

الجدوى الاقتصادية لحصاد مياه الأمطار
غربى المملكة العربية السعودية
دراسة جغرافية باستخدام التقنيات الجيومكانية
والتحليل متعدد المعايير

إعداد

د. هناء رفعت يوسف

مدرس الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية
كلية الآداب - جامعة أسيوط

Email: hh728383@gmail.com

د. سحر نور الدين توفيق

مدرس الجيومورفولوجيا التطبيقية ونظم المعلومات الجغرافية
كلية الآداب - جامعة الإسكندرية

Email: drsahergis@gmail.com

DOI:10.21608/ aakj.2024.292032.1766

تاريخ الاستلام: ٢٣ / ٥ / ٢٠٢٤ م

تاريخ القبول: ١٠ / ٦ / ٢٠٢٤ م

ملخص:

تشهد منطقتي مكة المكرمة والمدينة المنورة التي تعد منطقة الدراسة جزءاً منها تطورات عمرانية كبيرة، فكانت الحاجة إلى تطوير وتنمية المحافظات التابعة لهما والحاجة إلى ترسيخ إمكانات التنمية وتفعيلها من خلال حصاد المياه للمساهمة في التنمية الاقتصادية. وناقش البحث استخدام التكامل بين التقنيات الجيومكانية والتحليل الهرمي متعدد المعايير (AHP) الذي يستخدم كأداة لإتخاذ القرار لتقييم وتحديد المواقع المناسبة لحصاد مياه الأمطار RWH المحتملة بناءً على معايير متعددة. وتم في هذه الدراسة تقييم المشاريع الحالية لحصاد المياه، خاصة مشروع: خليص ورابع ومدى مساهمتهما في تزويد مدن: مكة المكرمة، جدة، خليص، رابع بمياه الشرب. كما توصلت الدراسة إلى تحديد أفضل المواقع لحصاد المياه من خلال إعداد نموذج الملاءمة المكانية لحصاد مياه السيول في بيئة نظم المعلومات الجغرافية اقتراناً مع التحليل الهرمي واعتماداً على المعطيات المكانية التي حددتها منظمة (FAO)، وتبين أن المنطقة تضم مواقع ذات احتمالية حصاد مياه مرتفعة جداً تصل مساحتها ٦٠٥٢.٠٥ كم^٢ بنسبة ٢٦.٩٦٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، مع الأخذ في الاعتبار حجم مياه الجريان السطحي الذي يصل ٧٣٠.٥٩٠٢٧٧.٤ م^٣، وهذا يجعل لمنطقة الدراسة إمكانات كبيرة في تعزيز الاستفادة من الموارد المائية المتجددة، كما تم إعداد تحليل الملاءمة المكانية لتحديد المواقع الأنسب للسدود المقترحة من خلال تطبيق عدة معطيات مكانية وتم التوصل إلى مواقع السدود المقترحة، ويأتي في مقدمتها أربعة سدود (گران، ثول، القاحة، فاطمة) وتم تحديد سعة التخزين المائي لكل سد، وإنشاء هيدرغراف المياه للسدود. ونتائج البحث لها آثار كبيرة على إدارة الموارد المائية المستدامة في منطقة الدراسة خاصة عندما تتضمن التكنولوجيا المتقدمة ومصادر البيانات المكانية.

الكلمات المفتاحية: التقنيات الجيومكانية، التحليل الهرمي، التنمية الاقتصادية، حصاد مياه الأمطار، الملاءمة المكانية، الموارد المائية المتجددة

Abstract:

The regions of Makkah Al-Mukarramah and Medina, of which the study area is a part, are witnessing major urban developments. There was a need to develop their governorates and the need to consolidate development potential and activate it through water harvesting to contribute to economic development. The research discussed the use of integration between geospatial techniques and multi-criteria hierarchical analysis (AHP), which is used as a decision-making tool to evaluate and identify suitable sites for potential RWH rainwater harvesting based on multiple criteria. In this study, current water harvesting projects were evaluated, especially the two projects: Khulais and Rabigh and the extent of their contribution. In supplying cities: Mecca, Jeddah, Khulais, Rabigh with drinking water. The study also determined the best locations for water harvesting by preparing a spatial suitability model for harvesting flood water in a geographical information systems environment in conjunction with hierarchical analysis and based on the spatial data identified by the FAO. It was found that the region includes locations with a very high potential for water harvesting of up to Its area is 6052.05 km², which is 26.96% of the total area of the study area, taking into account the volume of surface runoff water, which reaches 730,590,277.4 m³. This gives the study area great potential in enhancing the utilization of renewable water resources. A spatial suitability analysis was also prepared to determine the most appropriate locations for the proposed dams through the application of several spatial data, and the locations of the proposed dams were reached, the first of which are four dams (Gran, Thul, Al-Qahha, and Fatima). The water storage capacity of each dam was determined, and a water hydrograph for the dams was created. The research findings have significant implications for sustainable water resource management in the study area, especially when incorporating advanced technology and spatial data sources.

