول بين ٢٧ ٤٦ ٣٥° _ ١٧ ٥٠ ٣٥° شرقاً ، وتقدر المساحة الكلية لحوض الوادي بنحو ٢٧,٢٧٠,٩٦٠ كم٢ ، ويتألف من سبعة عشر حوضاً فرعياً كما يوضحه شكل(١)، أصغرها حوض وادي أم الضباع ٨.٧٤ كم٢ وأكبرها حوض وادي بير الشال ٣٥١.٠٩ كم٢ ، يتخذ الوادي شكلاً شجرياً يرتكز أصلها صوب البحر الأحمر شرقاً على رأس أرضي تعرف برأس بغدادي التي تمثل مروحة الفيضية والتي يقطعها في هذا القسم طريق حلايب وشلاتين، ويفصله عن البحر من هذا الاتجاه مجموعة من الأودية أهمها أودية الرنجة وأبو غصون و أم العنز ووادي خور أبو دبي وأم دهيس ووادي عريعر ووادي غدير ، ومن الشمال يفصله خط تقسيم مياه بين وادي البيضا والزرقا ، ومن الغرب يحده مجموعة من الأودية يقطعها طريق مرسى علم الشيخ الشاذلي أهمها المعقل والخلة وأم نشاشي ولحمي وأبو غربان ، ومن الجنوب يفصله عن أودية أم رمايم وأبو قرية وكريوني وأم الطيور خط تقسيم مياه .



شكل (٢) التقويض السفلي لطريق مرسى علم /شلاتين بفعل السيول وتجمع مياهها في القسم الأدنى من وادي الجمال

٢- مصادر الدراسة

- الخرائط الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠ ألف ، ١:٢٥٠ ألف هيئة المساحة الجيولوجية المصرية .
- الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٥٠ ألف الهيئة المصرية العامة للمساحة.
- نماذج الارتفاعات الرقمية DEM دقة ١٠ م
- نماذج SRTM دقة ١٠ م.
- محافظة البحر الأحمر ، وحدة إدارة الأزمات والكوارث.
- الدراسة الميدانية والدراسات السابقة.

• الدراسات السابقة

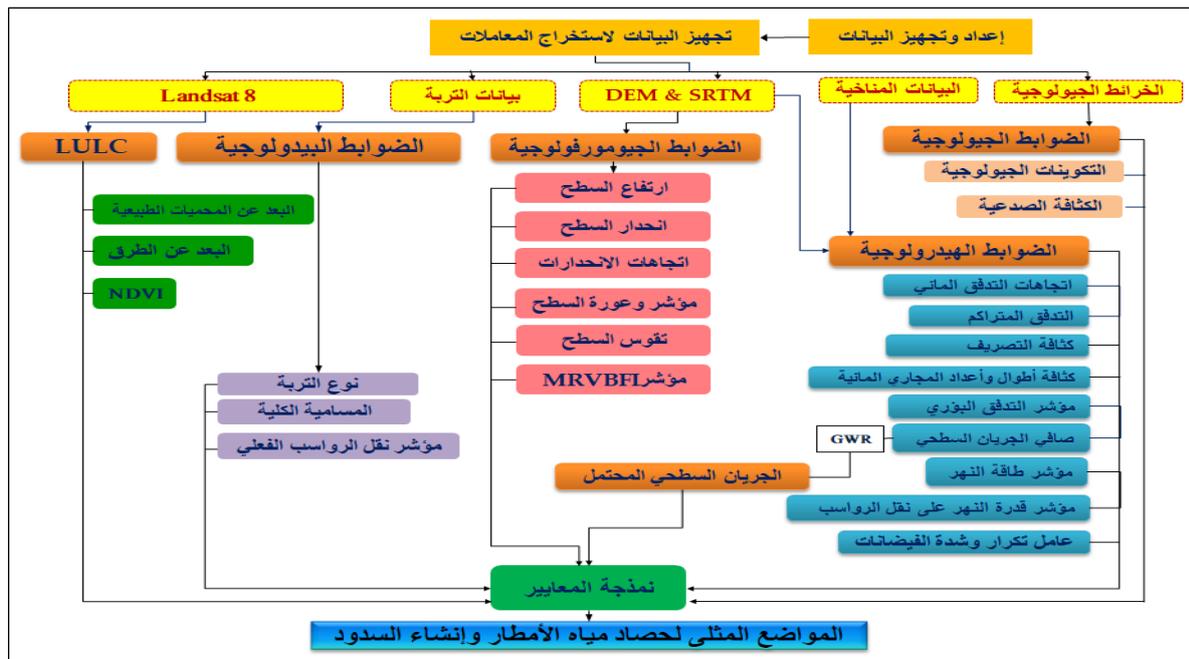
- تجدر الإشارة هنا إلى أن الدراسات التي أفادت الدراسة الحالية تمثلت فيما يلي:
- دراسة (Khosravi, K.; Nohani, E.; Maroufinia, E.; Pourghas, 2016) عن تقييم التأثير بالسيول المستند إلى نظم المعلومات الجغرافية ورسم الخرائط في إيران ، وهدفت هذه الدراسة إلى إعداد خرائط الحساسية للسيول باستخدام أربعة نماذج مختلفة أظهرت جميعها دقة معقولة في تحديد المناطق المعرضة للسيول ، وقد أفادت هذه الدراسة دراستنا الحالية في نمذجة المعايير الهيدرولوجية لفولجوية لتحديد المواضع الأكثر عرضة لتجمع مياه السيول لوضع استراتيجيات مبنية على إحدى طرق دعم واتخاذ القرار للتخطيط المستقبلي لتلك المواضع وبناء سدود تخزينية لحمايتها وحصد مياه الجريان السيلي.
- دراسة (عبد الحميد، ٢٠١٩) عن التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف المؤثرة على سد النهضة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية و النمذجة الهيدرولوجية ، وتوصلت الدراسة إلى أن الأحواض التي تغذي بحيرة سد النهضة بلغ عددها ٢١٧ حوضاً قدرت مساحتهم بنحو ٢٤٣٦٩٨٢.٤ كم^٢ وتغذي البحيرة بنحو ٢.٧٢ مليارم^٣ من المياه سنوياً، وقد أفادت تلك الدراسة في منهجية تقدير صافي الجريان السطحي من خلال حساب حجم الفواقد الفعلية والتي يتوقف عليها تقدير صافي الجريان بشكل أكثر دقة.

- دراسة (عبد الجواد و الكيالي، ٢٠١٩) عن النمذجة الهيدرولوجية لأبعاد الجريان السيلي بحوض وادي الجمال باستخدام تقنيات الجيوماتيكنس ، وقد توصلت الدراسة إلى أن المواقع المهددة بأخطار الجريان السيلي بلغ عددها ١٣٣ موقعاً تراوحت درجة خطورتها بين متوسطة إلى خطيرة جداً ، كما أن الأنشطة على الطريق الساحلي الذي يقطع الوادي في قسمه الأدنى تتمثل في القرى السياحية وشبكة الطرق الخدمية والمناطق التعدينية ، كما أن شبكة الطرق داخل مجرى الوادي تتماشى مع مسارات الوادي الرئيس مما يشكل خطراً كبيراً على العاملين بالمناجم الموجودة داخل الوادي حال تعرضه لحدوث جريان سيلي من خلال المياه الجارية والرواسب التي تحملها بفعل التعرية السيلية .
- دراسة (النوايسة و الزغول، ٢٠٢٢) عن اختيار المواقع المحتملة للحصاد المائي باستخدام النمذجة المكانية المتعددة المعايير في حوض وادي الموجب جنوبي الأردن وقد اعتمد الباحثان على تحديد تلك المواضع استناداً إلى عدة معايير تمثلت في درجة انحدار السطح ومعدلات التساقط، ، ونسيج التربة ، واستعمالات الأرض ، والبعد عن الطرق والصدوع والبنى التكتونية والقرب من الآبار، وخلصت الدراسة إلى إنشاء سدين في الأجزاء العليا للوادي وعشر حفائر في أماكن متفرقة من الحوض لحصد مياه الأمطار .
- دراسة (درويش، ٢٠٢٢) وتناولت الدراسة تحديد أنسب المواقع لحصاد مياه السيول في حوض وادي الضباب جنوب غرب مدينة تعز باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير، قام فيها الباحث باختيار أحد عشر معياراً في عملية النمذجة تمثلت في الأشكال الجيومورفولوجية، درجات الانحدار، ونوعية الصخور، و البعد عن الصدوع ، والمجموعات الهيدرولوجية للتربة ، والرتب النهرية ، وكمية الأمطار السنوية، وعمق الجريان ، والغطاءات الأرضية ، والبعد عن القرى والطرق، وقد توصلت الدراسة إلى أن المواقع الأنسب ملائمة لحصاد مياه السيول بالحوض كانت في القسم الأعلى من الحوض.
- دراسة (Xingsheng Du et al, 2024) وتناولت دور نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد لتحديد المواضع المحتملة لحصاد مياه الأمطار في منطقة خيبر باختنخوا في باكستان ، واستندت الدراسة على سبعة معايير لتحديد تلك المواضع وهي التكوين الجيولوجي، وشدة المطر ، و انحدار السطح، وكثافة التصريف المائي ، ونوع التربة ، والبعد عن الصدوع ، والغطاءات الأرضية.
- دراسة (Bakhtyar Ali Ahmad ,Sarkawt Ghazi Salar,Azad Jalal, 2024) وضعوا فيها منهجاً جديداً لحصاد مياه الأمطار من خلال اختيار المواضع المثلى للسدود في حوض تصريف ديوانا بمنطقة كردستان بالعراق ، قام الباحثون من خلالها بنمذجة ستة عشر معياراً لتحديد المواضع المثلى للسدود بطريقتي AHP,WSM وتمثلت هذه المعايير في انحدار السطح، ورتب المجاري المائية واتساعها ، وكثافة التصريف ، و نسيج التربة ، والغطاء النباتي والأرضي ، والتساقط ، والجريان

أسفرت عملية التحليل البيليومتري عن إحدى طرق صنع القرار الرئيسية وهي عملية التحليل الهرمي (Analytic hierarchy process) وبعض التقنيات والعمليات التي تم الاستناد إليها لإتمام عملية النمذجة مثل hydrology modeling, GIS, remote sensing وبعض الكلمات المفتاحية التي حددت أهداف الدراسة منها التحكم في فيضانات السيول flood control والحفاظ على المياه water conservation والاستدامة sustainability.

٣- أساليب الدراسة ومناهجها .

اعتمدت الدراسة في معالجة النقطة البحثية على اتباع عدد من الأساليب على سبيل المثال لا الحصر الأسلوب الفوتوغرافي لتصوير الظواهر ذات الصلة بموضوع الدراسة ، والأسلوب الكارتوجرافي لرسم الخرائط التي تفسر التباين المكاني لقيم المعايير المختارة في عملية النمذجة المبنية في الأساس على قاعدة بيانات مكانية للوادي بأحواضه الفرعية والأسلوب الإحصائي لحساب معاملات الارتباط بين بعض المعايير، وأسلوب التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) لبناء مصفوفة المقارنات الزوجية للمعايير المختارة وحساب أوزانها النسبية التي تم الاعتماد عليها في عملية النمذجة، وأسلوب التحليل الإحصائي المكاني الذي أفاد في اتباع الدراسة المنهج الاستقرائي للتنبؤ باحتماليات حدوث جريان سطحي من خلال حساب قيم الانحدار الموزون جغرافياً للربط بين صافي الجريان الحالي والمستقبلي من خلال تم تغذية قاعدة بيانات البرنامج بعد إجراء عمليات التحليل الهيدرولوجي، كما أفاد المنهج الإقليمي في تحديد منطقة الدراسة وإبراز خصائصها، أما عن منهجية الدراسة فيوضحها الشكل التالي:



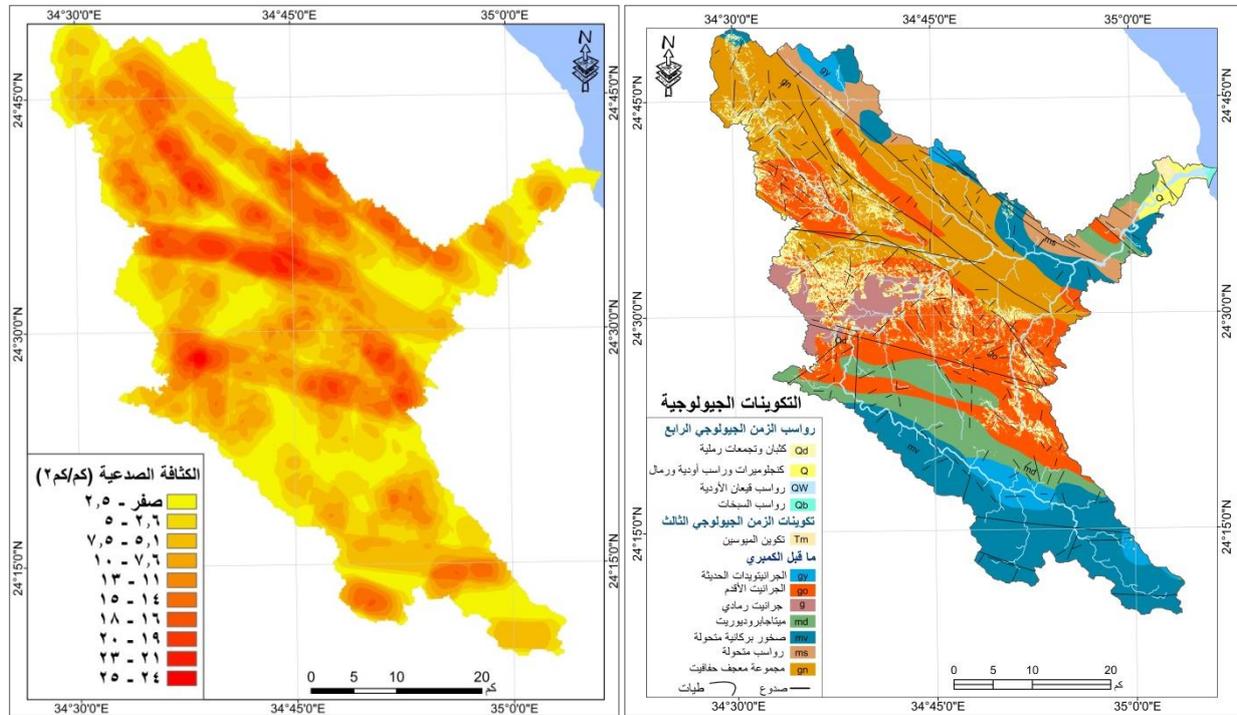
المصدر: من إعداد الباحث

شكل (٤) مخطط يوضح منهجية الدراسة

وسوف يتم استخلاص المعايير من خلال دراسة خصائص حوض الوادي كما يلي .

١. الخصائص الجيولوجية

تعد دراسة الخصائص الجيولوجية عنصراً أساسياً في فهم عمليات حصاد المياه وبناء السدود والتخطيط لها لكونها تحتاج إلى مناطق آمنة جيولوجياً مستقرة تكتونياً ذات قدرة عالية على التحمل الرأسى والضغط الهيدروليكي لأوزان السدود وبحيرات التخزين لا سيما في المواضع التي تتسم أسطحها بانحدارات شديدة عند المجاري العليا لتلك الأودية، كما يساعد فهم الخصائص الجيولوجية للمنطقة على تحديد مدى قدرة تلك التكوينات على الاحتفاظ بالمياه بعد فهم بنيتها الجيولوجية، كما تفيد في معرفة مدى وجود مواد البناء المناسبة مثل الحصى أو الصخور اللازمة لبناء السد في المنطقة، مما يقلل من تكاليف نقل المواد من مناطق بعيدة، أما عن التكوينات الرسوبية فإنها تزيد من احتمالية التآكل الناتج عن تدفق المياه يمكن أن يؤثر على استدامة السدود وحماية البيئة الطبيعية، ومن دراسة الخصائص الجيولوجية للحوض تبين أنه يتألف من خليط من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، وتعد صخور ما قبل الكامبري الوحدات الصخرية الرئيسية بالحوض لكونها تغطي وحدها نحو ٦٧,٨٥% من مساحة الحوض أي ما يعادل ٢٦٧٩,٣٨ كم^٢ ، وتعد مجموعة معجف حفافيت Migif-Hafafit التي تغطي معظم الأجزاء الشرقية والشمالية من الحوض، وتتألف في الأصل من الصخور المتعادلة والميجماتيت والميتاجابرو والميتاديوريت أقدم تلك التكوينات وأكثرها انتشاراً (٢٢,٧٩% من مساحة الحوض) جدول (١).



المصدر- الخريطة الجيولوجية لوحة جبل حماطة مقياس ١ : ٥٠٠ ألف ومقياس ١ : ٢٥٠ ألف هيئة المساحة الجيولوجية- الأمر Line Density

شكل (٥) التكوينات الجيولوجية والكثافة الصدعية (كم/كم^٢) بحوض وادي الجمال

وقد أثرت طبيعة التكوينات الجيولوجية بحوض الوادي في بنيته بشكل واضح، حيث يقطع سطحه ٢٤٦ صدعاً بإجمالي ٦٠٨,٢٣ كم أغلبها يتخذ اتجاهاً شمالياً غربياً / جنوبياً شرقياً والتي نشأت بفعل عمليات الدفع التكتوني التي تعرضت له المنطقة خلال المراحل الأولى لنشأتها، كما تشكلت الصدوع الانزلاقية الجانبية اليسرى التي تنتمي إلى نظام الصدوع النجدية واتخذت نفس الاتجاه ، كما تعرضت صخور المنطقة لعمليات انزلاقٍ جانبيٍ أيسرٍ ذي اتجاهٍ شرقيٍ / غربيٍ تم تقطيعه فيما بعد بواسطة الانزلاق الجانبي الأيمن ذو الاتجاه شمال الشمال الغربي / جنوب الجنوب الشرقي الذي يعد أحدث الانزلاقات التي تعرضت له المنطقة (F. Abdalla et al,2014).

أما عن الصخور البركانية المتحولة فتغطي نحو خمس مساحة الحوض وتعد صخور النيس والنيس الميجماتيتي Gneiss and migmatite والكوريت، والفلسبار، والعقيق، والجرافيت، والميكا، والمسكوفيت أو الإليت أشهر الأنواع السائدة (Guha et al. 2020)، وتشغل الرواسب المتحولة نحو ٤.٤٢ % ، وقد عملت التجوية بشكل كبير على إضعاف صخور الميتاجابرو والديورايت حيث مارست عملها بشكل كبير على طول القواطع الأفقية والرأسية (Madbouli 1991)، أما عن صخور الجرانيت والجرانيتودات التابعة لما قبل الكامبري فتشغل نحو ٣٧,٩٤ % من مساحة الحوض، وتعد أكثر التكوينات الصخرية مقاومة للحرارة والضغط والخدش والتآكل (YUHARA et al. 2023) ، وتتألف صخور الزمن الجيولوجي الثالث من متبخرات الميوسين وتشغل نحو ٣,٣٩ كم^٢ أي ما يعادل ٠,١٧ % فقط من مساحة الحوض .

جدول (١) مساحات التكوينات الجيولوجية السطحية بحوض وادي الجمال

المساحة %	المساحة (كم ^٢)	الرمز الجيولوجي	نوع التكوين	الزمن الجيولوجي
٨.٦٣	١٦٩.٢٢	Qd	كثبان وتجمعات رملية	الزمن الجيولوجي الرابع
٠.٨٧	١٧.٠٤	Q	كنجولوميرات ورواسب أودية ورمال	
٤.٥٤	٨٨.٩٥	Qw	رواسب قيعان الأودية	
٠.١٢	٢.٢٧	Qb	رواسب السيخات	
٠.١٧	٣.٣٩	Tm	تكوين الميوسين	الزمن الجيولوجي الثالث
٣.٥١	٦٨.٧٤	Gy	الجرانيتودات الحديثة	ما قبل الكامبري
٢٢.٢١	٤٣٥.٣٤	Go	الجرانيت الأقدم	
٣.٢٠	٦٢.٧٠	G	جرانيت رمادي	
٩.٠٢	١٧٦.٧٤	Md	ميتاجابروديورايت	
٢٠.٥٤	٤٠٢.٦٢	Mv	صخور بركانية متحولة	
٤.٤٢	٨٦.٥٧	Ms	رواسب متحولة	
٢٢.٧٩	٤٤٦.٦٩	Gn	مجموعة معجف حفافيت	
%١٠٠	١٩٦٠.٢٧			

المصدر: من حسابات الباحث

أما عن تكوينات الزمن الجيولوجي الرابع فتغطي نحو ٢٧٧,٤٩ كم^٢ أي ما يعادل ١٤,١٦ % من المساحة الكلية للحوض وتتمثل في **الغطاءات الرملية** التي تشكل جزءاً من هضبة العباددة الرملية وتظهر صخور الجرانيت ومجموعة معجف حفافيت بأحواض حفافيت وحلوس وأم تناضب وأبو رشيد وبير الشال

كما يوضحه شكل (٦)، ورواسب قيعان الأودية التي تتكون من الكتل الصخرية والجلاميد و الحصى، والرواسب الرملية المناسبة إليها من هضبة العباددة، و تتسم هذه الرواسب بأنها قليلة السمك في الأجزاء العليا من الأودية بينما يزداد سمكها كلما اتجهنا نحو المراوح الفيضية (غزالة، ٢٠٢٤)، ويمكن تفسير ذلك في ضوء عمليات التعرية السيلية المستمرة التي تتعرض لها التكوينات الرملية وترسيبها في مواضع أقل منسوباً وأكثر استواءً على طول مجاري تلك الأودية، أما عن رواسب السبخة الساحلية لحوض الوادي فتتألف من معادن سليكات ومعادن متبخرات تزيد الأولى عن الثانية و تتراوح بين ٦٣,٢%_٩٣,٥% وهي معادن الكوارتز والأورثوكليز والهورنبلند والمسكوفيت ومعادن الطين من الكولينيت والإليت والكولوريت والهاليت والكالسيت ، أما الثانية فتتمثل في معادن الجبس والإنهيدريت والهاليت والكالسيت والدولوميت بنسب تتراوح بين ٢%_٥٧,٥% (بدوي، ٢٠٠٦م)، كما تغطي الكنجلوميرات والحصى والرمال القسم الأكبر من المروحة الفيضية في قطاعها الأعلى.



(ب) التكوينات الرملية أقصى غرب وادي بير أبو حاد



(أ) صخور الجرانيت الرمادي بالقسم الأعلى من وادي حفافيت



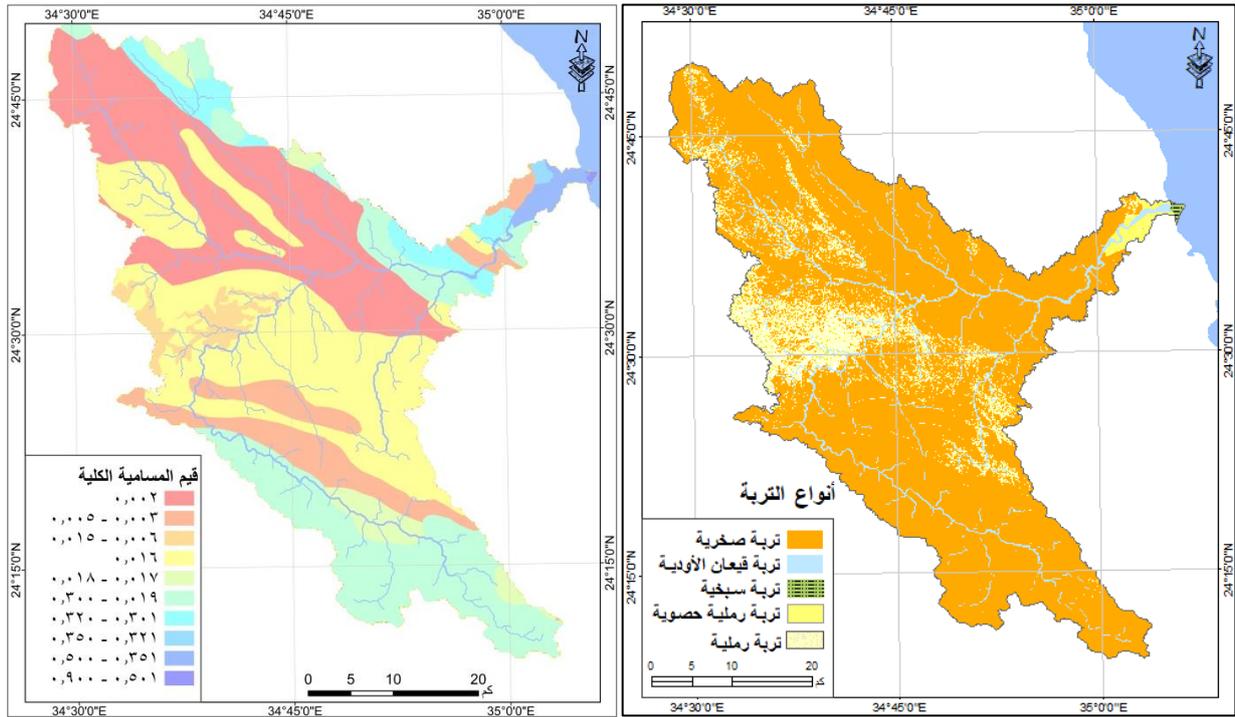
(ج) الجرانيتويدات الحديثة بالقطاع الأوسط من وادي بير الشال (د) تكوين معجف حفافيت بالقسم الأعلى من وادي حفافيت



شكل (٦) بعض التكوينات الجيولوجية السائدة بحوض وادي الجمال

٢. خصائص التربة

يعد نوع التربة محصلة للتكوينات الصخرية ونواتج التعرية والتجوية التي تعرض لها سطح الحوض خلال تاريخه الجيولوجي، وبما أن أغلب التكوينات الجيولوجية لصخور القاعدة الأساسية صخور نارية ومتحولة، فقد انعكس هذا بدوره على سيادة التربة الصخرية بمعظم أجزاء الحوض كما يوضحه شكل (٦) فضلاً عن التربة الرملية التي تعد جزءاً لا يتجزأ من هضبة العباددة بالقسم الغربي منه، أما عن تربة قيعان الأودية التي تتألف من الرمال والحصى والكتل الصخرية والتربة الرملية المختلطة بالرواسب الرملية والكنجلميرات بالمروحة الفيضية للحوض ما هي إلا محصلة للنوعين السابقين.



المصدر - من إعداد الباحث اعتماداً على Marsily, G 1986 والخريطة الجيولوجية والتصنيف المراقب للغطاء الأرضي.

شكل (٧) أنواع التربة وقيم المسامية الكلية بحوض وادي الجمال

وتجدر الإشارة إلى أن الطبيعة الصخرية لأراضي الوادي انعكست بدورها على ضعف القدرة التخزينية للوسط المسامي لتلك التربات بسبب ضعف قيم المسامية الكلية لها Porosity كما يوضحه ملحق (٢) والذي انعكس بدوره على انخفاض قيم الفقد بالتسرب لانخفاض معدلات التسرب القياسي Percolation Rate لمعظم تربات الحوض مما أدى إلى تجمع كميات كبيرة من مياه الجريان السيلبي في المواضع المنخفضة بين الكتل الصخرية على جانبي مجاري الأودية وفوق قيعانها الصخرية كما يوضحه الشكل (٨).



الموقع : القسم الأوسط من وادي الجمال

الموقع : القسم الأعلى من وادي نجرس

شكل (٨) تجمع المياه بالتربة الصخرية بوادي الجمال

١٠- مؤشر نقل الرواسب الفعلي (م/٣ سنة)

يعد هذا المؤشر من أهم المعايير التي تم الاعتماد عليها في عملية النمذجة لاختيار مواضع السدود لكونه يحدد بدقة كم الرواسب الفعلية الناتجة عن التعرية السيلية التي تتعرض لها التربة سنوياً ، وبالتالي يتم التخطيط لبناء السدود بعيداً عن مواضع الترسيب العالي تفادياً لعمليات الإطماء التي تتعرض لها السدود ضماناً لاستدامتها وتعزيز كفاءتها، و يتم حساب قيم مؤشر هذا المؤشر من العلاقة التالية:

$$G_{year} = W_{year} * RU(m^3/year) \dots \dots \dots (Braunović, 1996)$$

حيث :

$$G_{year} = \text{مؤشر نقل الرواسب الفعلي (م/٣ سنة)}$$

$$RU = \text{نسبة توصيل الرواسب (م/٣ كم/٢ سنة)}$$

ويتم حسابه من المعادلة :

$$RU = \frac{(O*D)^{0.5}}{0.25(L+10)} \dots \dots \dots (Petrovic, S, \& S, 2014)$$

$$RU = \text{نسبة توصيل الرواسب (م/٣ كم/٢ سنة)}$$

$$D = \text{متوسط فروق الارتفاع بمستجمعات المياه (كم)} , \quad O = \text{محيط مستجمعات المياه (كم)}$$

$$L = \text{طول مستجمعات المياه (كم)}$$

$$W_{year} = \text{حجم التربة المقتلعة بفعل التعرية السيلية (م/٣ كم/٢ سنة)}$$

ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$A = R * K * L * S * C \dots \dots \dots (Foster .M.A, 1997)$$

$$\text{حيث : } A = \text{مقدار التربة المفقودة (م/٣ كم/٢ سنة)}$$

وقد تم حساب حدود معاملات المعادلة باستخدام الحاسبة الخلوية وفقاً لدراسة (Ligia Garcí'a, et al., 2021) كما يلي:

R = دليل الانجراف بالمطر .

وتم حسابه من المعادلة التالية:

$$R = I_{\{30\}} * \frac{9.28P - 8.393}{1000}$$

حيث: P = متوسط الأمطار السنوي (مم) ، $I_{\{30\}}$ = المعدل الشهري للمطر (قطيش، ٢٠٠٧)

K = قابلية التربة للانجراف بالماء

ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$K = \frac{((2.1 \times M1.14 \times 10 - 4 \times (12 - OM) + (3.25(S - 2) + 2.25(P - 3)))}{100}$$

(Tew K. H., 1999)

حيث M = (نسبة الرمل الناعم جداً + نسبة السلت) \times (١٠٠ - نسبة الطين) ، وتم الحصول عليه من نتائج التحليلات المعملية للعينات المأخوذة، OM = نسبة المادة العضوية ، وتحسب من العلاقة التالية:

المادة العضوية في التربة = الكربون العضوي في التربة \times (١) \times ١.٧٢

S = رمز بناء التربة (ويأخذ أكواد من ١_٤)

P = رقم النفاذية (ويأخذ أكواد من ١_٦)

LS = عامل الطبوغرافيا (طول المنحدر)

و تم حسابه عامل من المعادلة التالية:

$$Factor LS = Factor LX Factor S$$

$$Factor L = \frac{Power((Flow Accumulation + 625), (Factor M + 1))}{Power(25, (Factor M + 2)) * Power(22.13, Factor M)}$$

، وتحسب قيمة Factor M

$$Factor M = \frac{Factor F}{1 + Factor F}$$

، كما تحسب قيمة Factor F من المعادلة:

$$F Factor = \left(\frac{\frac{\sin(\text{slope}\% * 0.011745)}{0.0896}}{3 * \text{power}(\sin(\text{slope} * 0.01745), 0.8) + 0.56} \right)$$

^١ - تم الحصول على نموذج خلوي له من الموقع Soil Grid على الرابط <https://n9.cl/43h6f>

حيث

$$\text{Factor S} = \text{Con}((\text{Tan}(\text{"Slope"} * 0.01745) < 0.09), (10.08 * \text{Sin}(\text{"Slope"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{" Slope"} * 0.01745) - 10$$

C = معامل الغطاء النباتي وإدارة المحاصيل

يستخدم هذا المعامل ليعكس تأثير ممارسات الزراعة والإدارة على معدلات التآكل، وهو العامل المستخدم في أغلب الأحيان لمقارنة التأثيرات النسبية للإدارة خيارات بشأن خطط الحفظ، وتحسب قيم هذا المعامل من المعادلة التالية:

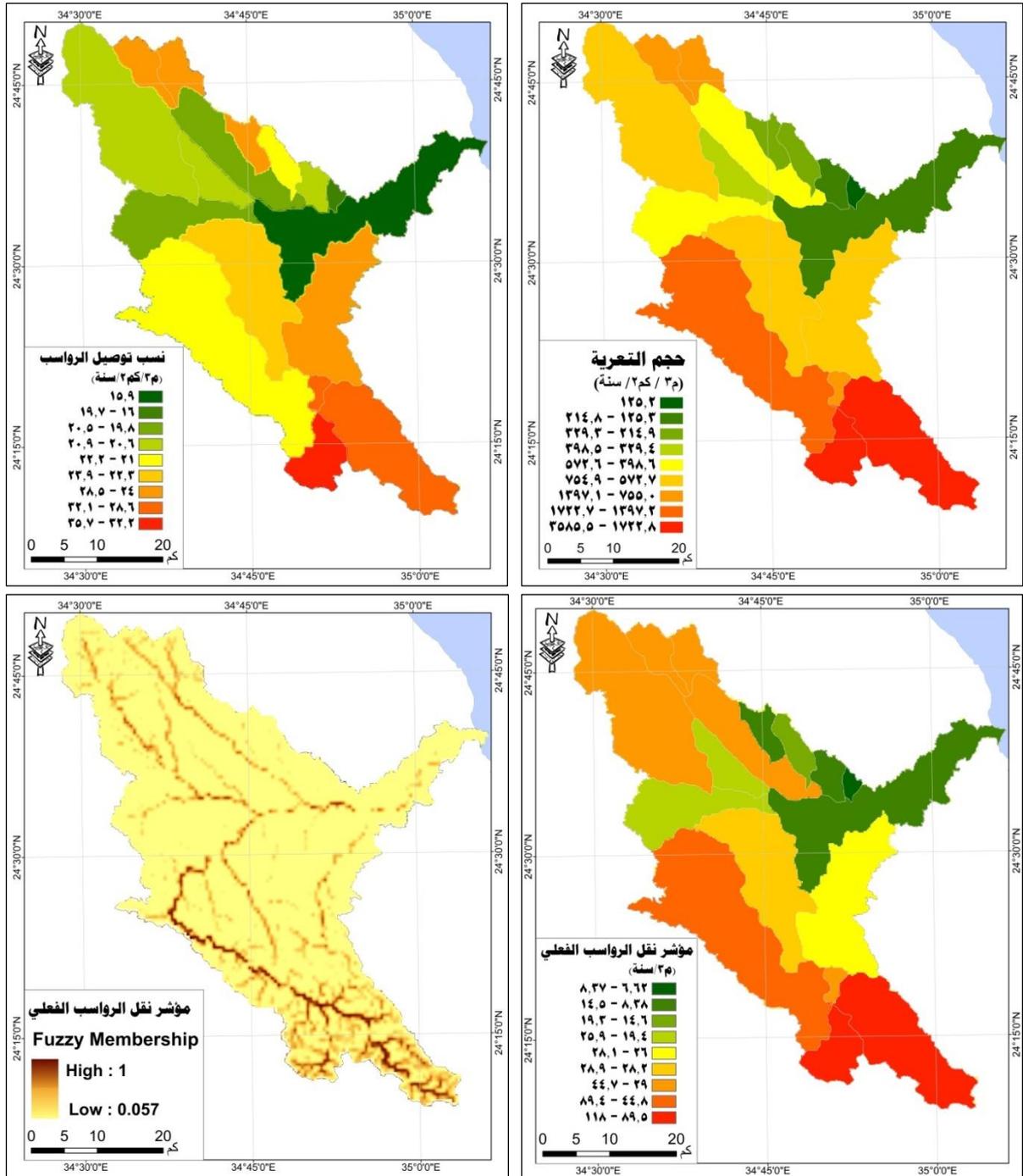
$$C = \frac{\text{EXP}(-2 \times \text{NDVI})}{1 - \text{NDVI}} \dots \dots \dots (\text{Van der Knijff et al., 1999})$$

وتتناسب قيم هذا المعامل عكسياً مع قيم NDVI^(٢)، نظراً للدور الحاسم الذي يلعبه الغطاء النباتي في حماية التربة من الانجراف من خلال تقليل قوة تأثير قطرات المطر، حيث أن جذور النباتات تساعد على تثبيت التربة وتقليل تأثير قوة قطرات المطر على سطح التربة، كما يساهم في تقليل سرعة جريان المياه السطحية فيبطئ من سرعة جريان المياه السطحية، مما يقلل من قدرتها على نقل الطبقة السطحية من التربة، ويساعد على زيادة معدل تسرب المياه إلى التربة، مما يقلل من كمية المياه المتاحة للجريان السطحي، وبطبيعة الحال فإن منطقة الدراسة تكاد تخلو من الغطاء النباتي ذو التأثير الفعال في حجز مياه الجريان السيلي فإن قيم هذا المعامل ترتفع بشكل واضح ، وقد تم حساب حجم التعرية السيلية على مستوى الأحواض من خلال تحويل الشكل الخلوي إلى شكل نقطي من خلال الأمر Extract Multi Values to Points وربطه بطبقة الأحواض من خلال الأمر Join لحساب حجم التربة المقتلعة بكل حوض من أحواض المنطقة ، كما تم حساب نسب توصيل الرواسب ومؤشر نقل الرواسب الفعلي على مستوى الأحواض، وتحويل قيمة إلى شكل خلوي تتراوح قيمه من (صفر-١) بالاستعانة بالأمر Fuzzy Membership^(٣) بحيث يتناسب مع النموذج المقترح لتحديد المواضع المثلى للسدود وحصاد مياه الجريان السيلي على طول مجاري الأودية.

^٢ - تحسب قيم NDVI من Landsat 8 من المعادلة التالية:

$$\text{NDVI} = \frac{N-R}{N+R} \dots \dots \dots (\text{Baret, 1991, PP. 161 - 173}) \text{ حيث } \text{Band 4} = R, (\text{Band5}) = N$$

^٣ - يحول البيانات النقطية المدخلة إلى مقياس من صفر إلى ١، بناءً على خوارزمية معينة يحددها البرنامج ، لتشير إلى قوة المعامل، وفيه يزيد تأثير المعامل كلما اقتربت قيمه إلى الواحد الصحيح والعكس .



شكل (٩) مؤشر نقل الرواسب الفعلي (م³/سنة)

ومن تحليل الشكل السابق يتضح أن قيم مؤشر نقل الرواسب بالمنطقة تزيد بوضوح في القسم الجنوبي والجنوبي الغربي من حوض الوادي بأحواض أبو هشيم وأبو حماميد وأم سميوكي Umm Samyuki حيث تتوافر خامات النحاس المختلطة بخامات الزنك والرصاص غرب الوادي ويتم التنقيب عنها واستخراجها مما عزز من نشاط التعرية السيلية في هذا القسم، كما ترتفع قيم هذا المؤشر جلياً في المجاري الرئيسية لأودية بير الشال و حفافيت وأبو حاد ونجرس ومجل الهرمي والنوني وحلوس وأم تناضب ويعزى ذلك إلى طبيعة الإرسابات الرملية بمجاري تلك الأودية ونشاط عمليات التجوية الفيزيائية.



مستوى تعرية منخفض (وادي الجمال) مستوى تعرية متوسط (وادي حلوس) مستوى تعرية عالي (وادي بير الشال)

شكل (١٠) تأثير نوع التربة في تباين مستويات التعرية السيلية بحوض وادي الجمال

ويوضح الجدول (٢) حجم التربة المقتلعة بفعل التعرية السيلية بأحواض وادي الجمال ، ومؤشر توصيل الرواسب ونقل الرواسب الفعلي .