Keywords: Geospatial technologies, Hierarchical analysis, economical development, Rainwater harvesting, Spatial suitability, Renewable water resources

مقدمة البحث:

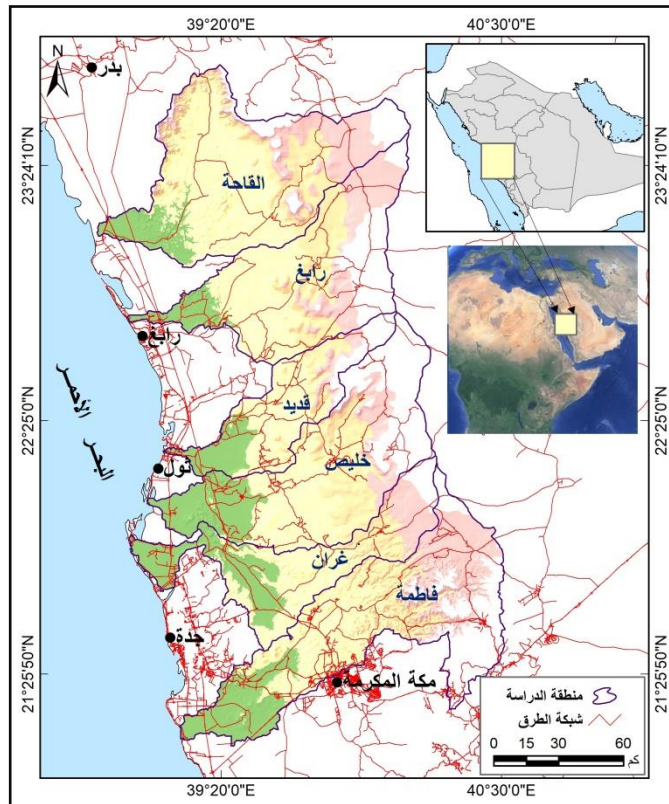
لقد ظهرت مشكلة عدم كفاية إمدادات المياه كمشكلة مكانية في الآونة الأخيرة، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة (Yannopoulos et al. 2019)، وهذا يؤكد ضرورة الملحة لتفعيل إدارة الموارد المائية من خلال تعظيم الاستفادة الاقتصادية من نظم حصاد مياه الأمطار (RWH)، ومن المتفق عليه بجميع أنحاء العالم اعتبار نظام حصاد المياه نظامًا اقتصاديًا طبيعيًا؛ لانخفاض تكلفة المياه المنتجة من حصاد الأمطار بالمقارنة مع المياه المنتجة عن تحلية مياه البحار، ففي المملكة العربية السعودية يبلغ سعر تكلفة المياه الناتجة عن تحلية مياه البحار نحو ٣ (ريال سعودي) للمتر المكعب وتصل تكلفة النقل نحو ٣.٥ (ريال سعودي) للمتر المكعب، وتبلغ التكلفة الاجمالية من ٥.٥-٦.٥ (ريال سعودي).

ومؤخرًا اكتسبت تقنيات حصاد مياه الأمطار (RWH) أهمية كبيرة، لا سيما في المناطق محدودة المياه مثل المناطق شبه الجافة، وتعد هذه التقنيات بمثابة استراتيجية قوية لتعزيز إمكانية توافر المياه لتلبية احتياجات المياه للشرب والزراعة (Abdullah et al. 2021). والشرق الأوسط التي تعد المملكة العربية السعودية جزءًا منه أكثر المناطق تضررًا من تغير المناخ العالمي؛ ويرجع ذلك بشكل أساسي إلى ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض معدلات تساقط الأمطار، لذا تسعى المملكة العربية السعودية لمواجهة مثل هذا النوع من التحديات البيئية، بما في ذلك من تضائل في إمدادات المياه، خاصة مع تزايد عدد السكان، وتساعد درجات الحرارة، مما يزيد الضغط على الموارد المائية والنظام البيئي المحلي (Hassan and Nile 2021).

موقع منطقة الدراسة:

أجريت هذه الدراسة على المنطقة الممتدة بين مدينتي: مكة المكرمة جنوبًا وبدر شمالًا، وهي تقع غربي المملكة العربية السعودية بمحاذاة الساحل الشرقي للبحر الأحمر، فيما بين درجتي عرض ٥٠.٣٣° و٤٦°٢٣' وخطي طول ٢٦.٢١° و١٧°٢١' شمالًا،

وبين خطي طول ١٥.١٩° و ٤٠.٣٤° و ٤٠.٣٤° شرقًا - شكل (١)، وتضم الأجزاء الغربية من محافظات: مكة المكرمة، جدة، والمدينة المنورة. وتتركز بها تجمعات عمرانية على محاور الحركة والأودية الرئيسية، وتعد مدينة خليص، رايغ، وثول أهم التجمعات العمرانية بمنطقة الدراسة. كما تتركز بها شبكة جيدة من الطرق، خاصة المحور الإقليمي (مكة/ المدينة المنورة) ويمر داخل المنطقة بمحاذاة حدودها الغربية، أما المحور الإقليمي (جدة/ المدينة المنورة) فيمر داخل المحافظة بمحاذاة حدودها الشمالية الغربية. وتضم منطقة الدراسة ستة أحواض تصريف مائي، وهي: خليص، رايغ، القاحة، فاطمة، ثول، وجران.