جدول (٢) حجم التربة المقتلعة (م/٣ كم/٢ سنة) وقيم مؤشر نقل الرواسب الفعلي (م/٣ سنة) بمنطقة الدراسة

اسم الحوض	حجم التربة المقتلعة بفعل التعرية السيلية (م/٣ كم/٢ سنة)	مؤشر توصيل الرواسب (م/٣ سنة)	نقل الرواسب الفعلي (م/٣ سنة)	اسم الحوض	حجم التربة المقتلعة بفعل التعرية السيلية (م/٣ كم/٢ سنة)	مؤشر توصيل الرواسب (م/٣ سنة)	نقل الرواسب الفعلي (م/٣ سنة)
أم سميوكي	٣١٩٦.٦٢	٣٣.٩	٨٩.٤٥	نَجْرَس	٥٧٢.٥٦	٢٠	٢٨.٠٥
أبو حمَاميد	١٣٩٧.١١	٣١.٠٥	٤٣.٥٨	طلعة أم تناضب	٦٦٩.٥٦	٢٥.٢	٢٧.٩٩
أبو رشيد	٣٩٨.٤٧	٢٠.٧٠	١٩.٤٣	أبو سليمان	٣٢٩.٢٦	٢٥.٢	١٢.٤٨
مجل الهرمي	١٢٥٧.٥٢	٢٩	٤٤.٦٩	بير أبو حاد	٥٢٣.١٨	٢٠.٤	٢٥.٨٤
سكيت	٣٢٤.٦٨	٢٢.٠٥	١٤.٦٥	النوني	١٢٤٢.٩٢	٢٨.٤	٤٣.٦٧
أبو هشيم	٣٥٨٥.٤٦	٢٩	١١٨.٢٤	الجمال	٢١٤.٨٢	١٥.٩	١٣.٥٣
بير الشال	١٧٢٢.٧١	٢٢.٠٥	٧٨.٨٥	أم الضباع	١٢٥.١٧	١٩.٣٥	٦.٦
حلوس	٦٦٩.٠٤	٢٣.٧٠	٢٨.٥١	أم خيران	١٧٧.٧٥	٢٠.٩٠	٨.٥٣
حفافيت	٧٥٤.٩٣	٢٠.٩٠	٣٦.٣	الجملة / المتوسط	١٧١٦١.٧٦	٢٣.٩٨	٣٧.٦٧

المصدر: من حسابات الباحث.

ومن الجدول السابق يتضح أن حجم التربة المقتلعة بفعل التعرية السيلية قدرت بنحو ١٧١٦١.٧٦٤ م/٣ سنة ، كما بلغ متوسط مؤشر توصيل الرواسب ٢٣,٩٨ م/٣ كم/٢ سنة، ومتوسط نقل الرواسب الفعلي بنحو ٣٧,٦٧ م/٣ سنة بأحواض التصريف بمنطقة الدراسة سجل وادي أبو هشيم أعلى قيمة بين كافة الأحواض (١١٨,٢٤ م/٣ سنة)، في حين سجل حوض وادي أم الضباع أقل قيمة لهذا المؤشر ٦,٦ م/٣ سنة .

٢- الخصائص الجيومورفولوجية

- ارتفاع السطح

تلعب التضاريس دوراً بارزاً في تحديد مواضع بناء السدود والحصاد المائي، وبطبيعة الحال تندفع المياه السطحية من المناسيب الأعلى إلى الأقل فمنها يستدل على مواضع تجمع مياه الجريان السيلي تمهيداً لوضع استراتيجيات فعالة لحصادها والحد من الأخطار الجيومورفولوجية الناجمة عنها، ومن الشكل (١١) يتضح قيم ارتفاع السطح بمنطقة الدراسة تتراوح بين صفر (منسوب سطح البحر الأحمر) وحتى ١٩٧٢ م في أقصى جنوب الحوض، وفي ضوء قيم ارتفاع السطح بحوض الوادي يمكن اختيار المواضع الأقل ارتفاعاً كمواضع أكثر ملائمة لحصاد مياه الجريان السيلي عن غيرها وفقاً لقيم هذا المعامل بشرط ألا يكون معدل الانحدار العام للسطح هيناً والمخاطر المحتملة مثل الانهيارات الأرضية ضعيفة، ومن ثم فإن تحديد درجات ملائمة ارتفاع السطح يتوقف على فهم الطبيعة الانحدارية و التكتونية للمنطقة بشكل جيد.

- مؤشر الخشونة الطبوغرافية (TRI) Topographic Ruggedness Index

ويتم استخراجها من نموذج الارتفاع الرقمي لقياس تباين الارتفاع المحلي (Habib, 2021)، و يعد من أهم المؤشرات المورفومترية ذات الأهمية في المحاكاة الهيدرولوجية التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند نمذجة مسار تدفق الجريان السيلي (Price, 1994) لكونه يشير إلى تجمع المياه بناءً على فروق الارتفاعات نظراً لتأثير خشونة التضاريس على سرعة واتجاه تدفق المياه، فالمناطق ذات الوعورة العالية تؤدي إلى تسريع جريان المياه نظراً لشدة انحدار أسطحها عما يجاورها مما يزيد من صعوبة حصادها، ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر يمكن تصنيف التضاريس وتحديد المناطق المناسبة والتي تناسب فيها المياه بسرعة أقل مما يسمح بتجميع كميات أكبر من المياه قبل أن تتسرب أو تتبخر.

وقد أمكن حساب مؤشر TRI من المعادلة التالية:

$$TRI = \sqrt{|H_{max}^2 - H_{min}^2|}$$

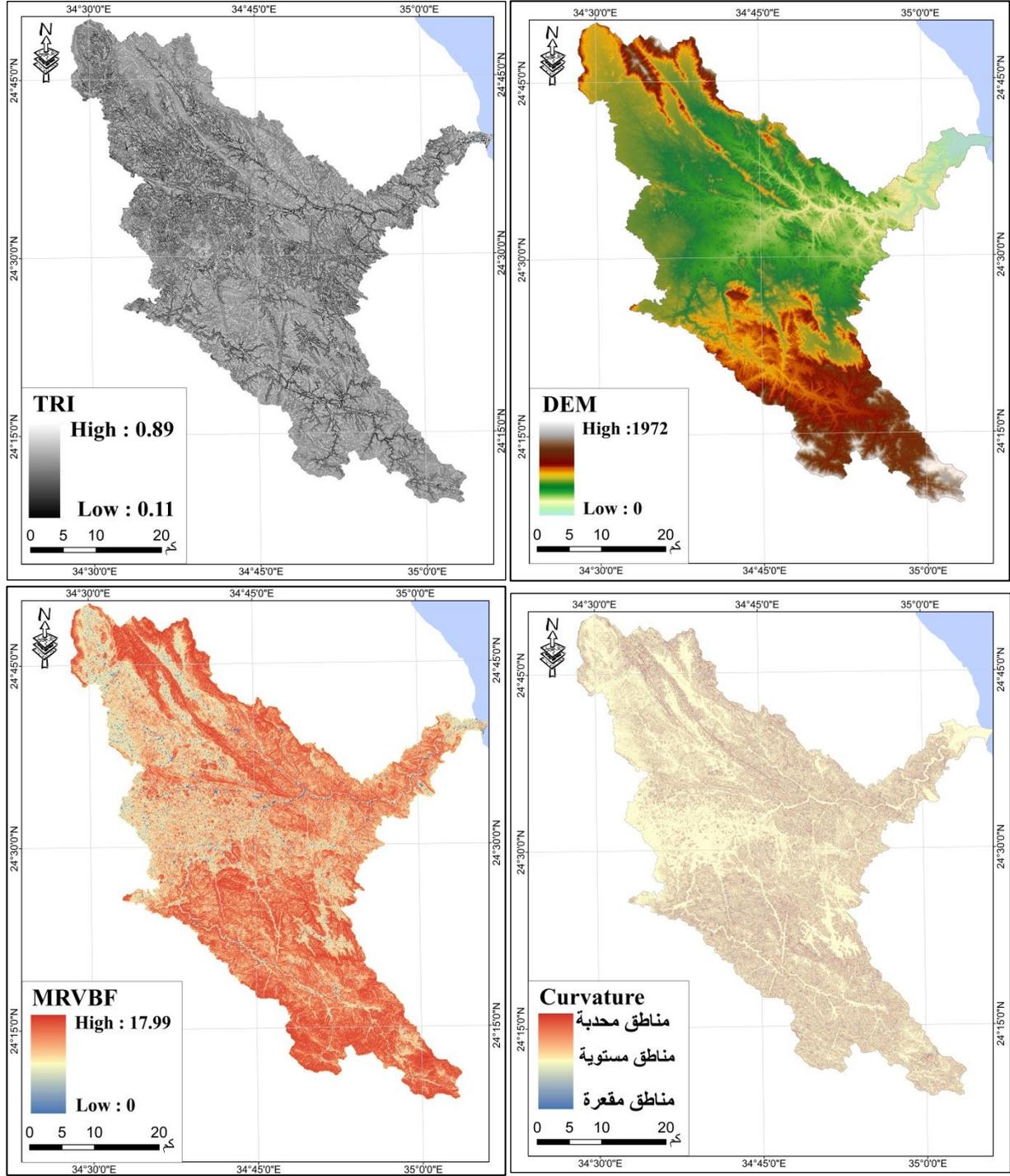
(Popit Tomislav & Verbovšek Timotej, 2013)

حيث

TRI = مؤشر الوعورة الطبوغرافي ، H_{max} = أقل قيمة للارتفاع ، H_{min} = أقصى قيمة للارتفاع

وقد تم حساب قيم هذه الحدود باستخدام برنامج ARC Map 10.8 استناداً إلى الأمر Focal Statistics وتطبيق المعادلة من خلال الأمر Raster Calculator ، وقد تم تحديد المواضع المثلى لحصاد مياه الجريان السيلي وفقاً لقيم هذا المؤشر بإعطاء الخلايا التي سجلت قيماً أقل بدرجات ملائمة أعلى

لكون تلك المواضع أكثر ملاءمة لتجمع المياه، حيث تكون الجريان السيلبي أقل سرعة وتكون المناطق أكثر استقرارًا لتخزين المياه ، والتي تبدو جلياً في بطون الأودية .



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.8

شكل (١١) الخصائص والمؤشرات التضاريسية لحوض وادي الجمال

- تقوس السطح Curvature

يساعد فهم هذا المعامل بشكل كبير على فهم آلية جريان المياه السطحية وتجمعها، ومن ثم كفاءة أنظمة حصاد المياه، وتقليل فقدانها بسبب الجريان السريع، حيث تزداد سرعة الجريان في المناطق ذات التقوس الشديد Convexity وهذا يعني أن المياه تتدفق بسرعة بعيداً عن المنطقة المستهدفة لحصاد المياه، مما يقلل من كمية المياه التي يمكن حصادها، كما تزيد تلك المواضع من زيادة معدلات تآكل التربة وانخفاض قدرة التربة على امتصاص المياه وتخزينها لا سيما في المناطق ذات التكوينات الصخرية الصلبة كما هو الحال في منطقة الدراسة وبالتالي يصعب التحكم في مياه السيول في تلك المواضع على عكس المواضع المقعرة Concavity، ومن ثم يمكن الاستفادة من دراسة هذا المعيار في اختيار المواقع المثلى لبناء أحواض وخزانات لحصاد المياه في المناطق المقعرة ذات التربة القادرة على الاحتفاظ بالمياه، وبناء السدود والحواجز الصغيرة في المناطق ذات المنحدرات الشديدة لتقليل سرعة الجريان وتوجيه المياه نحو المناطق المقعرة، وحفر خنادق على طول المنحدرات لتجميع مياه السيول وتوجيهها نحو أحواض التخزين، وقد تبين من تحليل الشكل (11) أن المجاري الرئيسية لأحواض التصريف الفرعية والقسم الشرقي من حوض بئر الشال وحوضي حفافيت وبير أبو حاد تعد المناطق الأكثر تجميعاً لمياه الجريان السيلبي بحوض المنطقة وفقاً لهذا المعامل .

- مؤشر تسطيح بطن الوادي متعدد الحلقات (MRVBF)

يتم الاعتماد على هذا المؤشر على نطاق واسع في النمذجة الهيدرولوجية لكون قيعان الأودية تعمل كمخازن هيدرولوجية تؤثر بشكل كبير على سلوك الجريان السيلبي، و يعد التمييز بين قيعان الوادي ومنحدرات التلال خطوة أولى مهمة في تحديد وتوصيف الرواسب الرسوبية للأغراض الهيدرولوجية والجيومورفولوجية، وتتشكل قيعان الوادي في نطاق من المقاييس يتراوح من بضعة أمتار إلى مئات الكيلومترات، ولحساب هذا المؤشر يتم أولاً حساب الانحدار لكل خلية في نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) باستخدام الأمر Slope ويتم تحويل قيم الانحدار إلى مقياس لوغاريتمي لتخفيض تأثير القيم الكبيرة للانحدار، وتسلط الضوء على المناطق المسطحة. المعادلة المستخدمة لتحويل الانحدار هي:

$$FS = \log\left(\frac{1}{S} + 1\right)$$

حيث FS = (Flatness Index) هو مؤشر التسطيح الجزئي ، S = (Slope) الانحدار

و بعد حساب مؤشر التسطيح لكل مستوى من الدقة، يتم دمج القيم للحصول على مؤشر MRVBF من المعادلة التالية:

صيغة تقديرية لمؤشر MRVBF:

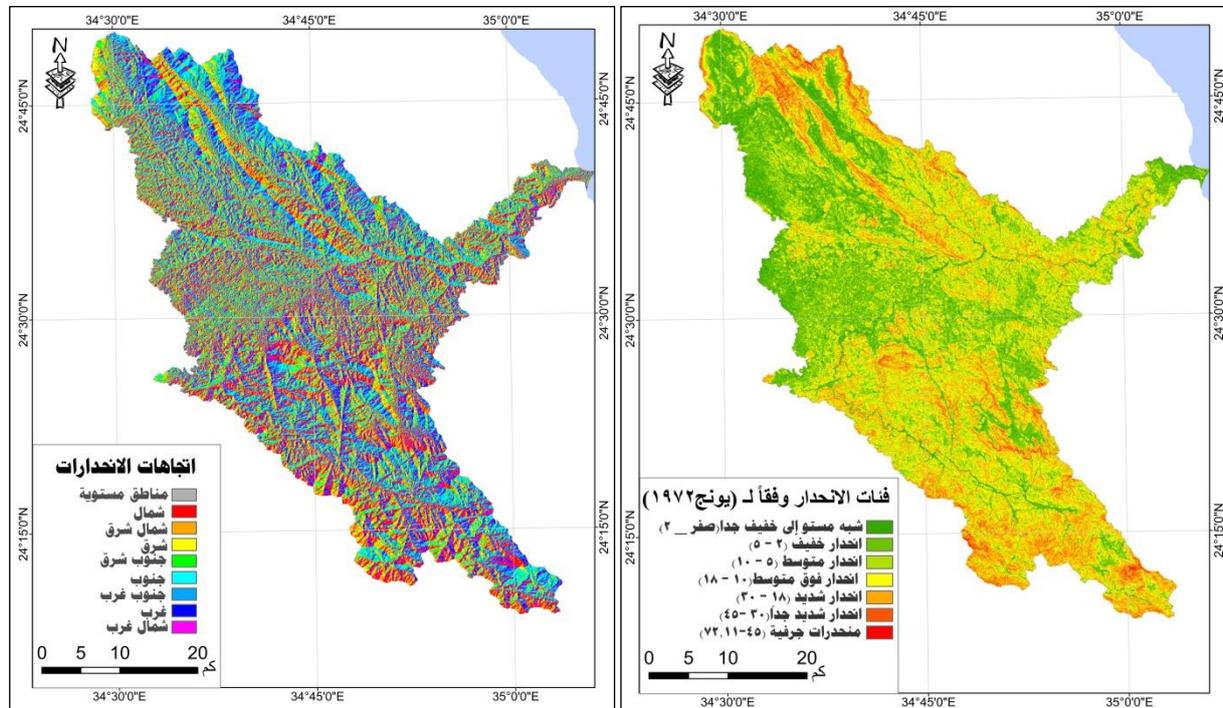
$$FS = \sum \log\left(\frac{1}{iSlope} + 1\right)$$

(Gallant, J.C; Dowling, T.I, 2003)

حيث Slope = 1 = الانحدار عند مستوى دقة نموذج الارتفاع الرقمي المستخدم، وتمثل القيم العالية لهذا المؤشر المناطق المسطحة التي تعد أنسب المواضع لحصاد مياه الأمطار وفقاً لقيم هذا المؤشر .

انحدار السطح

يعد انحدار السطح أحد أهم العوامل الجيومورفولوجية الأساسية التي تؤثر بشكل كبير على تصميم وبناء السدود، حيث أن المواضع شديدة الانحدار تؤدي إلى تسريع جريان المياه، مما يجعل من الصعب احتجاز مياه السيول وتزيد كميات الرواسب لاسيما في المواضع ذات التكوين الرسوبي مما يؤثر سلباً على استقرار السد وعمره الافتراضي، أما المنحدرات الهينة فتساعد على جريان المياه بشكل أبطأ، مما يسهل عملية حصادها والتخطيط لإدارتها وصيانتها بشكل فعال، ويوضح الشكل (١١) درجات انحدار سطح حوض الوادي وطبيعته وفقاً لتصنيف يونج ١٩٧٢ م.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.8

شكل (١٢) فئات الانحدارات واتجاهاتها بحوض وادي الجمال

ومن تحليل الشكل السابق يتضح أن ٤٦,٩٢% من سطح الوادي تتراوح انحدارات السطح به بين الانحدارات المتوسطة وفوق المتوسطة (جدول ٣) وتوزع في معظم أجزاء الحوض، بينما تشغل الانحدارات شبه المستوية إلى الخفيفة نحو ٣٠,٢٣% من أراضي الحوض وتشغل معظم أجزاء أودية حفافيت وبيير أبو حاد وأبو رشيد والقسم الأوسط من وادي نجرس والقسم الأدنى من وادي الجمال، في حين تشغل الانحدارات الشديدة إلى الجرفية (١٨-٧٢.١١ درجة) نحو ٢٢,٨٦% من أراض الوادي وتظهر بشكل واضح في الأجزاء العليا من أم سميوكي وأبو هشيم وبيير الشال وطلعة أم تناضب ونجرس ومجل الهرمي والنوني.

جدول (٣) مساحات فئات انحدار سطح حوض وادي الجمال

فئات الانحدار	طبيعة الانحدار	مساحة	% من المساحة
صفر - ٢	شبه مستو إلى خفيف جداً	٢١٩.٦٧	١١.٢١%
٥ - ٢	خفيف	٣٧٢.٨٢	١٩.٠٢%
١٠ - ٥	متوسط	٤٤٧.٠٧	٢٢.٨١%
١٨ - ١٠	فوق متوسط	٤٧٢.٦٠	٢٤.١١%
٣٠ - ١٨	شديد	٣٧٤.٨٦	١٩.١٢%
٤٥ - ٣٠	شديد جداً	٧٠.٧١	٣.٦١%
٧٢,١١ - ٤٢	منحدرات جرفية	٢.٥٤	٠.١٣%
		١٩٦٠.٢٧	١٠٠%

المصدر: من حسابات الباحث

اتجاهات الانحدارات Aspect

تؤثر اتجاهات الانحدارات بشكل كبير على عملية حصاد المياه، لكونها تحدد اتجاهات جريان المياه السطحية بعد سقوط الأمطار، و بفهم طبيعتها يمكن تحديد موقع الخزانات التي تستقبل أكبر كمية من المياه الجارية وفقاً لاتجاه الانحدار، وتصميم قنوات الجريان بحيث تتوافق مع اتجاه الانحدار وإنشاء السدود التعويقية في الأجزاء العليا من شبكة التصريف المائي للأودية للحد من سرعة الجريان وتقليل تآكل التربة بها، ويوضح الجدول التالي المساحات التي تشغلها اتجاهات الانحدارات بحوض الوادي، ومنها يتضح أن سطح الحوض ينحدر في كافة الاتجاهات بنسب تكاد تكون متقاربة وإن كانت المساحات التي تشغلها المنحدرات ذات الاتجاهات الشمالية الشرقية والجنوبية الغربية هي الأكبر.