المصدر/ هيئة المساحة السعودية وتحليل البيانات المكانية

شكل (١) موقع منطقة الدراسة

أهمية الدراسة:

في ظل التكلفة المرتفعة لتحلية مياه البحار، تلجأ الدول خاصة التي تقع في البيئات الجافة وشبه الجافة إلى تنمية مواردها المائية وتعظيم المردود الاقتصادي من خلال حصاد مياه الأمطار، عن طريق الاختيار الأنسب لمواقع حصاد مياه الأمطار الذي يعد محل اهتمام للعديد من الدراسات، خاصة مع استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) واعتبارهما وسائل فعالة ودقيقة لتحديد المواقع المثلى لأنظمة (RWH) (Buraihi and Shariff 2015). كما تعد الجهات المختصة بإدارة الموارد المائية في العديد من الدول، بما فيها تلك الواقعة في الشرق الأوسط وجنوب شرق آسيا وأفريقيا لديها اعتماد خطط شاملة للاستثمار في التكنولوجيا من أجل جمع وتخزين واستخدام مياه الأمطار للأغراض المنزلية والزراعية (Ibrahim et al. 2019)، مما جعل تقييم وإدارة وتخطيط حصاد مياه الأمطار تكتسب أهمية كبيرة، خاصة في المناطق التي يقل فيها التساقط المطري (Dhakate et al. 2013). وتكمن أهمية الدراسة في كيفية الاستفادة الاقتصادية من مياه الأمطار وتجميعها بشكل كبير والحفاظ عليها، خاصة أن المنطقة تتوفر بها معايير نجاح تقنيات حصاد المياه - صور (1-2-3-4)، ويأتي في مقدمتها كميات الأمطار التي تعد العامل المركزي في نظم حصاد مياه الأمطار (RWHS) مع الأخذ في الاعتبار تباينها الزمني الذي يؤثر بشكل كبير على كفاءتها (Silva et al. 2015). كما تكمن أهمية تحديد مواقع مناطق حصاد مياه الأمطار RWH المحتملة في منطقة الدراسة في تحسين توافر المياه الصالحة للشرب بمدن: جدة، مكة المكرمة، رابغ، ثول، خليص، ومدينة الملك فهد الاقتصادية.



صورة (٢) محطة تنقية مياه الشرب سد رابغ



صورة (١) بحيرة التخزين أمام سد رابغ



صورة (٤) زراعات المانجو بوادي خليص



صورة (٣) زراعات أشجار الموز بوادي

مشكلة الدراسة:

تعتمد المملكة العربية السعودية بشكل كبير على تحلية مياه البحر، فقد أصبحت المنتج الأول للمياه المحلاة في العالم، حيث تنتج نحو ٧.٦ مليون متر مكعب يوميًا، وهذا يعادل ٢٢% من الإنتاج العالمي (المؤسسة العامة لتحلية المياه بالمملكة العربية السعودية، ٢٠٢٢م)، مما يضغط على مصادر الطاقة بالمملكة، ومن هذا المنطلق يُمكن تحقيق الاستفادة الاقتصادية من حصاد مياه الأمطار، خاصة في المواقع ذات النمط الطبوغرافي المميز في غربي وجنوب المملكة التي تعد منطقة الدراسة جزء منه، ولتحقيق الإدارة المستدامة للمياه يتم دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والتحليل متعدد المعايير.

ويعد التغيير المناخي أكثر التحديات التي تواجه حصاد مياه الأمطار، من خلال التأثير في ندرة تساقط الأمطار السنوية، خاصةً مع ارتفاع درجات الحرارة (Pachauri et al. 2014).

كما أن ضعف مستوى الوعي بإمكانات حصاد المياه وجوانبه التقنية والاجتماعية والاقتصادية تُسهم في فقدان المياه دون الاستفادة منها في الاستخدامات المختلفة إلى جانب سوء إدارة الأراضي، لذا يوجه البحث نحو الاهتمام بحصاد مياه الأمطار ورعايتها وتعزيز الاستفادة الاقتصادية نحو توفير مصادر الطاقة وتوجيهها لمشروعات أخرى والحفاظ على مياه الأمطار في مياه الشرب والاستخدام المنزلي.

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة البحثية لتحقيق الأهداف العلمية التالية:

- 1- تهدف هذه الدراسة إلى معالجة الفجوة البحثية في تطبيق التقنيات الجيومكانية وتكاملها مع التحليل متعدد المعايير في تحديد المواقع الأنسب لحصد مياه الأمطار من خلال تطوير وتطبيق منهجية متكاملة تجمع بين هذه التقنيات في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية.
- 2- تحديد المواقع الأنسب لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة.
- 3- تعزيز إدارة الموارد المائية في المستقبل واقتراح سياسات جديدة لتحديد مواقع RWH المناسبة.
- 4- تحديد أنسب المواقع لإقامة السدود لتخزين المياه وتحديد السعة التخزينية لكل سد مقترح.
- 5- بناء قاعدة بيانات مكانية في الإدارة المستدامة للمياه يستفاد منها في تطوير إدارة الموارد المائية ومواجهة مشكلات ندرة المياه.
- 6- وضع استراتيجية جيوتقنية جديدة لتقييم حصاد مياه الأمطار (RWH) مع الأخذ في الاعتبار آثار تغير المناخ، والسعي نحو تعزيز إدارة موارد المياه.

الدراسات السابقة:

دراسة (2004) G.B. Senay, J.P. Verdin وتناولت تطوير خرائط لإمكانات حصاد المياه في بعض المواقع في قارة أفريقيا. دراسة الساكني (2011) وتناولت تقانات حصاد المياه ودورها في الموارد المائية العربية، وتم دراسة أنواع تقانات المياه ودورها في تخزين مياه السيول. دراسة على الغزوي وآخرون (2012): وتناولت النمذجة الهيدرولوجية ودورها في حصاد مياه الجريان السطحي لحوض وادي تارو باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، وتوصلت لتقدير حجم التصريف المائي بمنطقة الوادي. دراسة Jha MK, Chowdary VM, Kulkarni Y, Mal BC (2014) وتناولت تخطيط حصاد مياه الأمطار باستخدام التقنيات الجغرافية المكانية وتحليل القرار متعدد المعايير والحفاظ على الموارد المائية. دراسة: ندى شاكر جودت، 2016 : وناقشت حصاد المياه وأثره في تنمية الموارد المائية في العراق. دراسة (2015) Buraihi FH, Shariff ARM لاختيار مواقع حصاد مياه الأمطار باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: دراسة حالة كركوك، العراق، دراسة (2016) Ammar A, Riksen M, Ouessar M, Ritsema C وتناولت تحديد المواقع المناسبة لمنشآت تجميع مياه الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة. دراسة (2016) Adham A, Riksen M, Ouessar M, Ritsema CJ وناقشت منهجية تقييم تقنيات حصاد مياه الأمطار في المناطق شبه الجافة. دراسة (الشرقاوي، 2018م) وفيها تم تطبيق نموذج تدفق السيول باستخدام نموذج منحني الجريان المائي الأمريكي SCN-CN وتم حساب حجم التصريف المائي اليومي لأودية منطقة الدراسة، دراسة (2017) (G. De Winnaar, G.P.W. Jewitt, M. Horan) نهج قائم على نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع المحتملة لحصاد الجريان السطحي في حوض نهر ثوكيلا، جنوب أفريقيا - الفيزياء والكيمياء. دراسة عبد الفتاح نافع صالح، 2018: وتناولت استخدام تقانات حصاد المياه لتنمية الموارد المائية بشكل

عام من حيث التقييم. دراسة مسعود محمد نصر، ٢٠١٨: وناقشت التقييم الكمي والنوعي لحصاد مياه الأمطار بمنطقة يفرن بمحافظة طرابلس بدولة ليبيا. دراسة Ali J, Babak A, Mohsen H, Ian F, Mohammad K, Nastaran K, Erfan GT (2018). دراسة مقارنة لتقنيات AHP وTOPSIS لاختيار موقع السد باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: دراسة حالة لمحافظة سيستان وبلوشستان، إيران. علوم الأرض. دراسة annopoulos S, Giannopoulou I, Kaiafa -Saropoulou M (2019). دراسة الوضع الحالي وآفاق تطوير حصاد مياه الأمطار كأداة لمواجهة شح المياه في العالم. دراسة: Abdullah A, Sudin S, Ahmad Z, Saad F, Ahmad I, Abdullah F, Nik WM, Deraman A, Maliki NM, Kamaruzaman SR, Romle SR (2021) وتناولت نظام الري الذكي باستخدام نظام حصاد مياه الأمطار، دراسة H.M. Gregersen, P.F. Ffolliott, K. N (2021) وناقشت الإدارة المتكاملة لمستجمعات المياه: ربط الناس بأراضيهم ومياههم CABI. دراسة Al-Ghobari H, Dewidar AZ (2021) وفيها تم دمج تقنيات MCDA القائمة على نظام المعلومات الجغرافية وطريقة SCS-CN لتحديد المناطق المحتملة لتجميع مياه الأمطار في منطقة شبه جافة. دراسة نورة عبدالله الأسمرى، ٢٠٢٢ وتناولت الملاءمة المكانية لحصاد مياه الأمطار في محافظة النماص بالمملكة المتحدة السعودية، وتم فيها استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تحديد مواقع حصاد المياه. إيمان خضر، ٢٠٢٢ وتناولت استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تقييم ونمذجة اختيار أنسب المواقع لحصاد الأمطار في المنطقة من فوكة لرأس علم الروم بالساحل الشمالي الغربي لمصر، وتم فيها تحديد المواقع الأنسب لحصاد المياه خاصة أن الوسائل المناسبة تعد عبارة عن آبار لتخزين مياه الأمطار. Khan D, Raziq A, Young HWV, Sardar T, Liou YA (2022) لتحديد المواقع المحتملة لهياكل تجميع مياه الأمطار في Ghazi Tehsil بدولة باكستان.

بيانات الدراسة ومعالجتها:

اعتمدت الدراسة على عدد كبير في البيانات لإتمام مراحلها التحليلية، حيث اشتملت على البيانات المناخية المستخدمة من سجلات تساقط الأمطار التي تم الحصول عليها من الأرصاد الجوية السعودية، كما يشمل السنوات من ١٩٩٢ إلى ٢٠٢٢ سجلات الأرصاد الجوية بوزارة المياه والكهرباء بالمملكة العربية السعودية والتي امتدت لفترة ٢٥ عامًا بالإضافة إلى ذلك نموذج الارتفاع الرقمي تم الحصول عليه من الموقع الرسمي لهيئة المسح الجيولوجي للولايات المتحدة (USGS) كملف نقطي، والذي تم استخدامه لاشتقاق كل من طبقة الانحدار والسطح والبيانات الهيدرولوجية لمنطقة الدراسة. وتم تنفيذ هذه العملية باستخدام أدوات Arc Hydro داخل تطبيق ArcMap10.8.4 علاوة على ذلك مجموعات التربة الهيدرولوجية (HSGs) - مصدرها الموقع الرسمي للولايات المتحدة سجلات وزارة الزراعة كملف TIF لعام ٢٠١٩م، كما اعتمدت الدراسة على بيانات القمر الاصطناعي SENTINAL وتحليلها، وبيانات السدود من النشرة السنوية للسدود التابعة لوزارة المياه والكهرباء بالمملكة العربية السعودية.