جدول (٤) مساحات اتجاهات الانحدارات بحوض وادي الجمال

اتجاهات الانحدارات	مساحة (كم ^٢)	من المساحة %	اتجاهات الانحدارات	مساحة (كم ^٢)	من المساحة %
مناطق مستوية	١٤١,٦٨	٧,٢٣%	جنوب	٢٦٠,٩٤	١٣,٣١%
شمال	١٤٧,٢٠	٧,٥١%	جنوب غرب	٢٨٤,٦٣	١٤,٥٢%
شمال شرق	٢٨٥,٤٩	١٤,٥٦%	غرب	٢٠٣,٢٤	١٠,٣٧%
شرق	٢٢٥,٩٢	١١,٥٣%	شمال غرب	١٩١,١٢	٩,٧٥%
جنوب شرق	٢٢٠,٠٥	١١,٢٣%	الإجمالي	١٩٦٠,٢٧	١٠٠%

المصدر: من حسابات الباحث

٣. الخصائص الهيدرولوجية

• مؤشر أطوال المجاري المائية Stream Length Index

مؤشر طول المجرى (SLI) هو مقياس لمتوسط طول المجاري المائية داخل مستجمع مياه أو حوض صرف معين، ويفيد هذا المؤشر في زيادة مساحة التجميع، إذ أنه كلما زاد طول المجاري المائية، زادت المساحة التي يتم فيها جمع مياه الأمطار، وبالتالي تزيد كمية المياه التي يمكن حصادها، كما يساعد هذا المؤشر في توجيه المياه، حيث تعمل المجاري المائية كقنوات طبيعية لتوجيه مياه الأمطار إلى مناطق التخزين، مما يسهل عملية جمعها، و قد تم حسابه بقسمة الطول الإجمالي لجميع المجاري المائية في المنطقة على إجمالي عددها، ومن خلال حساب هذا المؤشر تبين أن القيم الأعلى استحوذت عليها

الأحواض الأكبر من حيث المساحة والتي وصلت أقصى قيمة له في حوض وادي الجمال ، ومن ثم يعد أكثر أحواض المنطقة تجميعاً لمياه الجريان السيلي على طول مجراه وحوض التخزين الرئيس بالنسبة لباقي الأحواض.

• مؤشر التدفق البؤري (FFI) Focal Flow Index

مؤشر التدفق البؤري هو مقياس كمي للمياه المتدفقة إلى موقع معين بالنسبة إلى المناطق المحيطة به مما يساعد في فهم ديناميكيات تدفق المياه بشكل عام داخل مستجمعات المياه، ويتم حساب هذا المؤشر من خلال حساب اتجاهات التدفق من كل خلية في DEM إلى الخلايا المجاورة لها بناء على فروق الارتفاع ثم يتم حساب قيمة التدفق البؤري عند نقطة ما كمجموع قيم التدفق من جميع الخلايا المحيطة بها، لتشير القيم الأعلى لهذا المؤشر إلى تركيزات تدفق بؤري أعلى، مما يشير إلى احتمالية أكبر لتجمع المياه تبعاً لقيم ارتفاع السطح ومن ثم تحديد المواضع الأكثر ملائمة لبناء السدود وحصاد مياه الجريان السيلي، ويوضح الشكل (١٣) أن المجاري الرئيسة للأودية الفرعية تعد مصائد جيدة لمياه الجريان السيلي بحوض الوادي .

• مؤشر طاقة النهر (SPI) Stream Power Index

يلعب مؤشر طاقة التيار (SPI) دوراً مهماً في فهم العمليات الهيدرولوجية، خاصة فيما يتعلق بعمليات حصاد المياه وبناء السدود ، حيث يساعد في تحديد المناطق التي لديها طاقة مائية مرتفعة، مما يشير إلى تحديد أنسب المواقع لحصاد المياه مثل إنشاء السدود الصغيرة أو الأنظمة لجمع المياه السطحية، ومن ثم تحسين استراتيجيات حصاد المياه وتقليل الفقد بسبب التآكل، وعليه فإن دمج مؤشر طاقة التيار في تخطيط وإدارة مشاريع حصاد المياه والسدود يمكن أن يعزز بشكل كبير فعاليتها واستدامتها.

$$SPI = LN(([\text{FlowAccum_Raster}] + 0.001) * (([\text{Slope_Raster}]/100) + 0.001))$$

(Danielson, 2013)

ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر تبين أن المواضع التي سجلت قيماً أعلى ارتبطت مكانياً بالمواضع ذات قيم الارتفاع والانحدار الأكبر، بينما سجلت المواضع الأقل ارتفاعاً وانحداراً قيماً أقل عن غيرها كما يوضحه الشكل (١٣).

• مؤشر نقل الرواسب (STI) Sediment Transportation Index

يساعد هذا المؤشر على فهم حركة المواد الرسوبية المنقولة بفعل التعرية المائية عبر الأنهار والمجاري المائية نتيجة الجريان السيلي وتأثيرها على تجميع المياه واستدامة البنية التحتية مثل السدود

والخزانات، وبالتالي يساعد في تصميم استراتيجيات فعالة لإدارة الرواسب المتراكمة خلف السدود. يعتبر الفهم الجيد لنمط النقل والرواسب مهما للحفاظ على سعة السدود وكفاءتها على المدى الطويل، حيث تشير القيم الأعلى لهذا المؤشر إلى المواضع ذات النصب الأوفر من الرواسب الناتجة عن التعرية السيلية على طول مجرى الوادي والأودية الفرعية التي تصب فيه، ومن ثم وضعها في الاعتبار عند التخطيط لإقامة بحيرات تخزين صناعية وسدود في تلك المواضع، ويحسب هذا المؤشر من العلاقة:

$$STI = \left(\frac{A}{22.13}\right)^m \times \left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^n$$

A = مساحة حوض التصريف أو منطقة التجميع المائي (م²)

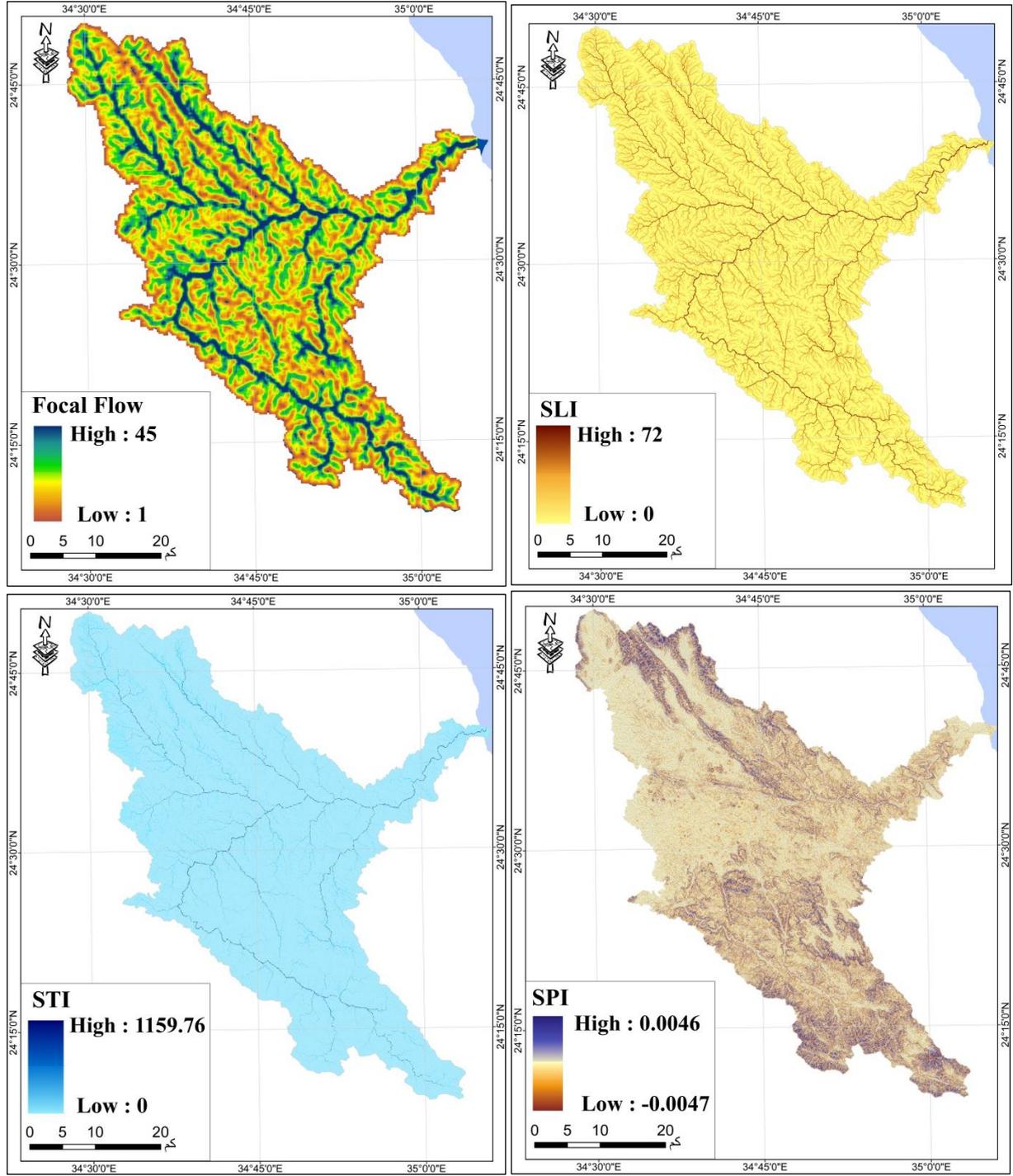
θ = زوايا الانحدار بالدرجات وتحسب من الأمر (Slope) من Arc Toolbox

22.13 = معامل معياري ويمثل الطول المرجعي للتدفق ويستخدم في المعادلة لمعايرة العلاقة مع المسافة التي يتحرك فيها الماء.

0.896 = قيمة مرجعية لميل المنحدر، ويستخدم لتطبيع الميل مقارنة بالقيم القياسية.

M, n = معاملا الانحدار والطول، فتعبر قيمة المعامل **m** عن تأثير طول التدفق على نقل الرواسب، وهذه القيمة تتغير حسب طبيعة تدفق المياه عبر المنحدرات، فإذا كان التدفق طويلاً تكون قيمة **m** أعلى، لأن طول التدفق الأكبر يزيد من فرصة تراكم الجريان المائي وبالتالي يؤدي إلى زيادة في نقل الرواسب، وإذا كان التدفق قصيراً تكون قيمتها أصغر، حيث تكون فرص تجمع المياه ونقل الرواسب أقل وتعد القيم النموذجية لها 0.2 للأراضي المسطحة أو ذات الانحدار الخفيف، 0.3 للمناطق ذات الانحدار المتوسط، 0.4_0.5 للمناطق ذات الانحدار الحاد والتدفق الطويل، أما عن قيمة المعامل **n** فتعبر عن تأثير ميل المنحدر على عملية نقل الرواسب، فكلما كان الميل أشد، كانت قدرة الماء على نقل الرواسب أكبر، ففي المنحدرات الحادة تزيد من قوة الجريان المائي وقدرته على نقل الرواسب الثقيلة، مما يجعل قيمة **n** أعلى، وفي المنحدرات البسيطة يكون الجريان المائي فيها أضعف، وبالتالي تكون قيمتها أقل، وتعد القيم النموذجية لـ **n** 1.3 للتضاريس ذات الانحدار المتوسط 1.4_1.6 للتضاريس ذات الانحدار الحاد (Wischmeier & Smith, 1978).

ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر تبين ارتفاع قيم ومعدلات الترسيب بشكل واضح في مجاري الأودية وانخفضت بشكل ملحوظ على المواضع الأكثر ارتفاعاً بكافة أحواض المنطقة، وقد تبين أن قيمة هذا المؤشر تزداد تدريجياً كلما زادت قيمة الرتب المائية وقل انحدار وارتفاع السطح كما يوضحه الشكل التالي.



المصدر: من عمل الباحث

شكل (١٣) بعض المؤشرات الهيدرولوجية المتحكمة في خزن مياه السيول

• كثافة التصريف (Drainage Density (DD)

تعتبر كثافة التصريف عن مدى تعرض السطح لعمليات التعرية والتقطع، وقد اقترح (Horton, 1932) قانوناً من خلاله يتم حساب كثافة التصريف كما يلي:

$$\text{كثافة التصريف} = \frac{\text{مجموع أطوال المجاري (كم)}}{\text{المساحة الحوضية (كم²)}}$$

• تكرار المجاري المائية (SF) Stream Ferquency

يعبر معدل تكرار المجاري المائية عن النسبة بين أعداد المجاري داخل الوحدة المساحية المربعة (كم²) ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$\text{تكرار المجاري} = \frac{\text{مجموع أعداد المجاري لكل الرتب}}{\text{المساحة الحوضية (كم²)}}$$

• شدة التصريف (DI) Discharge intensity

اقترح (Faniran, 1968) هذا المعامل ، ويشير إلى المعدل بين تكرار المجاري المائية وكثافة التصريف ، وتشير القيم الأعلى لهذا المعامل إلى زيادة قوة الجريان السيلي وزيادة قدرته على التعرية المائية وتخفيض السطح وبالتالي تشكل هذه المواضع خطورة بالغة على إنشاء السدود التخزينية لما تتعرض له من أخطار جيومورفولوجية وآثار تدميرية نتيجة زيادة اندفاع مياه الجريان السيلي وزيادة معدلات الترسيب، ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$\text{شدة التصريف} = \frac{\text{تكرار المجاري}}{\text{كثافة التصريف}}$$

• رقم التسرب Leakage Number

اقترحه (Faniran, 1986)، و تكمن أهميته في أنه يستدل من خلاله على قوة وضعف الجريان السيلي من خلال قيم التسرب، لكونه يتناسب عكسياً مع التسرب ، فكلما زادت قيم هذا المعامل دل ذلك على انخفاض قيم التسرب وزيادة قوة الجريان السيلي وقيم صافي الجريان ، ويحسب من المعادلة التالية:

$$\text{رقم التسرب} = \text{تكرار المجاري} \times \text{كثافة التصريف}$$

- زمن التصريف (ساعة)

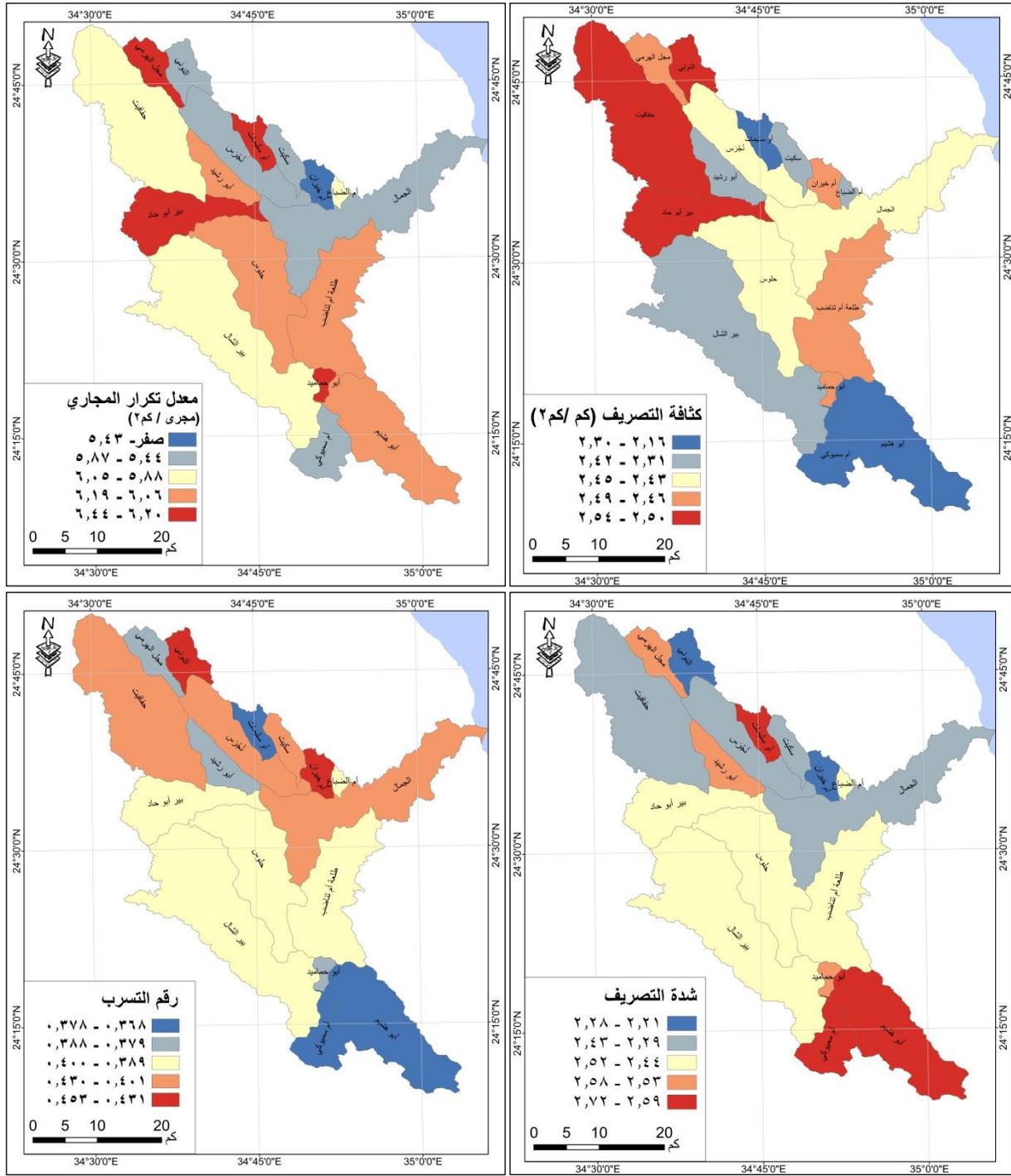
يعرف زمن التصريف بأنه الفترة الزمنية اللازمة للحوض لتصريف كافة مياهه من المنبع وحتى مخرجه عند نقطة المصب ، ويحسب من العلاقة التالية:

$$T_d = \frac{(0.305L)^{1.15}}{7700(0.305H)^{0.38}} \quad (\text{السلوي، 1989})$$

حيث :

$$T_d = \text{زمن تصريف الحوض} ، L = \text{طول المجرى الرئيس (م)} ، H = \text{الفارق الرأسى (م)}$$

$$(1.15, 0.38) = \text{ثابت يعبر عن خصائص الحوض}$$



المصدر: من إعداد الباحث

شكل (١٤) بعض المعاملات الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة

زمن التباطؤ (ساعة / دقيقة / ثانية) Lag Time

يعرف زمن التباطؤ بأنه الوقت الفاصل بين بداية المطر وبداية تولد الجريان، وهو الوقت الذي ترتفع خلاله معدلات التسرب (صالح، ١٩٩٩)، وترجع أهميته إلى إمكانية التعرف على الوقت اللازم لبداية تولد الجريان السيلبي لكل حوض وحساب كميات التسرب خلال هذا الزمن مما يفيد في حساب جملة الفاقد بالتسرب في أحواض التصريف، ويمكن حسابه من العلاقة:

$$0.28 \left(\left(\sqrt{r} \div L \right) \times L \right) = \text{هـ} \text{ زمن التباطؤ}$$

حيث :

L = طول مجرى الحوض الرئيس من المصب حتى مركز ثقل الحوض، r = الانحدار التدريجي للحوض م / كم ، هـ = ثابت يتراوح بين ١.٤ - ١.٧ ويتوقف على طبوغرافية وانحدار سطح الحوض .
ويحسب مركز ثقل الحوض

$$LC = 0.2682 * LH^{1.23}$$

LC مركز ثقل الحوض(كم) ، LH = طول الحوض (كم).