البرامج المستخدمة في الدراسة:

اعتمدت الدراسة على عدد من البرامج المتخصصة في تحليل ونمذجة المعطيات المكانية للدراسة واستخلاص النتائج الخاصة لتحديد أنسب المواقع لحصاد مياه الأمطار وإنشاء نظام RWH لحصاد المياه جدول (١)، وفيما يلي أهم هذه البرامج:

جدول (١) البرامج المستخدمة تحليل ونمذجة وعرض المعطيات المكانية للدراسة

م	اسم البرنامج	المتغيرات	م	اسم البرنامج	المتغيرات
١	Arc GIS 10.8.2	تجهيز وتحليل المعطيات المكانية	٥	WMS	التحليل الهيدرولوجي
٢	ERDAS Imagine 8.6	معالجة وتحليل الصور الفضائية	٦	HYFRAN	تحليل البيانات المناخية
٣	Arc Hydro	التحليل الهيدرولوجي	٧	HEC- HMS	هيدرغراف مياه الأمطار
٤	Terra Incognita	تحميل صور عالية الوضوح	٨	HEC- RAS	الخصائص الهيدروليكية للمياه

المصدر/ من خلال جمع وتحليل ومعالجة البيانات المكانية الخاصة بالدراسة.

منهجية الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة تم الاعتماد على المنهج الاستقرائي التحليلي، ومن خلاله تم جمع ومعالجة البيانات المدخلة في الدراسة، كما تم الاعتماد على الأسلوب الكارتوجرافي من خلال إعداد الخرائط متعددة بالدراسة وصور الأقمار الاصطناعية، كما اعتمدت الدراسة على الأسلوب الكمي في حساب معدلات تساقط الأمطار على مدار ٣٠ سنة من خلال محطات الرصد الجوي (جدة - مكة المكرمة - المدينة المنورة - رابغ - ثول - عثقان)، وتقدير احتمالية حدوث الأمطار، كما تم الاعتماد على أسلوب النمذجة، حيث استخدمت الدراسة الدمج بين نظم المعلومات الجغرافية وعملية التحليل الهرمي (AHP) مع المقارنة الزوجية وهي مصفوفة لتعيين الأوزان لكل معيار (Nasser and Thomas, 2016)، وذلك لتحديد المواقع المثلى المحتملة لحصاد مياه الأمطار (RWH)، وآخر لتحديد المواقع الأنسب للسدود المقترحة، وفيما يلي توضيح لكلا النموذجين:

أ- نموذج الملائمة المكانية لحصاد مياه السيول:

اعتمد نموذج الملائمة المكانية لحصاد مياه السيول على الدمج بين نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي (AHP) Saaty, 2008)) في تحليل المعطيات المكانية التي حددتها منظمة (FAO)، واشتملت على مجموعة من العوامل المحددة لحصاد المياه، وهي: كمية تساقط الأمطار (RF)، عمق الجريان المائي (RD)، الانحدار (SL)، نسيج التربة (ST)، كثافة التصريف (DD)، والغطاء الأرضي/ استخدام الأراضي (LC) - شكل (٢)، وتم إعداد مصفوفة المقارنة الزوجية للمعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار - جدول (٣)، ولتحديد عمق الجريان المائي السطحي تم الاعتماد على نموذج (SCS-CN) - جدول (٢) - ومن أهم مدخلاته: غطاءات الأرض وأنماط استخدامها والمجموعات الهيدرولوجية للتربة ونوع الغطاء النباتي وكميات الأمطار الساقطة، وقيم Curve Number (CN) التي تعتبر أرقام موزونة تتراوح بين صفر إلى ١٠٠، وتعبّر عن الاستجابة المائية لمكونات غطاء الأرض في أحواض التصريف (Ponce, V.M.; Hawkins, R.H)، حيث تعبّر عن مدى قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه، فكلما اقتربت القيم تجاه صفر يدل على سرعة نفاذية التربة للمياه، وكلما اقتربت القيم نحو الرقم ١٠٠ فإنها تزداد قدرة التربة على عدم إنفاذ المياه خلال مسامها (USDA, 1985)، ويطلق على هذه الطريقة نموذج (Curve American Soil- CNs) المعتمد من قبل هيئة حفظ التربة الأمريكية - Conservation (USDA- TR55, 1986p 3-6)، وفيما يلي نموذج قيم منحني الجريان السطحي.

جدول (٢) المعادلات الهيدرولوجية المستخدمة نمذجة الجريان السطحي بمنطقة الدراسة

رقم المعادلة	المعادلة الهيدرولوجية	م
١	$QV=(Q \times A / 1000)$	١
٢	$Q=(P-Ia)^2 / (P+0.8S)$	٢
٣	$S=(25400) / (CN)-254$	٣
٤	$Ia=0.2 \times S$	٤

المصدر/ إعداد الباحثان اعتمادا على تحليل المعطيات المكانية لمنطقة الدراسة.