• زمن التركيز (CT) Concentration Time

يعد زمن التركيز عامل أساسي في العديد من النماذج الهيدرولوجية ، وأحد أهم متغيرات التنبؤ باستجابة أحواض التصريف لسقوط الأمطار، ومن ثم منع وتقليل آثار الأخطار الطبيعية وخاصة السيول، وأكثر التعريفات تمثيلاً لزمن التركيز هو الزمن الذي تستغرقه قطرة مياه الأمطار للوصول إلى مخرج الحوض بدءاً من أبعد نقطة هيدروليكية للحوض ، ويمكن احتسابه من خلال المعادلة التالية:

$$Tc = 0.066 \left(\frac{L}{S^2} \right)^{0.77}$$

(صابر، أحمد، و محمود، ٢٠٢٢م)

حيث: Tc = زمن التركيز (ساعة / كم) ، L = طول المجرى الرئيس (كم) ، S = معدل الانحدار.

ومن خلال حساب زمن التركيز بالأحواض الفرعية لوادي الجمال تبين أن قيمه تتباين من حوض لآخر تبعاً لطول المجرى الرئيس ومعدل انحدار كل منها ، حيث بلغ زمن التركيز في أقصر الأحواض أقل من ساعة /كم ومثلتها أحواض أودية أبو حماميد وأم الضباع وأم سليمان وأم خيران وكلها أحواض صغيرة في مساحاتها الحوضية، بينما سجلت أحواض النوني وسكيت وأم سميوكي ومجل الهرمي قيماً تراوحت بين ساعة لأقل من ساعتين /كم، في حين بلغ زمن التركيز بأحواض أبو رشيد وحلوس وبير أبو حاد ونجرس وأبو هشيم قيماً تراوحت بين الساعتين لأقل من ثلاث ساعات ، في حين سجلت الأحواض الأربعة الأكبر من حيث أطوال مجاريها والأقل في معدل انحدارها قيماً أكبر لزمن التركيز بها زادت عن ثلاث ساعات.

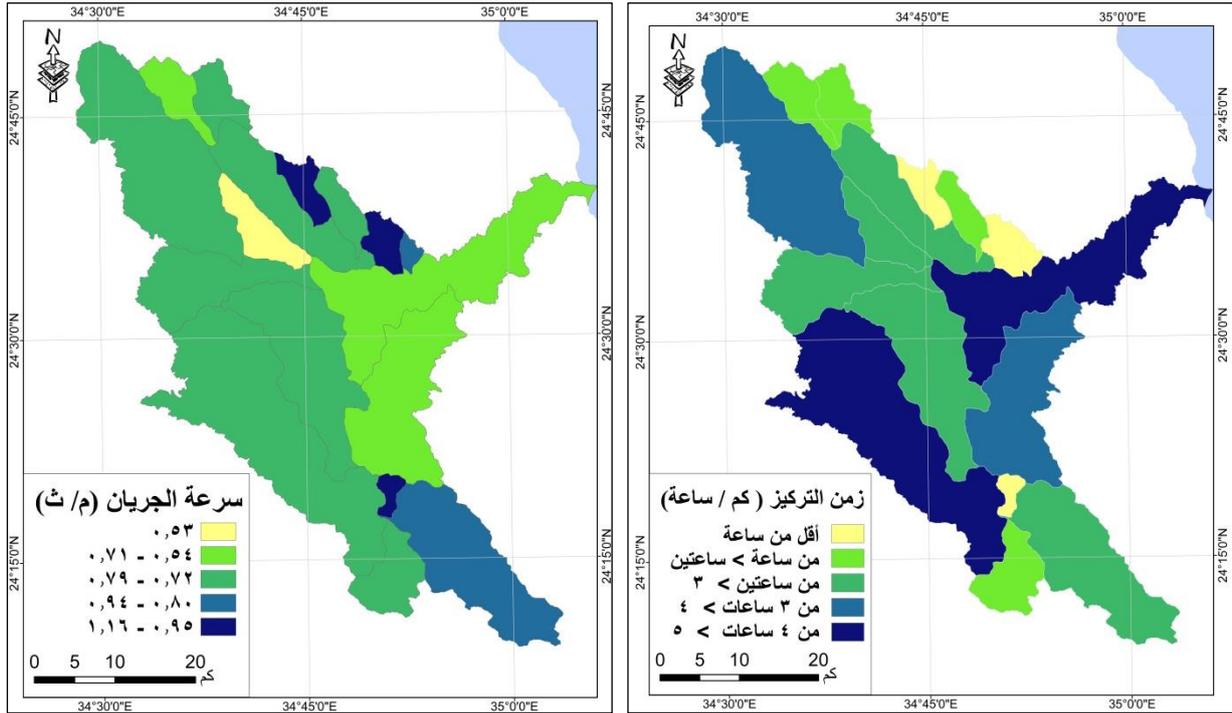
• سرعة الجريان

يعد الجريان البطيء أكثر فعالية لحصاد المياه لكونه يساعد في تقليل التأثيرات السلبية على السدود المبنية، بينما يتطلب الجريان السريع تصميمات هندسية متقدمة وتقنيات إضافية مما يزيد من التكلفة الكلية للتحكم في مياه السيول وحصادها لضمان الحماية والاستدامة، وتقدر سرعة الجريان من العلاقة التالية:

$$V = \frac{L(M)}{3.6TC(S)} \dots \dots \dots \text{(الأسدي، ٢٠٢٣)}$$

حيث :

V = سرعة الجريان السيلي ، $L(M)$ = طول المجرى الرئيس (م) ، TC = زمن التركيز(ثانية)
ومن خلال حسب قيم هذا المعامل تبين أن سرعة الجريان متقاربة إلى حد كبير بأحواض التصريف ،
حيث تراوحت بين ٠,٥٣ م/ث بحوض أبو رشيد كأقل سرعة للجريان وبين ٠,٩٥ _ ١,١٦ م/ث بالأحواض
صغيرة المساحة شديدة الانحدار كأبو حماميد وأم خيران وأبو سليمان كما يوضحه الشكل التالي.



المصدر: من أعداد الباحث

شكل (١٥) زمن التركيز (كم/ساعة) وسرعة الجريان(م/ث) بأحواض وادي الجمال

أ- صافي الجريان السيلي

تجدر الإشارة إلى أنه تم اعتماد طريقة حساب حجم الجريان السيلي في ضوء المعادلة التالية:

$$\text{صافي الجريان السيلي} = \text{إجمالي التساقط} - \text{إجمالي الفواقد}$$

(صابر أ، ٢٠٠٧، ص ١١١)

• إجمالي التساقط Precipitation

تجدر الإشارة هنا إلى أنه تم الاعتماد على أقصى كمية مطر سقطت خلال يوم واحد على منطقة الدراسة ، وقد تم الاطلاع على بيانات التساقط لمنطقة الدراسة منذ عام ١٩٥١م وحتى يوم ١مارس ٢٠٢٤م بالرجوع إلى بيانات هيئة الأرصاد الجوية وتحميل بيانات التساقط من بيانات وكالة الفضاء الأمريكية NASA باستخدام برنامج RETScreen وموقع Data Power Access وتسجيل أعلى قيم للتساقط

قتبين أن شهر نوفمبر يسجل دائماً أقصى كمية مطر سقطت على الحوض خلال هذه الفترة ، وقد كانت أقصاها على الإطلاق ٢٩.٦ مم بمحطة القصير ، ٢١.١ مم بمحطة مرسى علم يوم ١٣ نوفمبر عام ٢٠٢١ م . وقد تم حساب إجمالي التساقط في أحواض التصريف الفرعية كلاً على حده من خلال القيام بعمل استكمال Interpolation لقيم التساقط بالمحطات والنقاط المرصودة كما يوضحه (شكل) وتقسيم الفئات المطرية بكل حوض من تلك الأحواض وضرب الفئة المطرية في المساحة التي تشغلها للحصول على كمية المطر التي سقطت على كل فئة مطرية منها بكل من أحواض المنطقة (م٢/كم٢/يوم) وجمع قيم كل الفئات التي تغطي كل من أحواض التصريف بالمنطقة (بالمتر المكعب) كما يوضحه الجدول.

• إجمالي الفوائد

تتمثل الفوائد فيما يتم فقده من مياه التساقط بفعل التبخر أثناء حدوث العاصفة المطرية وما يتم تسريبه في التربة والصخور السطحية خلال زمن التباطؤ وزمن التصريف بحوض التصريف ككل ، وقد تم حسابه كل منها كما يلي:

- التبخر خلال زمن التصريف

لتقدير صافي الجريان السيلبي بشكل أكثر دقة تم الاعتماد على حساب التبخر نتح الكامن خلال زمن التصريف بعد استبدال قيم التبخر بقيمه في المعادلة لعدم استبعاد ما يسهم به الغطاء النباتي وإن كان ضعيفاً في عمليات التبخير مع الغطاءات الصخرية والرسوبية المكشوفة من التربة في حوض الوادي في ضوء المعادلات التالية :

التبخر نتح الكامن خلال زمن التصريف = إجمالي التبخر نتح الكامن في الساعة × زمن تصريف الحوض
حيث:

إجمالي التبخر نتح الكامن في الساعة = إجمالي التبخر نتح الكامن اليومي ÷ 24

حيث:

إجمالي التبخر نتح الكامن اليومي = متوسط التبخر نتح الكامن في محطات الأرصاد × مساحة الحوض
(سلامة، ٢٠٠٤م، ص ص ١٨٢ _ ١٨٤)

وتجدر الإشارة إلى أن التبخر نتح الكامن Eva transportation يعني مجموع كمية الماء المتبخرة من سطح التربة والماء المنتقل من النبات إلى الغلاف الجوي عن طريق عملية النتح، ويعد من العوامل المهمة التي يتوقف عليها الجريان السيلبي ، وقد تم حسابه وفقاً لطريقة (Thornthwaite, C.W.Mather, J.R., 1957) والتي تعتمد على درجة حرارة الهواء وعدد ساعات النهار الشهرية وتنص على ما يلي :

$$PET = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

(معوض، ٢٠٢١)

حيث PET = التبخر نتح الكامن (م/م/٢) يوم لنهار يبلغ ١٢ ساعة)

I = معامل درجة الحرارة السنوي (م°)، ويحسب قيمة I من العلاقة:

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

T = المتوسط الشهري لدرجات الحرارة (م°) لمحطات برنيس ومرسى علم ونقطة إحداثياتها $34^{\circ} 51' 18''$ ، $24^{\circ} 42' 17''$ لإتمام عملية الاستكمال Interpolation وحساب القيم.

i = معدل درجة الحرارة الشهري (م°)، ويحسب من العلاقة

$$i = (T/5)^{1.514}$$

a = معامل تساوي قيمته 0.510213963 ويحسب من العلاقة:

$$a = 0.00000067512 - 0.000007712 + 0.017921 + 0.4923$$

وتجدر الإشارة هنا إلى أن ما تم حسابه هو التبخر نتح الكامن الشهري (م/م)، ولحساب قيمه على مستوى الساعة من العلاقة التالية:

$$PET_{Hour} = (PET/30)/24$$

ويوضح الجدول الآتي قيم التبخر نتح الكامن (م/م/٢ ساعة)

جدول (٥) قيم التبخر نتح الكامن (م/م/٢ ساعة) خلال الفترة الزمنية من ايناير ٢٠٢١ م حتى ٣١ ديسمبر ٢٠٢١ م

الشهور	رأس بناس			القصير			أسوان		
	PET _{Hour}	I	T	PET _{Hour}	I	T	PET _{Hour}	I	T
يناير	٠.٠٠١١	١٩	٧.٥٥	٠.٠٠١١	٢٠.٤	٨.٤١	٠.٠٠١١	١٦.١	٥.٨٧
فبراير	٠.٠٠١١	١٩.٣	٧.٧٣	٠.٠٠١١	٢٠.٦	٨.٥٣	٠.٠٠١١	١٨.١	٧.٠١
مارس	٠.٠٠١٢	٢٤.٢	١٠.٨٩	٠.٠٠١٢	٢٢.٣	٩.٦٢	٠.٠٠١٢	٢٢.٨	٩.٩٥
أبريل	٠.٠٠١٣	٢٦.٣	١٢.٣٥	٠.٠٠١٣	٢٤.٧	١١.٢٣	٠.٠٠١٣	٢٨.٦	١٤.٠٢
مايو	٠.٠٠١٤	٣١.٢	١٥.٩٩	٠.٠٠١٣	٢٧.٥	١٣.٢١	٠.٠٠١٣	٣٣.٤	١٧.٧٣
يونيو	٠.٠٠١٤	٣١.٤	١٦.١٥	٠.٠٠١٣	٢٩.٥	١٤.٦٩	٠.٠٠١٣	٣٥.٦	١٩.٥٣
يوليو	٠.٠٠١٤	٣١.٩	١٦.٥٤	٠.٠٠١٤	٣١	١٥.٨٤	٠.٠٠١٤	٣٦.٦	٢٠.٣٦
أغسطس	٠.٠٠١٤	٣١.٤	١٦.١٥	٠.٠٠١٤	٣١.٥	١٦.٢٣	٠.٠٠١٤	٣٦.١	١٩.٩٤
سبتمبر	٠.٠٠١٣	٢٨	١٣.٥٨	٠.٠٠١٣	٢٩.٩	١٤.٩٩	٠.٠٠١٣	٣٣.٩	١٨.١٣
أكتوبر	٠.٠٠١٢	٢٣.٧	١٠.٥٥	٠.٠٠١٢	٢٧.٨	١٣.٤٣	٠.٠٠١٣	٣٠	١٥.٠٧
نوفمبر	٠.٠٠١١	٢٠.٥	٨.٤٧	٠.٠٠١١	٢٤.٩٦	١١.١٦	٠.٠٠١٢	٢٣	١٠.٨
ديسمبر	٠.٠٠١٢	٢٤	١٠.٧٥	٠.٠٠١٢	٢١.٧	٩.٢٣	٠.٠٠١٢	١٧	٦.٣٨
المعدل الشهري	٠.٠٠١٣	٢٥.٩	١٢.٢	٠.٠٠١٣	٢٦	١٢.٢	٠.٠٠١٣	٢٧.٦	١٣.٧

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على البيانات التاريخية من صور الأقمار الصناعية التابعة لوكالة NASA باستخدام RETScreen Expert

ومن تحليل بيانات الجدول السابق تبين أن قيم التبخر نتح الكامن بمنطقة الدراسة تتراوح بين ٠.٠٠١١_٠.٠٠١٢ مم/ساعة في شهر نوفمبر ، ترتفع في المنطقة بشكل واضح وتتقارب هذه القيم بوضوح في المنطقة الساحلية والأجزاء الداخلية التي تمثل الظهير الصحراوي للحوض نظراً لوقوعها في منطقة شبه جافة، كما قدر المعدل الشهري للتبخر نتح بمنطقة الدراسة في شهر نوفمبر ٠.٨٩ مم /م /يوم، ويعزى ذلك إلى ارتفاع معدلات الحرارة الشهرية ومعامل الحرارة ، ويرتفع هذا المعدل عن مناطق مناظرة له على ساحل البحر الأحمر ك رأس غارب التي قدرت فيها معدلات التبخر نتح بنحو ٠.٢٤ مم/م/يوم ويرجع ذلك إلى التحسن النسبي للظروف الجوية وتلطيف درجات الحرارة بفعل مرتفعات التضاريس ومياه الخليج المجاور فضلاً عن الظروف المصاحبة لسقوط الأمطار في الأخيرة إذا ما قورنت بمنطقة الدراسة (معوض، ٢٠٢١).

- التسرب خلال زمن التباطؤ

تجدر الإشارة هنا إلى أنه تم حساب هذا المعامل من خلال المعادلتين المعدلتين التاليتين بعد تغيير قيم الثابت المعبر عن معدلات التسرب القياسية وفقاً لطبيعة الصخر كما يلي :

$$\text{التسرب خلال زمن التباطؤ} = \text{مساحة الحوض} \times \text{زمن التباطؤ} \times 0.08 \text{ مم/دقيقة}$$

(محمود، ٢٠٠٥)

حيث : ٠.٠٨ مم/دقيقة ثابت يعبر عن نوع الصخر.

$$\text{التسرب خلال زمن التصريف} = \text{مساحة الحوض} \times \text{زمن تصريف الحوض} \times \theta$$

حيث :

θ = ثابت يدل على نوع الصخر ٠.١٥٨ م/ساعة للصخور الجيرية ، ٠.١٥٨ م/ساعة للحجر الرملي

(خضر، ١٩٩٧)

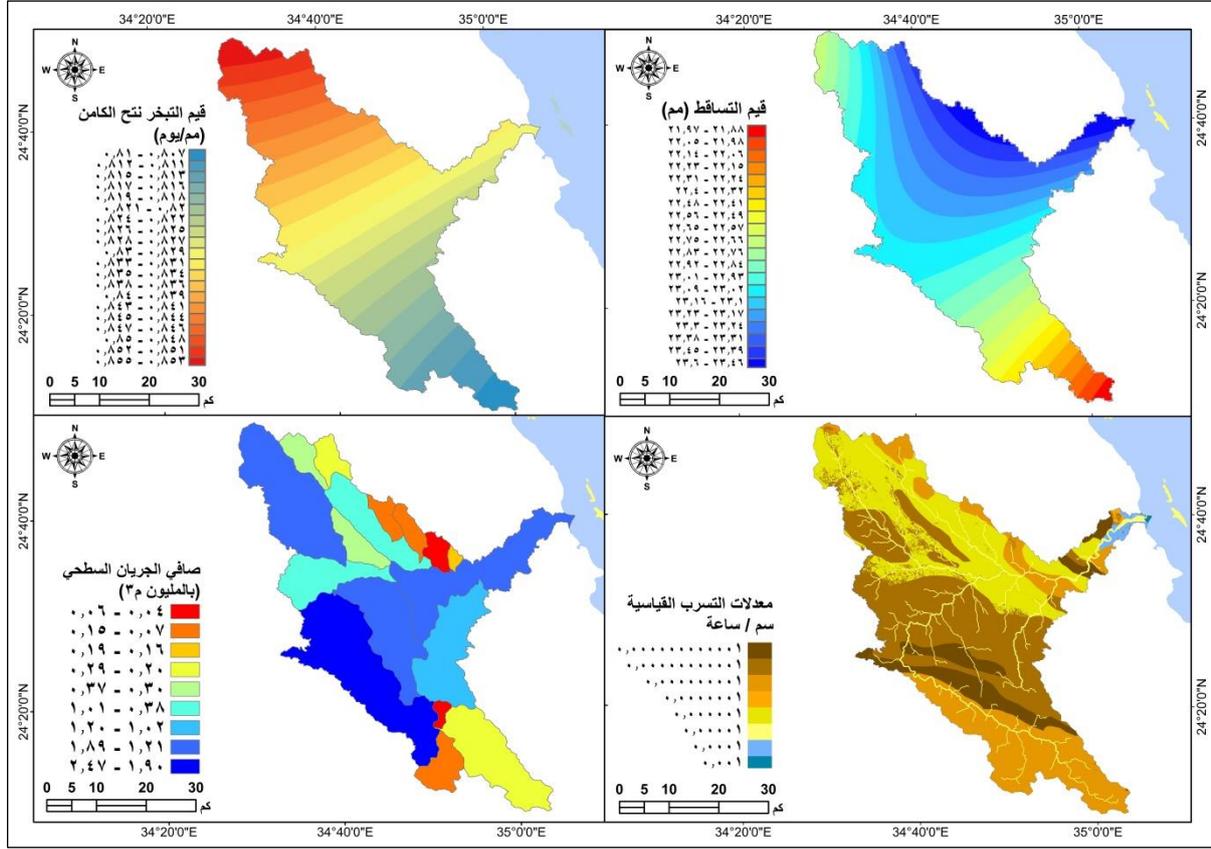
ونظراً لطبيعة تغاير صخور المنطقة عن طبيعة البيئة التي اعتمد فيها خضر ١٩٩٧م ثابت قيم التسرب في منطقتة فقد تم الاعتماد على معدلات التسرب القياسية (سم^٣/ ساعة) وفقاً للحدود التي وضعها كل من Marsily, G.,1986, Freeze and Cherry, 1979, Bear, 1988 وطبيعة بنية و تكوين صخور المنطقة كما يوضحها الجدول الآتي :

جدول (٦) معدلات التسرب القياسية (سم^٣/ساعة) بالتكوينات والرواسب الجيولوجية بوادي الجمال

قيم التسرب القياسية (سم ^٣ /ساعة)	نوع التكوين الجيولوجي	قيم التسرب القياسية (سم ^٣ /ساعة)	نوع التكوين الجيولوجي
10 ⁻⁴	كنجلميرات وراسب أودية	10 ⁻⁶	مجموعة معجف حفافيت
10 ⁻⁷	تكوين الميوسين	10 ⁻¹¹	الجرانيت الأقدم
10 ⁻³	رواسب السبخات	10 ⁻⁹	الجرانيتويدات الحديثة
10 ⁻⁵	رواسب قيعان الأودية	10 ⁻¹²	ميتاجابروديوريت
10 ⁻¹¹	جرانيت رمادي	10 ⁻⁶	رواسب متحولة
		10 ⁻⁹	صخور بركانية متحولة

Bear, 1988,Freeze and Cherry, 1979, Marsily, G.,1986.