حيث:

$$QV = \text{حجم الجريان السطحي م}^3$$

$$Q = \text{عمق الجريان السطحي مم}$$

$$A = \text{مساحة حوض التصريف المائي}$$

$$Q = \text{عمق الجريان السطحي مم Run off depth}$$

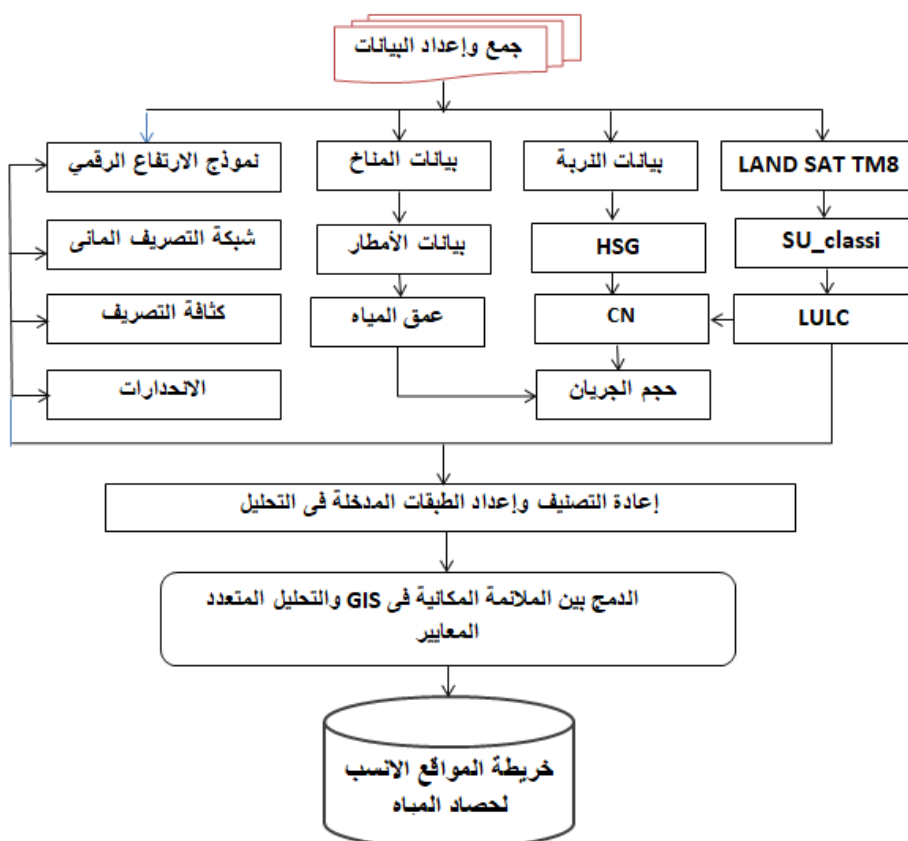
$$P = \text{الأمطار الساقطة مم}$$

$la =$ المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان كالترسب والامتصاص من قبل النباتات والتبخر

Initial Abstraction

$S =$ التجمع السطحي الأقصى بعد بدء الجريان السطحي مم (سمك التربة المشبعة بالمياه

(S) Potential Maximum Retention after Runoff



المصدر/ إعداد الباحثان اعتمادا على المنهجية الجيوتقنية للدراسة وطبيعة المنطقة.

شكل (٢) مخطط يوضح منهجية إعداد نموذج الملاءمة المكانية لحصاد مياه الأمطار

ب- الملاءمة المكانية لتحديد المواقع المناسبة للسدود:

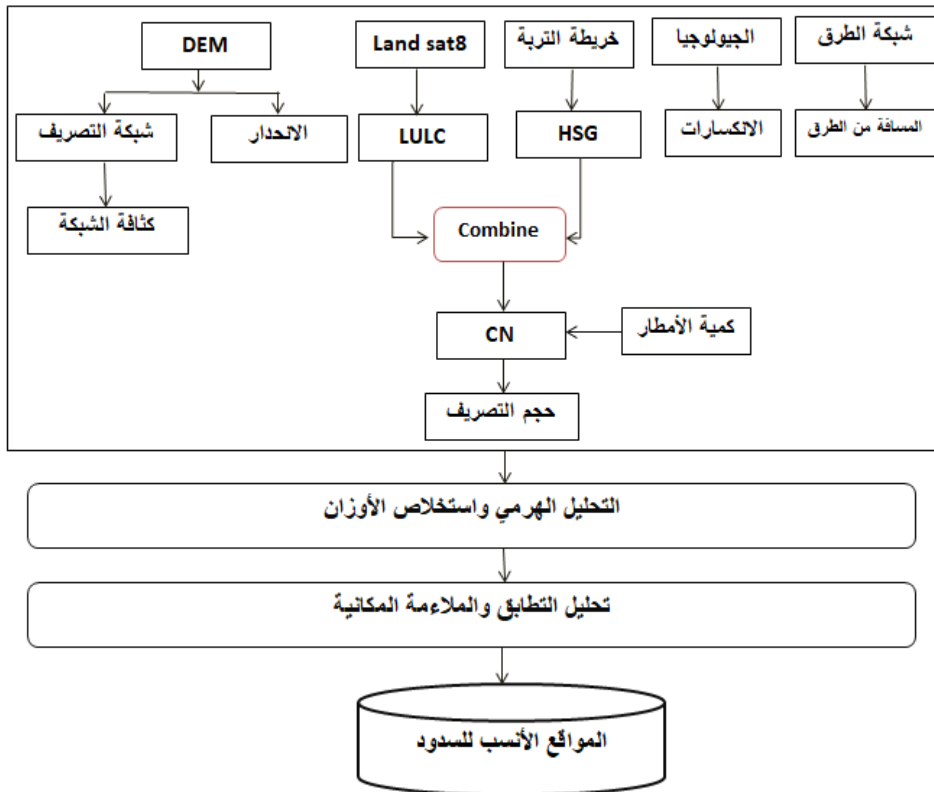
ولتحقيق ذلك تم الاعتماد على مجموعة من المعايير، وهي: كثافة شبكة التصريف المائي، المسافة من الطرق، الغطاء واستخدامات الأرض، الانحدار، التكوين الجيولوجي، كثافة الانكسارات، وكمية الأمطار.