ويوضح الشكل التالي قيم التساقط والتبخر نتح الكامن ومعدلات التسرب نتح القياسية (سم/ساعة) وصافي الجريان السيلي بعد توحيد القيم (م^٣) لإجمالي حجم الفوائد والمكتسب خلال العاصفة المطرية بمنطقة الدراسة .



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.8 باستخدام الأوامر Spline و Rater Calculator و Calculate Field

شكل (١٦) الميزانية الهيدرولوجية لحوض وادي الجمال

ومن تحليل الشكل السابق إحصائياً ومكانياً تبين ما يلي :

- وجود علاقة طردية قوية جداً بين مساحة الأحواض وشدة المطر ومعدلات التبخر نتح الكامن ، حيث قدر معامل ارتباط بيرسون بين مساحة الأحواض وشدة المطر ٠.٩٣ ، كما بلغ هذا المعامل ٠.٨٧ بين مساحة الأحواض ومعدلات التبخر نتح الكامن ، بينما قدر هذا المعامل بنحو ٠.٣٧ بين مساحة الأحواض ومعدلات التسرب القياسي ، مما يدل على أن المتحكم الأول في كميات التسرب القياسي إنما هو نوع الصخور والتربة التي تتألف منها الأحواض وليست مساحتها.
- وفقاً لمعيار الجريان السيلي فإن التباين المكاني لصافي أحجامه بأحواض التصريف الفرعية لحوض وادي الجمال تعطي صورة أولية للمواقع ذات الأولوية لإنشاء السدود التخزينية والمواقع المثلى لحصاد المياه على طول المجرى الرئيس للوادي عند مصبات أودية أبو رشيد وحلوس وبير أبو حاد وموضعاً يقع إلى الشرق من التقاء مصب وادي أم تناضب ووادي الجمال ستحدده عوامل ومعايير أخرى.

جدول (٧) صافي الجريان السيلبي الناتجة عن العاصفة المطرية (١٣ نوفمبر ٢٠٢١م) بأحواض منطقة الدراسة

اسم الحوض	المساحة (كم ^٢)	شدة المطر (مليون م ^٣)	قيم التبخر نتح اليومي (م ^٣)	قيم التسرب الفياسي (م ^٣ /ساعة)	حجم الفاقد بالتسرب في التربة والصخور السطحية (م ^٣ /يوم)	زمن التصريف (ساعة)	زمن التباطؤ (ساعة)	إجمالي التبخر نتح (ساعة)	التبخر نتح خلال زمن التصريف (م ^٣)	التسرب خلال زمن التباطؤ (م ^٣)	التسرب خلال زمن التصريف (م ^٣)	إجمالي الفواقد (م ^٣)	صافي الجريان السيلبي (مليون م ^٣)
أم سمويكي	٦٠.٩٢	٠.١٣	٨١٢٢.٨٣	١٦.٧٧	٤٠٢.٤٨	٠.١٧	١.٢٢	٣٣٨.٤٥	٥٦.٤٥	٢٠.٤٢	٦٧.١٣	١٤٣.٩٩	٠.١٣
أبو حماميد	١١.٧٧	٠.٠٤	١٦٣٦.٧٢	٣.٨٢	٩١.٧٩	٠.٠٩	١.٠٠	٦٨.٢٠	٦.٠٦	٣.٨٢	٨.١٦	١٨.٠٤	٠.٠٤
أبو رشيد	٥٠.٨٥	٠.٣٧	٨٧٦٢.٣٤	٤٤.٨٧	١٠٧٦.٩٧	٠.٣١	١.٥٠	٣٦٥.١٠	١١١.٩٣	٦٧.١٠	٣٣٠.١٦	٥٠٩.١٨	٠.٣٧
مجل الهرمي	٤١.١٦	٠.٣٦	٤٠١٥.٤٦	٤٤.٦٧	١٠٧٢.١٤	٠.٢١	١.٣٢	١٦٧.٣١	٣٥.٤٩	٥٨.٨٧	٢٢٧.٤٣	٣٢١.٨٠	٠.٣٦
سكيت	٣١.٣٧	٠.١٥	٥٧٠.٣٧٤	٣٤.١٧	٨٢٠.٠٢	٠.٢٥	١.٤١	٢٣٧.٦٦	٥٩.٢٨	٤٨.٠٣	٢٠٤.٥٤	٣١١.٨٤	٠.١٥
أبو هشيم	١٨٧.٤١	٠.٢٩	١٨٣.٣٨	٧١.٨٠	١٧٢٣.٢٧	٠.٤٣	١.٦٢	٧.٦٤	٣.٣٠	١١٦.٣٣	٧٤٤.٣٦	٨٦٣.٩٩	٠.٢٩
بئر الشال	٣٥١.٠٩	٢.٤٧	٨٢١٣.٦٠	١٧٤.٢٨	٤١٨٢.٦٥	٠.١٢	١.١٠	٣٤٢٢.١١	٤١٧.٢٥	١٩٢.٤٧	٥٠٩.٩٨	١١١٩.٧٠	٢.٤٧
حلوس	١٨٦.٥٤	١.٥٧	٤٨٩٤٧.٣٠	٧٩.٤٣	١٩٠٦.٢٥	٠.٥٠	١.٧٢	٢٠٣٩.٤٧	١٠١٠.٥٤	١٣٦.٩١	٩٤٤.٥٣	٢٠٩١.٩٨	١.٥٧
حفايت	٢٧٥.٥٦	١.٩٠	٣٤١٢٤.٦٠	٢٩٥.٣٢	٧٠٨٧.٧٥	٠.٦٣	١.٨٣	١٤٢١.٨٦	٩٠٢.٠٤	٥٤١.٦٥	٤٤٩٦.٥٦	٥٩٤٠.٢٥	١.٨٩
نجرس	١١٣.٦٨	٠.٨٥	٢٣١٦٤.٢٠	١٥١.٨٦	٣٦٤٤.٥٩	٠.٥٣	١.٧٥	٩٦٥.١٧	٥١٠.٣٢	٢٦٦.٣٨	١٩٢٧.٠٣	٢٧٠٣.٧٣	٠.٨٥
طلعة أم تناضب	١٨٨.٥١	١.٢٠	٣٧٨٢٥.٢٠	١٠٨.٢٣	٢٥٩٧.٤٤	٠.٥٢	١.٧٥	١٥٧٦.٠٥	٨٢١.٤٩	١٨٩.١٨	١٣٥٣.٨٧	٢٣٦٤.٥٣	١.٢٠
أبو سليمان	٢٩.٠٧	٠.١٤	٤٥٤٠.٤٨	٣٢.٢١	٧٧٣.٠٣	٠.٢٠	١.٣٢	١٨٩.١٩	٣٨.٤٣	٤٢.٣٧	١٥٧.٠١	٢٣٧.٨٠	٠.١٤
بئر أبو حاد	١١٥.٢٣	١.٠١	٢١٩١١.٨٠	١٠١.٣١	٢٤٣١.٣٧	٠.٥٥	١.٧٩	٩١٢.٩٩	٤٩٨.٦٣	١٨١.٥٠	١٣٢٧.٨٨	٢٠٠٨.٠١	١.٠١
النوني	٣٩.٦٠	٠.٢٦	٤١٨٣.٧١	٣٢.١٥	٧٧١.٥٦	٠.١٧	١.٢٣	١٧٤.٣٢	٢٩.٥٢	٣٩.٥٦	١٣٠.٦٧	١٩٩.٧٤	٠.٢٦
الجمال	٢٤١.٣١	١.٦٥	٥٤٦٧٨.٢٠	٢٥٦٤.٠٩	٦١٥٣٨.٠٨	٠.٩٩	٢.١٤	٢٢٧٨.٢٦	٢٢٤٥.١٧	٥٤٧٨.٨٤	٦٠٦٤٤.٣١	٦٨٣٦٨.٣٢	١.٥٨
أم الضبايع	٨.٧٤	٠.١٩	٦٢١٩.٥٧	٢٩١.٦٦	٦٩٩٩.٨٧	٠.١١	١.٠٨	٢٥٩.١٥	٢٧.٨٢	٣١٥.٠٣	٧٥١.٥٠	١٠٩٤.٣٥	٠.١٩
أم خيران	٢٧.٤٥	٠.٠٦	١٩٨٠.٣٩	٩٢.٨٧	٢٢٢٨.٨٥	٠.٢١	١.٣٥	٨٢.٥٢	١٧.٧٠	١٢٥.٥٨	٤٧٨.٠١	٦٢١.٢٩	٠.٠٦
الإجمالي	١٩٦٠.٢٧	١٢.٦٤	٣٤٨١٣.٥٣	٤١٣٩.٥٠	٩٩٣٤٨.١			١٤٥٠.٥٤٤	٦٧٩١.٤١	٧٨٢٤.٠٤	٧٤٣٠.٣١١	٨٨٩١٨.٥٤	١٢.٥٦

المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على بيانات التبخر والأمطار ومخرجات النموذج الهيدرولوجي (WMS) من نتائج حسابات زمن التباطؤ وزمن التصريف وشدة المطر بطريقة خطوط التساوي.

تحسب شدة المطر من العلاقة (Raghounath, 1985) $I = P/T$

حيث I = شدة المطر (كمية الأمطار التي سقطت على الحوض أثناء العاصفة المطرية مقاسة (م^٣)) ، P = كميات التساقط بمحطات الرصد المناخية القريبة من الحوض مقاسة (م) ، T = تعبير عن الوحدة الزمنية (ساعة) = (يوم ١٣ نوفمبر ٢٠٢١م) . تم حساب شدة المطر بطريقة خطوط التساوي من خلال حساب متوسط كمية التساقط × مساحات الفئات المطرية بكل حوض.

ومن تحليل نواتج الانحدار الجغرافي الموزون Geographically Weighted Regression (GWR) للربط بين أحجام الجريان السيلبي كعامل مستقل وأحجام التبخر نتح الكامن والتسرب والتساقط كعوامل تابعة ، لكونه يسمح بنمذجة العلاقات المكانية وفحصها واستكشافها و يساعد في تفسير العوامل الكامنة وراء الأنماط المكانية المرصودة و التنبؤ بهذه الظواهر، ويمكن تناول نتائجه في ضوء ما يلي:

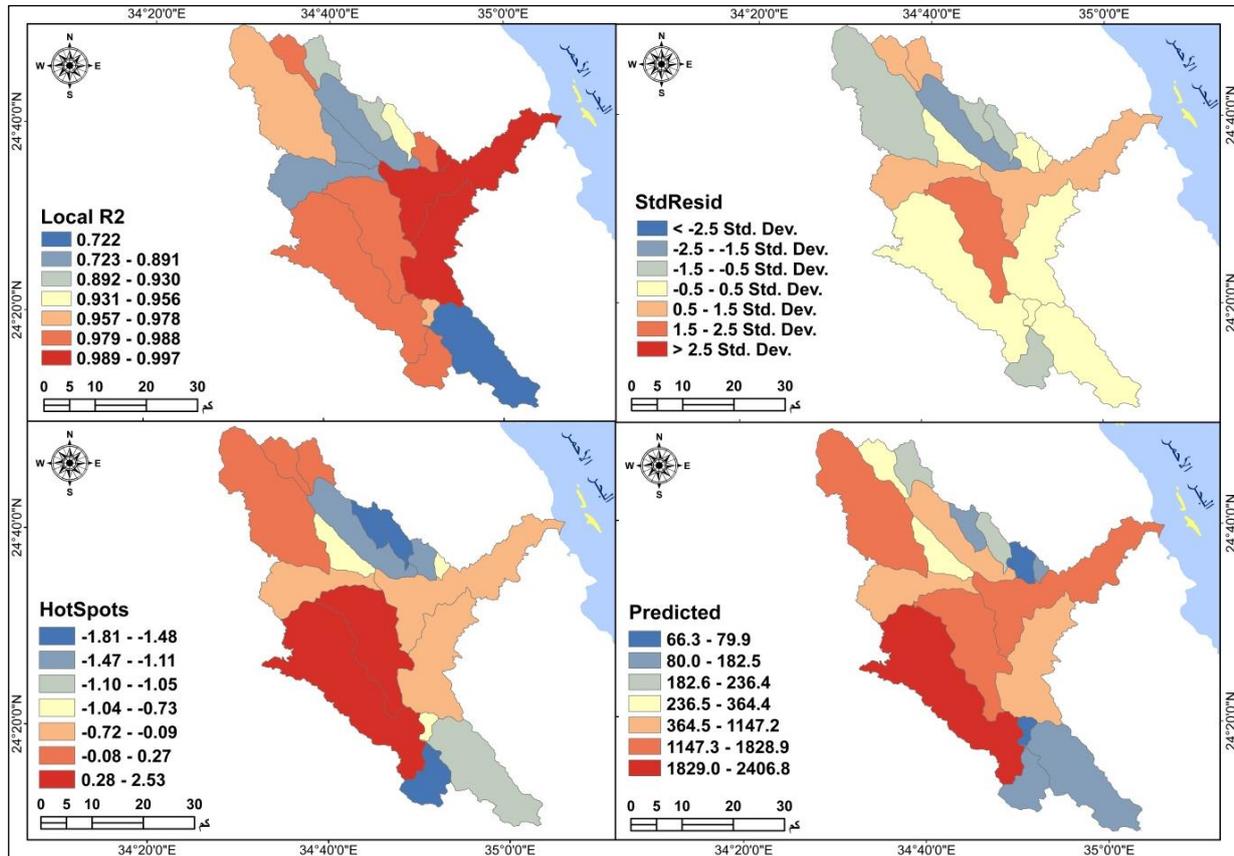
الانحدار القياسي Stanedrised

يفيد هذا المؤشر في عقد مقارنة عادلة بين المتغيرات ولا يعطي الفرصة لأي من المتغيرات أن يسيطر على المعادلة ويشوش النتائج عند بناء النماذج وبالتالي يعطي تفسيراً أفضل للتأثيرات المحلية ، ويتم حسابه من العلاقة التالية:

$$Z = (X - \mu) / \sigma$$

Z = الانحدار القياسي ، X = القيمة الأصلية ، μ = المتوسط الحسابي ، σ = الانحراف المعياري.

وقد أسفر تحليل نتائجه أن حوض نُجْرُس يعد أكثر الأحواض شذوذاً عن المتوسط ، يليه أحواض حفافيت وأبو هشيم وسكيت وأبو سليمان ، بينما يعد حوض حلوس Hullos أقرب أحواض المنطقة من المتوسط يليه أحواض الجمال وبيير أبو حاد والنوني ومجل الهرمي كما يوضحه الشكل التالي.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.8

شكل (١٧) نتائج تحليل الانحدار الجغرافي الموزون لسيول حوض وادي الجمال

- Local R²

يفيد هذا المؤشر في تحديد نسبة المطابقة المكانية بين العامل المستقل والعوامل التابعة ، ومن تحليل نتائجه تبين أن نسب المطابقة المكانية بين أحجام الجريان السيلي وقيم التساقط ومحصلة مجموع الفوائد قوية جداً تتراوح بين ٧٢.٢% في حوض أبو هشيم و ٩٩.٧% في أحواض الجمال وأم تناضب وأم الضباع، وهذا إن دل فإنما يدل على أن النموذج قادر على تفسير جزء كبير من التباين في تلك المنطقة المحلية، وأنه يعبر بشكل جيد عن العلاقة بين المتغيرات.

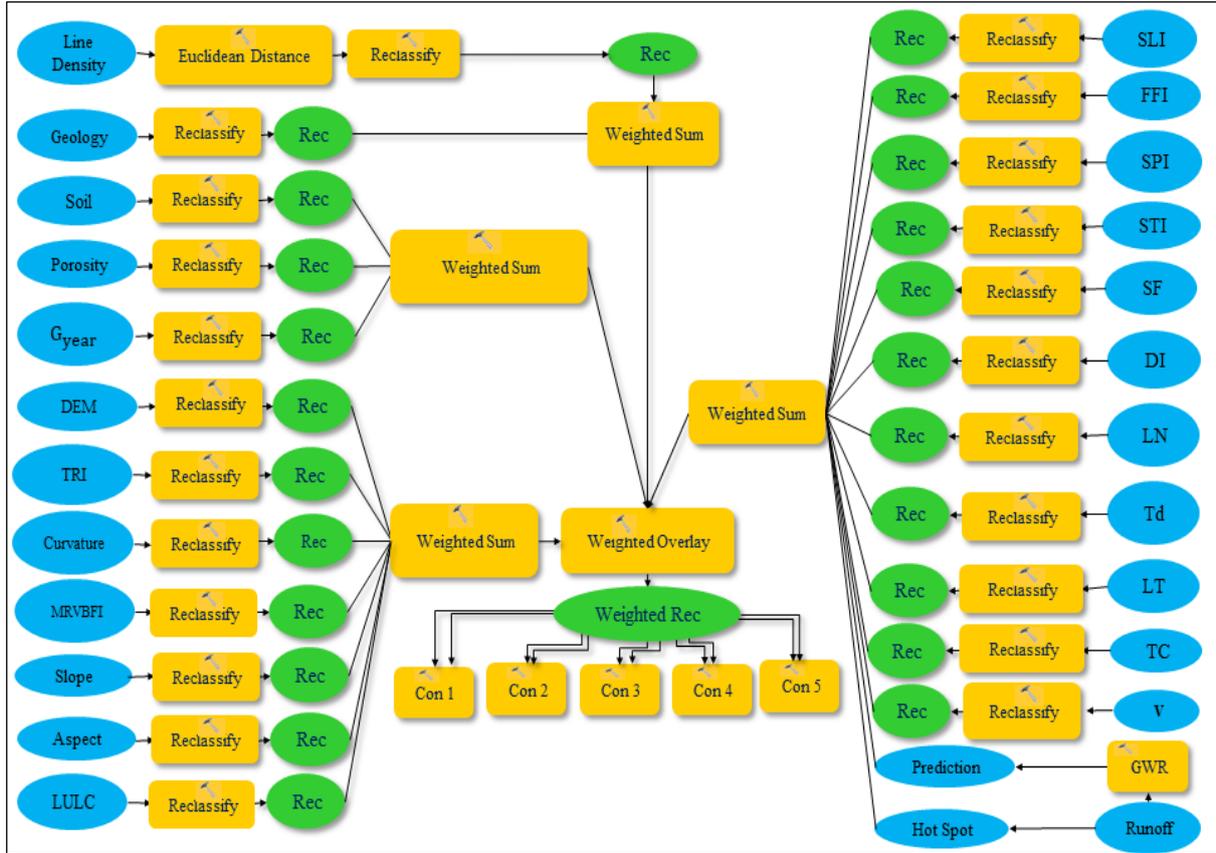
- Predicted

يفيد هذا المعامل بالتنبؤ بقيم العامل المستقل (الجريان السيلي) في ضوء النتائج المرصودة Observed في ضوء تحليل البرنامج لنتائج المعامل Coefficients الذي يُشيرُ درجة تأثير العامل المستقل على العامل التابع وقدرته في التنبؤ به ، ومن تحليل الشكل السابق يتضح أن حوض بئر الشال يأتي في مقدمة الأحواض المحتمل زيادة أحجام الجريان السيلي بها يليه أحواض الجمال وحلوس و حفافيت يليهم أحواض أم تناضب ونجرس وبير أبو حاد، و بعد حساب حجم الجريان السيلي المحتمل بكافة أحواض المنطقة تبين أنه من المحتمل أن تقل أحجام الجريان السيلي بحوض الوادي من ١٢,٢١ مليون م^٣ إلى ١٢,١٨ مليون م^٣ وفقاً للظروف المناخية السائدة في المنطقة التي يقع فيها الحوض.

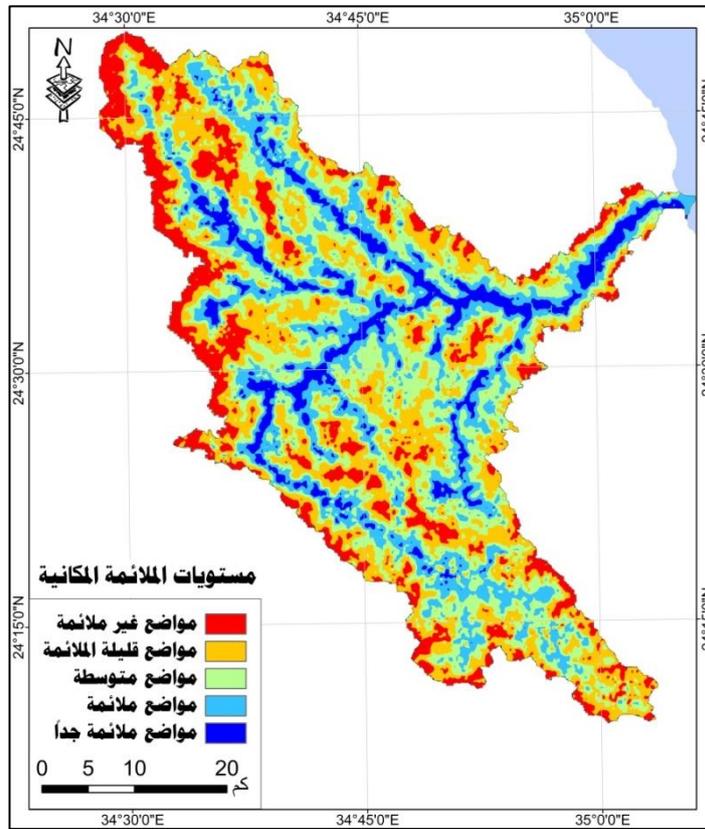
- تحليل النقاط الساخنة Hotspot

تحليل Hotspot ليس من نتائج تحليل الانحدار الجغرافي الموزون إلا أنه أسلوب تحليلي يستخدم البيانات المكانية لتحديد الأماكن التي فيها نشاط أو تركيز عالي لظاهرة معينة ، ويفيد هنا في تحديد أكثر الأحواض تكرارية لحدوث جريان سطحي بمنطقة الدراسة، ومن تحليل نتائجه تبين أن حوضي بئر الشال وحلوس يعدا أكثر أحواض المنقطة خطورة وتجميعاً للمياه عن مصبيهما عن باقي الأحواض يليهما أحواض حفافيت ومجل الهرمي والنوني ثم أحواض الجمال وأم تناضب وبير أبو حاد ، وفي ضوء ذلك يمكن القول بأن نقطة التقاء حوض وادي الجمال بمصب أحواض بئر الشال وحلوس و حفافيت وبير أبو حاد وأبو رشيد تعد أكثر نقاط تجميع المياه أهمية بحوض الوادي ككل.

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم بناء النموذج شكل (١٨) لتحديد مستويات الملائمة المكانية لحصاد مياه السيول بحوض الوادي وقد أسفرت نتائج النمذجة عن وجود خمسة مستويات للملائمة المكانية لحصاد مياه السيول بحوض الوادي وفقاً للمعايير المختارة كما يوضحها الشكل (١٩).



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc Map 10.5
شكل (١٨) مخطط يوضح آلية النمذجة الهيدرولوجية لتحديد المواضع المثلى لحصاد المياه الجريان السيلي



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على النموذج السابق
شكل (١٩) مستويات الملائمة المكانية لحصاد مياه الجريان السيلي بحوض وادي الجمال

ومن تحليل الشكل السابق يتضح أن أكثر المواضع ملائمة لحصاد مياه الجريان السيلي بحوض الوادي تمثلت في المجاري الرئيسية للأودية الخمسة الكبرى الجمال و حفافيت وبيير الشال ونجرس وأم تناضب ، وقد شغلت هذه الفئة ١٦٩.٢٦ كم^٢ أي ما يعادل ٨.٦٣% من مساحة المنطقة ، وجاءت في المرتبة الثانية روافد تلك الأودية مضافاً إليها قيعان كافة الأودية الفرعية و سطح المروحة الفيضية برأس بغدادي وقد شغلت هذه الفئة نحو ١٩.٨٧% من مساحة حوض الوادي .

جدول (٨) مساحات مستويات الملائمة المكانية لحصاد مياه الجريان السطحي بحوض وادي الجمال

مستويات الملائمة المكانية	المساحة (كم ^٢)	% من المساحة
مواضع غير ملائمة	٢٩٨.٣١	١٥.٢٢
مواضع قليلة الملائمة	٥٥٠.١٤	٢٨.٠٦
مواضع متوسطة الملائمة	٥٥٣.٠٩	٢٨.٢١
مواضع ملائمة	٣٨٩.٤٧	١٩.٨٧
مواضع ملائمة جداً	١٦٩.٢٦	٨.٦٣
الإجمالي	١٩٦٠.٢٧	١٠٠

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الشكل (١٩)

أما المواضع ذات الملائمة المتوسطة فقد شكلت نحو ٢٨,٢١% من مساحة الحوض ومثلتها المناطق المستوية والمقعرة بأحواض تصريف المنطقة ، في حين مثلت المواضع قليلة الملائمة وغير الملائمة المناطق التي سجلت أقل قيم للمعاملات والمعايير سالفة الذكر وشغلت على الترتيب نحو ٢٨,٠٦% ، و ١٥.٢٢% من مساحة الحوض، ومن الجدير بالذكر أنه تم استخلاص المجموع الموزون weighted Sum للأربعة مجموعات الرئيسية من النموذج السابق باستخدام برنامج extAhp20 (شكل ٢٠) وعمل مصفوفة للمقارنات الزوجية لكل مجموعة منها في ضوء درجات الأهمية النسبية في ضوء الحدود التي وضعها ساعاتي وزملاؤه (Saaty 2008) ويوضحه الجدول (٩) .

المصدر: برنامج extAhp20

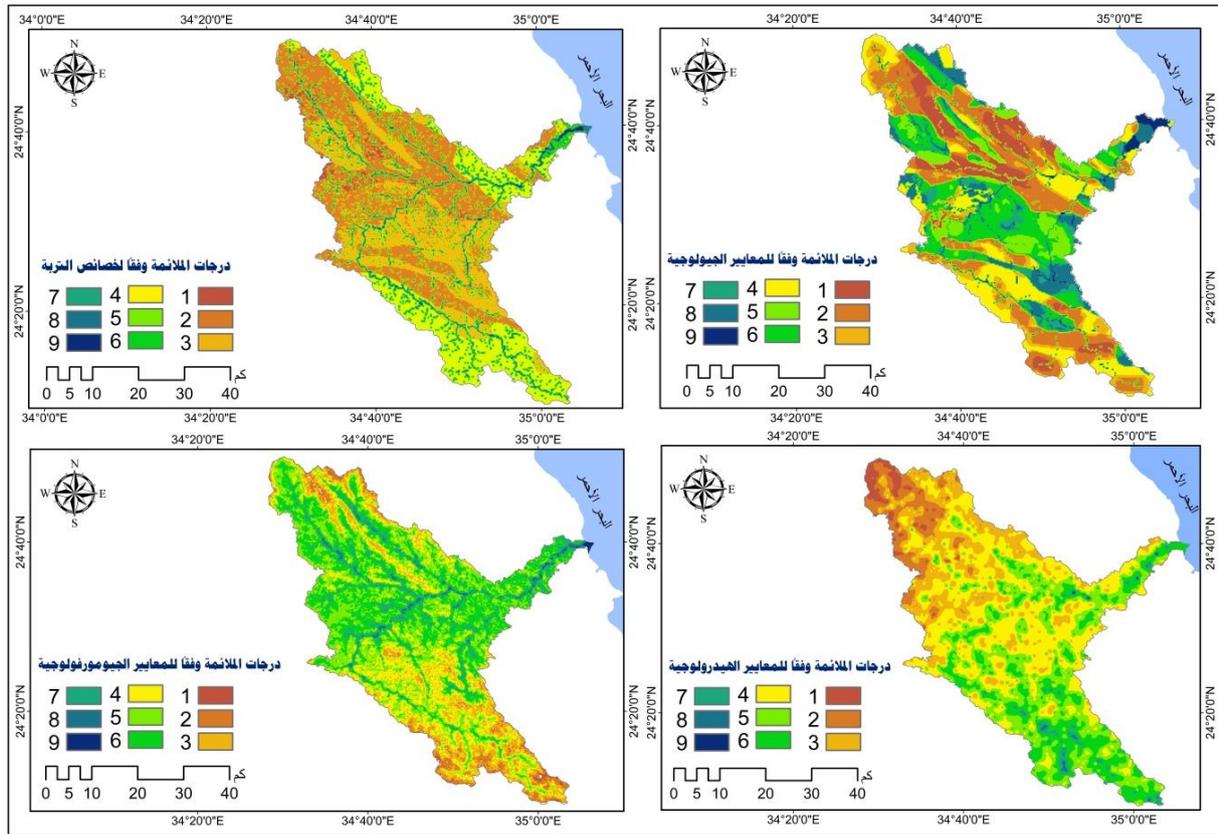
شكل (٢٠) حساب الأوزان النسبية المجمع لمجموعات المعايير الرئيسية

جدول (٩) تفسير قيم درجات الأهمية النسبية وفقاً لطريقة التحليل الهرمي AHP

الوصف	المدلول	درجات الأهمية النسبية
التساويان متساويان من حيث الأهمية بالنسبة للهدف	متساويان في الأهمية	1
يفضل بقوة نشاطاً على الآخر بدرجة بسيطة	أهمية معتدلة	3
يفضل بقوة نشاطاً على الآخر	أهمية كبيرة	5
نشاط يفضل على الآخر بدرجة كبيرة جداً، أهميته توضحها الممارسة	أهمية كبيرة جداً	7
تفضيل نشاط على آخر يمثل أعلى درجة ممكنة من التأكيد	أهمية قصوى	9
أحياناً يحتاج فرد ما ان يعطى حكماً وسطاً عددياً، حيث لا توجد كلمات تصفه حينئذ يلزم إجراء مقارنة باختيار أصغر العناصر كوحدة لتقدير العناصر الأكبر باعتبارها ضعف تلك الوحدة.	أهمية وسطية بين القيم المذكورة أعلاها إذا كان النشاط "س" له إحدى القيم الصحيحة أعلاه عندما قورن بالنشاط مقلو "ص"، حينئذ يأخذ النشاط "ص" تلك القيمة حينما يقارن بالنشاط "س"	2,4,6,8

المصدر: (Saaty 2008)

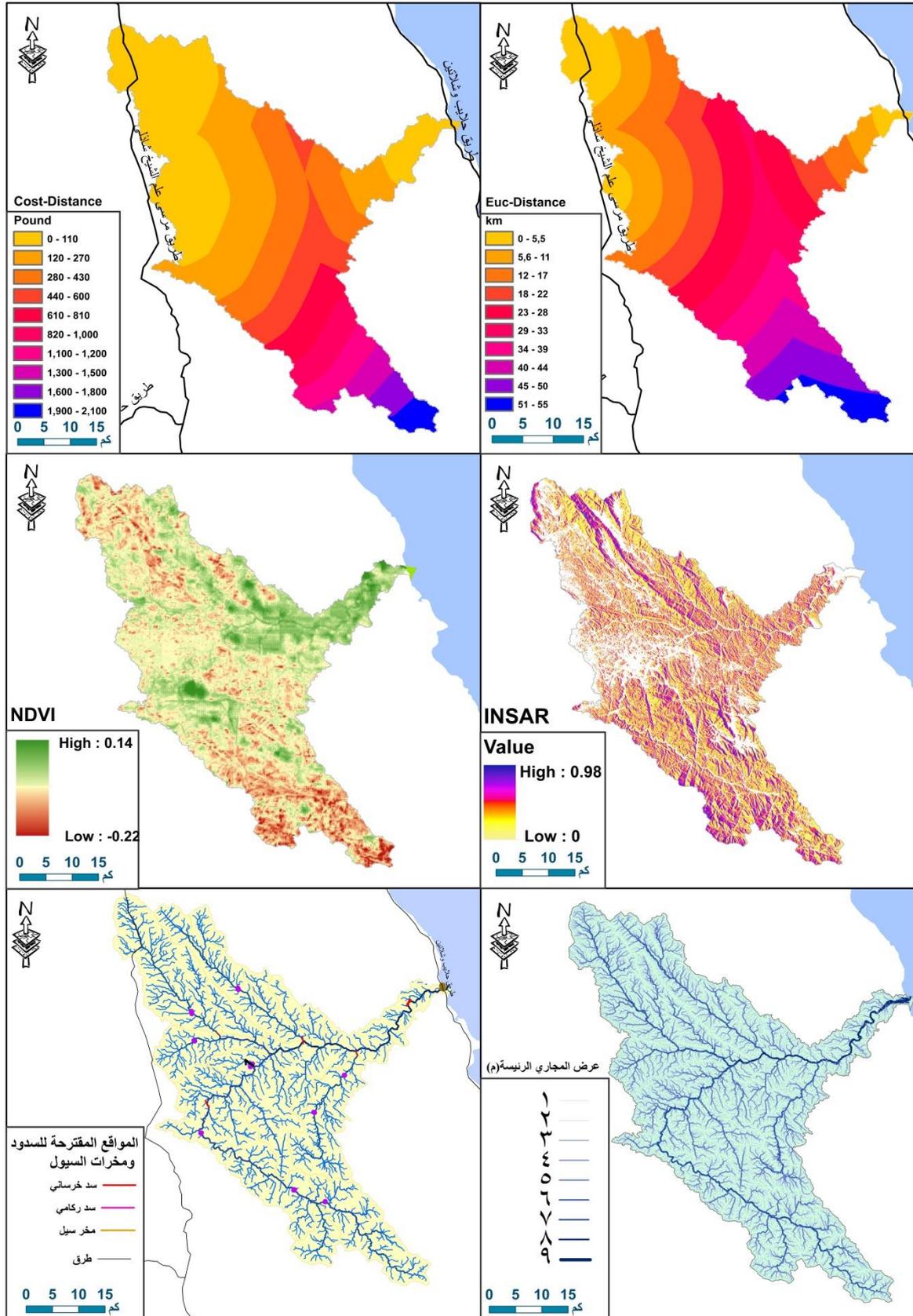
وفي ضوء ما سبق تم عمل أربعة خرائط تلخص نواتج عملية النمذجة وتفسر التباين المكاني لمحصول نمذجة كل مجموعة من تلك المجموعات المشار إليها سلفاً ويوضحها الشكل التالي.



المصدر: من عمل الباحث باستخدام برنامجي Arc Map 10.8 & extAhp20

شكل (٢١) درجات الملائمة المكانية للمعايير الجيولوجية والجيومورفولوجية والهيدرولوجية والبيدولوجية

أما عن مواقع السدود فقد تمت وفقاً لعدة معايير فتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم نمذجة مجموعة من المعايير لتحديد المواقع المثلى لها تمثلت في أقل عرض للوادي ، والبعد عن الطرق، وتكلفة مسافة الوصول للسد كما يوضحه الشكل (٢٢)، فضلاً عن عوامل أخرى كصافي الجريان السيلي للأحواض الفرعية ، والبعد عن مواقع الترسيب والانهيئات الصخرية ، وقد تم الاعتماد على نموذج INSAR لتحديد المواقع التي طرأت عليها تشوهات (تغيرات مورفولوجية) في شكل المنحدرات ، وعليه تعد أقل قيمة في هذا النموذج أكثر المواقع ملائمة كما يوضحه الشكل (٢٢)، وقابلية التربة للضغط الهيدروليكي (تم تحديد درجات الملائمة لهذا العامل وفقاً لنوع التكوينات الصخرية) ، وعرض المجرى الرئيس للوادي مع توافر ارتفاع صخري في موضع اختيار السد للحد من تكلفة البناء على جانبي السد، وقد تم التفضيل بين المواقع التي حددتها عملية النمذجة من خلال القياس المباشر من Arc Gis Online.



المصدر: من إعداد الباحث.

شكل (٢٢) بعض المعايير المكتملة لعملية النمذجة المكانية لاختيار المواضع المثلى للسدود في حوض وادي الجمال

النتائج

١- يتألف حوض وادي الجمال جيولوجياً من خليط من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، وإن كانت صخور ما قبل الكامبري تشكل الوحدات الصخرية الرئيسية به، حيث تغطي وحدها نحو ٦٧,٨٥% من مساحته، وقد أثر ذلك جلياً في بنية الحوض، حيث يقطع سطحه ٢٤٦ صدعاً بإجمالي ٦٠٨,٢٣ كم أغلبها يتخذ اتجاهاً شمالياً غربياً / جنوبياً شرقياً نشأت في الأصل بفعل عمليات الدفع التكتوني التي تعرضت له المنطقة خلال المراحل الأولى لنشأتها، وقد أدى ذلك إلى ارتفاع قيم الكثافة الصخرية في مواضع انتشار تلك التكوينات بوسط وشمال و شمال شرق، كما تغطي تكوينات الميوسين نحو ١٧.١٦% فقط مساحة الحوض، بينما غطت رواسب الزمن الجيولوجي الرابع نحو ١٤.١٦% من المساحة الكلية للحوض.

٢- لما كانت التربة نتاجاً طبيعياً للتكوينات الصخرية السطحية بالمنطقة فإن التربة الصخرية تعد الأكثر شيوعاً وانتشاراً بالمنطقة واشتقت منها تربة قيعان الأودية لتتألف من الكتل الصخرية والجلاميد و الحصى كنتاج طبيعي لعمليات التجوية الفيزيائية السائدة في معظم أجزاء الحوض، أما في الأحواض العليا في غرب منطقة الدراسة فتتألف قيعانها من الرواسب الرملية المناسبة إليها من هضبة العباددة.