وفي هذه الدراسة البحثية تم تطبيق التحليل الهرمي بالإقتران مع نظم المعلومات الجغرافية من خلال أداة AHP داخل برنامج Arc GIS، كما تم الاعتماد في إعداد مصفوفة المقارنة الزوجية من خلال نظام الويب عبر شبكة الإنترنت، ويعد التحليل الهرمي أحد التقنيات المستخدمة في تحليل القرار متعدد المعايير ((MCDA)، وهي تقنية منظمة لتنظيم وتحليل القرارات المعقدة بناءً على الرياضيات ومعرفة الخبراء (Saaty, 2008). تم تطويره بواسطة Thomas Saaty في السبعينيات ومنذ ذلك الحين تم تطبيقه على نطاق واسع في مختلف التخصصات.

ويعد المبدأ الأساسي لتحليل AHP هو تمثيل عناصر أي مشكلة بشكل هرمي لتنظيم العلاقات بين كل مستوى، المستوى الأعلى هو الهدف الرئيسي (الهدف) لحل المشكلة، والمستويات الأدنى تتكون من معايير أكثر تفصيلاً تؤثر على الهدف الرئيسي. ويتم تحديد أوزان كل معيار من خلال تطبيق مصفوفة المقارنات الزوجية. وتحدد المقارنات الزوجية الأهمية النسبية لمعيارين مشتركين في تقييم مدى الملاءمة لهدف معين. وتتم مقارنة معيارين وتقييمهما باستخدام مقياس مستمر مكون من ٩ نقاط وتتوافق القيم الفردية ١ و ٣ و ٥ و ٧ و ٩ على التوالي مع معايير متساوية ومعتدلة وقوية وقوية جدًا وبالعلة الأهمية عند مقارنتها ببعضها البعض، والقيم الزوجية ٢ و ٤ و ٦ و ٨ هي قيم متوسطة (Saaty, 2008) - جدول (٣). وتم الاعتماد على هذا التحليل في تحديد درجات الأهمية للمعطيات المكانية المدخلة في التحليل من خلال أداة (AHP) ببرنامج Arc GIS10، وعلى حسب (SAATY, T.L., 1990).

جدول (٣) درجات الأهمية للمعطيات المكانية في التحليل الهرمي

البدائل	درجة الأهمية
أهمية قليلة	١
أهمية متوسطة	٣
أهمية كبيرة	٥
أهمية كبيرة جدًا	٧
أهمية مطلقة	٩
درجات بينية بين الأحكام	الدرجات (٢-٤-٦-٨)
المصدر / Saaty, 2008	



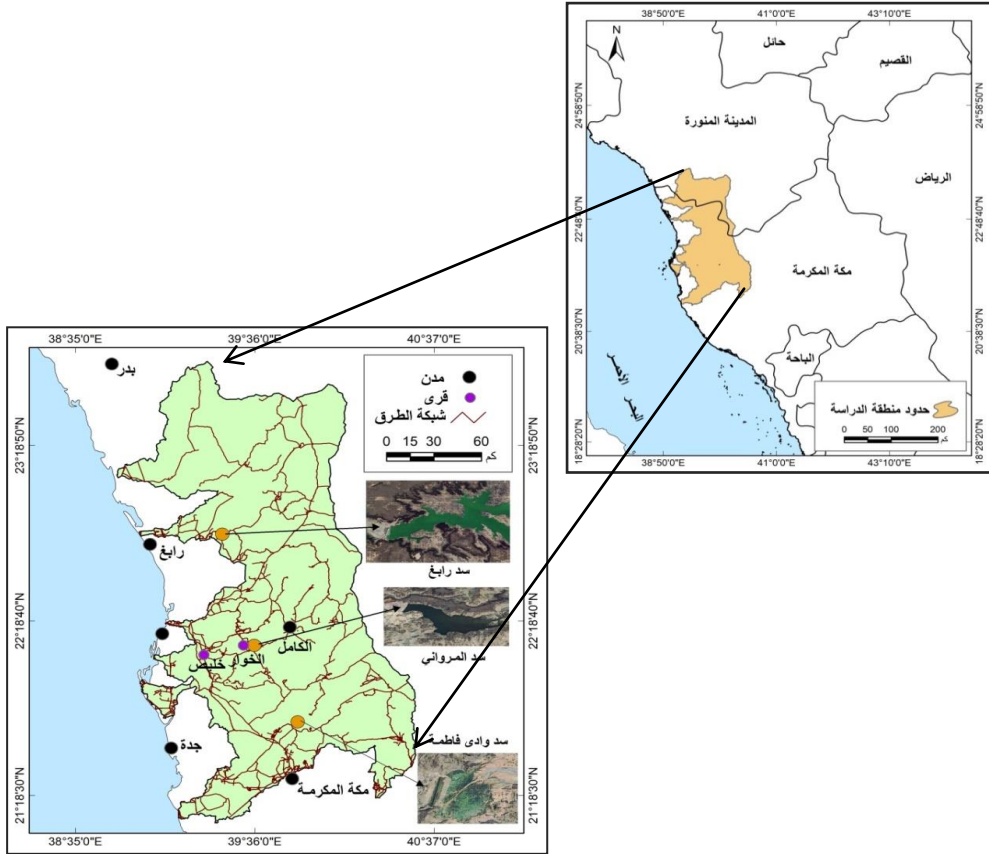
المصدر/ إعداد الباحثان اعتمادا على المنهجية الجيوتقنية للدراسة وطبيعة المنطقة