٣- بلغ إجمالي حجم التربة المقتلعة بفعل التعرية السيلية نحو ١٧١٦١.٧٦ م^٣/كم^٢/سنة، وقد زادت معدلاتها بشكل كبير في القسم الغربي من الحوض بفعل عمليات التنقيب عن خامات النحاس بمنطقة أم سميوكي، و ارتكاز التربة الرملية على الصخور الجرانيتية بأحواض بئر الشال وحلوس و طلعة أم تناضب و حفافيت وبير أبو حاد بالغ الأثر في ارتفاع مؤشر نقل الرواسب الفعلي بتلك الأحواض كنتاج طبيعي لزيادة حجم التربة الرملية المقتلعة بفعل التعرية السيلية.

٤- يتراوح ارتفاع سطح الحوض بين صفر على ساحل البحر الأحمر و١٩٧٢م في أقصى جنوب غرب الحوض، كما أن نحو ٦٦.٠٤% من مساحة الحوض تتراوح منحدراتها بين متوسطة الانحدار إلى الشديدة الانحدار.

٥- أسفرت نتائج التحليل الإحصائي عن وجود علاقة طردية قوية بين أطوال المجاري الرئيسية وزمن التركيز، حيث قدر معامل الارتباط بينهما بنحو ٠,٩٩٤ ، وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على أن أطوال المجاري تعد العامل الجيومورفولوجي الأكثر تحكماً في زمن التركيز بالمنطقة.

٦- أسفرت نتائج النمذجة عن خمسة مستويات ملائمة لحصاد مياه الجريان السيلي بالمنطقة، شكلت المجاري الرئيسية للأودية الخمسة الكبرى الجمال و حفافيت وبير الشال ونجرس وأم تناضب أكثر المواضع ملائمة وشغلت نحو ١٦٩.٢٦ كم^٢ أي ما يعادل ٨.٦٣% من المساحة الكلية لحوض وادي الجمال، وشغلت المواضع الملائمة نحو ١٩.٨٧% من مساحة حوض الوادي ومثلتها روافد تلك الأودية مضافاً إليها قيعان كافة الأودية الفرعية و سطح المروحة الفيضية برأس بغدادي ، أما

المواضع ذات الملائمة المتوسطة فقد شكلت نحو ٢٨,٢١% من مساحة الحوض ومثلتها المناطق المستوية والمقعرة بأحواض تصريف المنطقة ، في حين مثلت المواضع قليلة الملائمة وغير الملائمة على الترتيب نحو ٢٨,٠٦% ، و ١٥.٢٢% من مساحة الحوض.

٧- يعد شهر نوفمبر أكثر الشهور التي يقطع الوادي فيها عواصف مطرية، وقد قدر صافي الجريان السطحي للعاصفة المطرية يوم ١٣ نوفمبر ٢٠٢١ م بنحو ١٢.٥٥ مليون م^٣.

٨- ضعف أساليب الحماية من أخطار الجريان السطحي نظراً لوجود بربخ واحد لتصريف مياه السيول على طريق مرسى علم / شلاتين أدت إلى تدمير قطاع كبير من هذا الطريق عقب حدوث أي جريان سيلبي بحوض الوادي مما حدا بالدراسة الحالية أن تضع مقترحاً لحل هذه المشكلة من خلال بناء سدود أو عمل تكسية خرسانية للطريق في المنطقة .

المقترحات

١- عمل تكسية خرسانية لجانبي طريق مرسى علم / شلاتين بطول ثلاثة كيلومترات عند مخرج الوادي لحمايته من الانهيار والتصدع بفعل السيول.

٢- عمل أربعة مخزرات سيول أسفل طريق مرسى علم / شلاتين كما توضحها الأبعاد التالية :
جدول (١٠) أبعاد ومواقع مخزرات السيول المقترحة على طريق مرسى علم /شلاتين

المخر	الطول (م)	القطر (م)	X1	Y1	X2	Y2
الأول	٣٠	٣	35.09025153	24.66791326	35.09050844	24.66805505
الثاني	٣٥	٣	35.09045411	24.66689573	35.09074331	24.66706615
الثالث	٣٧	٣	35.09058544	24.66523083	35.09092167	24.66535989
الرابع	٣٨	٣	35.09071535	24.66386251	35.09107649	24.66395924

٣- إنشاء تسعة سدود ركامية كما يوضحه الجدول التالي:

جدول (١١) أبعاد ومواقع السدود الركامية المقترحة بوادي الجمال

رقم السد	الموقع الجغرافي للسد	الهدف من السد	امتداد السد			
			Y2	X2	Y1	X1
1	القطاع الأوسط بوادي حلوس	الحد من نقل الرواسب الرملية	24.5324	34.7275	24.5324	34.7319
2	القطاع الأوسط بوادي بئر أبو هشيم	الحد من نقل الرواسب الرملية	24.5792	34.6223	24.5791	34.6239
3	القطاع الأدنى بوادي حفافيت	الحد من نقل الرواسب الرملية	24.6252	34.6190	24.6252	34.6185
4	القطاع الأوسط بوادي نجرس	الحد من سرعة الجريان السيلبي	24.6691	34.7060	24.6691	34.7072
5	القطاع الأوسط من وادي طلعة أم تناضب	الحد من نقل الرواسب الرملية	24.4526	34.8455	24.4526	34.8471
6	القطاع الأدنى من وادي طلعة أم تناضب	الحد من سرعة الجريان السيلبي	24.5159	34.9036	24.5159	34.9046
7	القطاع الأدنى من وادي أبو هشيم	الحد من سرعة الجريان السيلبي	24.2969	34.8648	24.2969	34.8648
8	أعلى وادي بئر الشال	الحد من سرعة الجريان السيلبي	24.3180	34.8057	24.3180	34.8076
9	القسم الأدنى من وادي بئر الشال	الحد من سرعة الجريان السيلبي	24.4188	34.6329	24.4188	34.6345

٤- إنشاء خمسة سدود تخزينية كما يوضحها الجدول الآتي:

جدول (١٢) أبعاد ومواقع السدود التخزينية المقترحة بوادي الجمال

رقم السد	الوادي المقترح إقامة السد به	السعة التخزينية (مليون م ^٣)	امتداد السد			
			Y2	X2	Y1	X1
1	حفافيت	1.89	24.5909	34.6666	24.5917	34.6676
2	بئر الشال	2.93	24.4685	34.6442	24.4698	34.6469
3	نجرس	1.76	24.5769	34.8256	24.5771	34.8282
4	طلعة أم تناضب	1.2	24.5537	34.9265	24.5541	34.9281
5	وادي الجمال	6.67	24.6402	35.0408	24.6412	35.0394
		12.56				

المراجع والمصادر

أ- المراجع العربية

١. الأسدي، كامل حمزة (٢٠٢٣) تقدير حجم الموارد السطحية في حوض وادي مدود، مجلة كلية الآداب، جامعة الكوفة، العراق، عدد ٥٦، جزء ٢، صفحة ١٣٩.
٢. السلاوي، محمود سعيد (١٩٨٩). هيدرولوجية المياه السطحية. طرابلس، ليبيا: دار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان.
٣. النوايسة، سامر عوض محمد، الزغول، ميسون بركات حسين. (٢٠٢٢). اختيار المواقع المحتملة للحصاد المائي باستخدام النمذجة المكانية المتعددة المعايير في حوض وادي الموجب جنوبي الأردن. مجلة اتحاد الجامعات العربية للآداب.
٤. بدوي، إبراهيم محمد علي (يونيو، ٢٠٠٦م). جيومورفولوجية مروحة وادي الجمال على ساحل البحر. مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، جامعة المنوفية - كلية الآداب - مركز البحوث الجغرافية، مجلد ٤، ١٢٤، صفحة ٣٥.
٥. خضر، إيمان جمال فتحي (٢٠٢٢). استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تقييم ونمذجة اختيار أنسب المواقع لحصاد الأمطار في المنطقة من فوكة لرأس علم الروم بالساحل الشمالي الغربي لمصر. مجلة كلية الآداب، جامعة الزقازيق، عدد ١٠٠.
٦. خضر، محمد محمود (١٩٩٧). الأخطار الجيومورفولوجية الرئيسية في مصر مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل. رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
٧. درويش، عبد الله إبراهيم قائد (٢٠٢٢). تحديد أنسب المواقع لحصاد مياه السيول في حوض وادي الضباب جنوب غرب مدينة تعز باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير. مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية، العدد الثاني.
٨. صابر، أحمد إبراهيم (٢٠٠٧). الآثار الجيومورفولوجية الناتجة عن حركة المياه في المنطقة الممتدة من الصف إلى عين السخنة. رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة بنها.
٩. صابر، أحمد إبراهيم محمد - أحمد، هويدا توفيق - محمود، أميرة محمد. (٢٠٢٢م). التقييم الهيدرولوجي لزمنا التركيز وتأثيره على الجريان السيلي على الحافة الشرقية لهضبة الجلالة البحرية. مجلة كلية الآداب، جامعة الوادي الجديد، المجلد ٨، العدد ١٦، الصفحات ٣٨٥-٤٤٧.
١٠. صالح، أحمد سالم. (١٩٩٩) السيول في الصحاري نظرياً وعملياً. القاهرة: دار الكتب الحديثة.
١١. عبد الجواد، صبحي عبد الحميد، و الكيالي، منى عبد الرحمن يس (٢٠١٩) النمذجة الهيدرولوجية ثنائية الأبعاد للجريان السيلي، حوض وادي الجمال، البحر الأحمر (مصر) باستخدام تقنيات الجيوماتيكنس. المجلة العربية للدراسات الجغرافية، المجلد الثالث، عدد ٤، يناير ٢٠٢٢م.
١٢. عبد الحميد، أحمد كمال أحمد (٢٠١٩) التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف المؤثرة على سد النهضة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية و النمذجة الهيدرولوجية. المجلة العربية للدراسات الجغرافية، المجلد الثاني، عدد ٣.

١٣. غزالة، محمد عثمان (٢٠٢٤) استخدام تقنيات الجيوماتيكنس في دراسة الضوابط الجيومورفولوجية للتنمية المستدامة فيما بين مرسي علم ورأس بناس". رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب جامعة طنطا.
١٤. قطيش، مها إبراهيم رجب (٢٠٠٧). التقييم الجيومورفولوجي للأراضي في حوض وادي الحسا/الأردن، كلية الدراسات العليا، الجامعة الأردنية، رسالة دكتوراه منشورة، صفحة ١٣٩.
١٥. محمود، أمين عبد الحليم (٢٠٠٥). السيول والتنمية في منطقة خليج السويس في سيناء بين وادي خليج العيون شمالاً حتى وادي فيران جنوباً (دراسة جيومورفولوجية). رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الزقازيق.
١٦. مرزا، معراج نواب و البارودي، محمد سعيد. (عدد خاص، ٢٠٠٥). السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي. مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية و الإنسانية، الصفحات ص٣٤٦- ٣٤٧.
١٧. مصطفى، إسلام سلامة محمد. (٢٠٠٤م، ص ص ١٨٢ _ ١٨٤). الأخطار الجيومورفولوجية في محافظة أسيوط. رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الزقازيق، فرع بنها.
١٨. معوض، بدوي معوض. (٢٠٢١). دراسة هيدرولوجية لمورفومترية لسيل الأول من نوفمبر ٢٠٢٠ بمدينة رأس غارب (مص). حوليات آداب عين شمس، المجلد ٤٩، صفحة ص ٣٣١.

ب- المراجع الأجنبية

1. Braunović.S (1996) Study of Rain Erosivity and Soil Resistance to Erosion in Belgrade Region. Master's Thesis, University of Belgrade, Belgrade, Serbia,P.6.
2. Wischmeier.H. W, Smith.D.D (1978) Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook No. 537.
3. Abdalla, F I. El Shamy, Bamousa .A. O., Mansour. A. , Mohamed. A., Tahaon.M. (2014) Flash Floods and Groundwater Recharge Potentials in Arid Land Alluvial Basins, Southern Red Sea Coast, Egypt. International Journal of Geosciencesp.974.
4. Bakhtyar Ali Ahmad ,Sarkawt Ghazi Salar,Azad Jalal. (2024) An integrated new approach for optimizing rainwater harvesting system with dams site selection in the Dewana Watershed Kurdistan Region, Iraq. Heliyon , Iraq.
5. Faniran.A. (1968) The Index of Drainage Intensity–A Provisional New Drainage Factor. Australian Journal of Science ,Vol. 30,pp. 379-330.
6. Foster .M.A. (1997) Citado por Paarríosy Quiñónez. p.2000.
7. Gallant, J.C; Dowling, T.I. (2003). A multi-resolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. Water Resources Research,pp.12,39.

8. Girma Taddese & Yasin Getahun Atesmachew Bizuwerk (2000) Application of GIS for Modeling Soil loss rate in Awash River Basin, Ethiopia . International Livestock Research Institute .
9. Horton.R.E (1932). Drainage Basin Characteristics, Transactions. American Geophysical Union, Vol.03, pp. 330-360.
10. Khosravi.K, Nohani. E, Maroufinia, E, Pourghas (2016). A GIS-Based Flood Susceptibility Assessment and its Mapping in Iran, A Comparison Between Frequency Ratio and Weights-of-Evidence Bivariate Statistical Models with Multi-Criteria Decision-Making Technique",. Natural Hazards, Vol. 83,pp 947-987.
11. Ligia Garcí'a ,Jaris Veneros ,Franz Pucha-Cofrep ,Segundo Cha´vez ,Danilo E. Bustamante ,Martha S. Caldero´n.(Geospatial Analysis of Soil Erosion including Precipitation. Applied and Environmental Soil Science PP.1-9.
12. Maan. Habib (2021)Quantifying Topographic Ruggedness Using Principal.pp.1-20
13. Marsily. G. de.(1986). Quantitative Hydrogeology. Academic Press.
14. Petrovic.A, Kastadinov S, Dragicevic S. (2014) The Inventory and Characterization of Torrential Flood Phenomenon in Serbia. pp.23,823-830.
15. Popit Tomislav, & Verbovšek Timotej (2013) Analysis of surface roughness in the Sveta Magdalena paleo-landslide in the Rebrnice area. Vol. 60, p. 199.
16. Raghounath .H. M (1985). Hydrology,Principles,Analysis,Design. PUBLISHING FOR ONE WORLD NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS, New Delhi Bangalore Chennai Cochin Guwahati Hyderabad.
17. Riley, S. J, De Gloria, S.D., & Elliot, R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences, no. 3, pp. 23-27.
18. Tew. K .H(1999). Production of Malaysian soil erodibility monograph in relation to soil erosion issues. VT Soil Erosion Research and Consultancy.
19. Thornthwaite, C.W.Mather, J.R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, N.J.,Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, pp- 3: 125 –311.
20. Tyler Danielson. (2013). Utilizing a High Resolution Digital Elevation Model (DEM) to Develop a Stream Power Index (SPI) for the Gilmore Creek

- Watershed in Winona County, Minnesota. Saint Mary's University of Minnesota University Central Services Press, Volume 15, p.6.
21. Wilson, J. P; Gallant, J. C;. (2000). Terrain Analysis: Principles and Applications. John Wiley & Sons.
 22. Wolock .D .M and Price. (1994). Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography based watershed model. Water Resource. Res. P.11.
 23. Xing sheng Du et al. (2024). Integrated study of GIS and Remote Sensing to identify potential sites for rainwater harvesting structures. Physics and Chemistry of the Earth.

ثانياً : المصادر.

- ١- هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية.
- ٢- هيئة المساحة الجيولوجية المصرية .
- ٣- وحدة إدارة الأزمات والكوارث بمحافظة البحر الأحمر.

الملاحق

ملحق (١) مواقع مخزرات السيول على طريق رأس علم /شلاتين

مواقع الإوبية مخزرات السيول طريق مرسى علم - برتيس (الساكنى الرئيسى)

KMZ	الإحداثيات		الحمى التصميمى	المحافظة	الكم	الطريق الواقع عليه البريخ	الإبعاد	عدد الفتحات	عرض البريخ	طول البريخ	المتاع	النوع	تاريخ التهور	اسم القويروى
	lat	lon												
مخز سيول الكم ٣١.٨ مرسى علم / برتيس	24.8034	35.0149	70	البحر الأحمر	31.8	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٣١.٨ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٤٤ مرسى علم / برتيس	24.7153	35.0793	70	البحر الأحمر	44	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٤٤ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٥٨.٨ مرسى علم / برتيس	24.5998	35.1237	70	البحر الأحمر	58.8	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٥٨.٨ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٦٠.٧ مرسى علم / برتيس	24.5852	35.1320	70	البحر الأحمر	60.7	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٦٠.٧ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٦٤.٣ مرسى علم / برتيس	24.5584	35.1428	70	البحر الأحمر	64.3	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٦٤.٣ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٦٥ مرسى علم / برتيس	24.5539	35.1425	70	البحر الأحمر	65	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٦٥ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٩٠.١ مرسى علم / برتيس	24.3851	35.2594	70	البحر الأحمر	90.1	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٩٠.١ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٩٠.٤ مرسى علم / برتيس	24.3820	35.2612	70	البحر الأحمر	90.4	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٩٠.٤ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٩٢.٤ مرسى علم / برتيس	24.3623	35.2905	70	البحر الأحمر	94.4	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٩٢.٤ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٩٥.١ مرسى علم / برتيس	24.3588	35.2968	70	البحر الأحمر	95.1	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٩٥.١ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٩٧.٤ مرسى علم / برتيس	24.3473	35.3145	70	البحر الأحمر	97.4	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٩٧.٤ مرسى علم / برتيس
مخز سيول الكم ٩٨ مرسى علم / برتيس	24.3441	35.3178	70	البحر الأحمر	98	مرسى علم / برتيس	1	1		21	سيول	مواسير	1991	مخز سيول الكم ٩٨ مرسى علم / برتيس

المصدر : وحدة إدارة الأزمات والكوارث بمحافظة البحر الأحمر

ملحق (٢) قيم المسامية الكلية بالوحدات الصخرية والتربة المختلفة

المسامية الكلية	الوحدات الصخرية / التربة	المسامية الكلية	الوحدات الصخرية / التربة
٠.٣٨ - ٠.٠٣٥	الحجر الرملي	٠.٠١٨ - ٠.٠٠٠٢	الجرانيت و النيس
٠.٤٠ - ٠.٣٠	الطف البركاني	٠.٠٠٨	الكوارتزيت
٠.٤٨ - ٠.١٥	رمال	٠.٠٧٥ - ٠.٠٠٥	الصخور الزيتية ، الشيسيت ، الميكا
٠.٥٣ - ٠.٤٤	صلصال	٠.١٢٥ - ٠.٠٠٥	الحجر الجيري، الدولوميت
٠.٦٥ - ٠.٤٥	التربة الزراعية المحروثة	٠.٣٠ - ٠.١٠	الدولوميت
أكثر من ٠.٩٠	الطمي والطين المنتفخ	٠.٣٧ - ٠.٠٠٨	الطباشير
قيم الموصلية الهيدروليكية (م/ث)			
الموصلية الهيدروليكية (م/ث)	الوسائط المجمع	الموصلية الهيدروليكية (م/ث)	الوسائط غير المجمع
$10^{-3} - 10^{-5}$	الحجر الجيري الدولوميت	$10^{-1} - 10^{-2}$	الحصى الخشنة
$10^{-3} - 10^{-5}$	الحجر الجيري الطباشيري اللين	$10^{-1} - 10^{-5}$	رمال وحصى
$10^{-6} - 10^{-9}$	الحجر الجيري الطباشيري الصلب	$10^{-5} - 10^{-9}$	الرمال الناعمة، الطمي
$10^{-5} - 10^{-9}$	الحجر الجيري	$10^{-9} - 10^{-13}$	الطين ، الطف
$10^{-4} - 10^{-10}$	الحجر الرملي		
$10^{-9} - 10^{-13}$	الجرانيت و النيس والبازلت المضغوط		

(Marsily, 1986)