شكل (٣) مخطط يوضح منهجية إعداد نموذج الملاءمة المكانية لتحديد مواقع السدود

ولتحقيق أهداف الدراسة، تم دراسة المحاور التالية:

أولاً: التحليل الجغرافي لمشروعات حصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة:

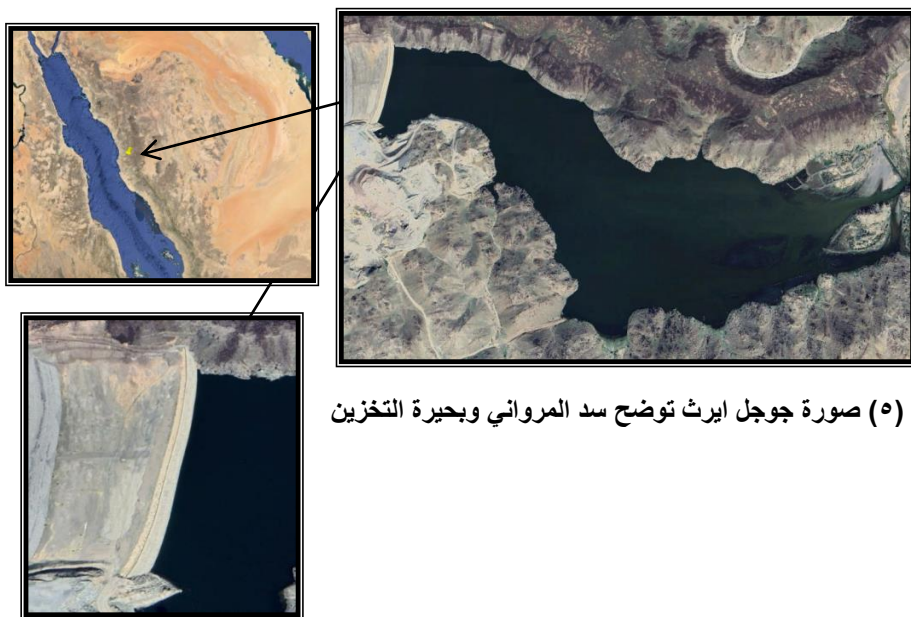
تضم منطقة الدراسة اثنين من المشروعات الكبيرة لحصاد مياه الأمطار بالمنطقة الغربية بالمملكة العربية السعودية، وتُسهّم هذه المشروعات في سد الفجوة المائية بالمراكز العمرانية غربي المملكة العربية السعودية - شكل (٤)، خاصّة توفير جزء من مياه الشرب بمدينة مكة المكرمة وجدة والتجمعات العمرانية بخليص، رابغ، ثول، ومدينة الملك فهد الاقتصادية، وفيما يلي عرض لخصائص هذه المشروعات:



المصدر/ وزارة البيئة والمياه والكهرباء السعودية ومرنيات Quock Bird
شكل (٤) التوزيع الجغرافي لمواقع السدود وبحيرات التخزين بمنطقة الدراسة

١- بحيرة وسد المرواني:

وهي بحيرة جبلية اصطناعية تقع في منطقة عند قرية الخوار - شكل (٥)، وتتجمع فيها سيول أودية وادي خليص، ويعد سد المرواني خامس أكبر السدود على مستوى المملكة العربية السعودية، وبلغت التكاليف الإجمالية لبنائه ٢٦٢.٣ مليون ريال (٦٩.٨ مليون دولار) وتصل الطاقة التخزينية للبحيرة نحو ١٨٣.٦ مليون متر مكعب، ويبلغ ارتفاع السد نحو ١٠١ متر من الأساسات وطوله ٥٨٠ مترًا، ومساحة منطقة التجميع تبلغ ٢٧٦٢ كم^٢، كما يبلغ ارتفاع السد ٦١م وبطاقة تصريف ١٣٩م^٣ / ثانية، ويبلغ ارتداد الماء في الحوض ١٨ كيلو متر (وكالة البيئة والمياه والزراعة، المملكة العربية السعودية، عام ٢٠٢٣ م).



شكل (٥) صورة جوجل إيرث توضح سد المرواني وبحيرة التخزين

وتقع أمام السد محطة تنقية للمياه الناتجة عن حصاد مياه الأمطار. ونفذت الشركة السعودية خطًا ناقلًا للمياه من محطة التنقية على سد المرواني بطول تجاوز ٨٣ كيلو مترًا طولياً، وصولاً إلى خزان الرحيلي شمال محافظة جدة بسعة ٥٠ ألف متر

مكعب وإلى خزان محافظة الكامل بسعة ١٠ آلاف متر مكعب، ومحطة ضخ بطاقة ١٠ آلاف متر مكعب في اليوم، لخدمة أكثر من ٢٠٠٠٠٠٠ مستفيد، وبتكلفة مالية تجاوزت ١٩٢ مليون ريال، إضافة إلى تنفيذها ٤ مشروعات شملت خطاً ناقلاً للمياه إلى محافظة الكامل وقراها، وبأطوال إجمالية تجاوزت ١٤٢ كم، وخزانات استراتيجية وتشغيلية بسعة خزن إجمالية بلغت ٢٣ ألف متر مكعب، ومحطة تعبئة في السيل الكبير لرفع الكفاءة التشغيلية، وتعزيز منظومة التوزيع اليومية، وبتكلفة مالية تجاوزت ٨٢ مليون ريال. (وكالة البيئة والمياه والزراعة، المملكة العربية السعودية، عام ٢٠٢٣م)



شكل (٦) صورة جوجل إيرث بحيرة سد المرواني شكل (٧) مخطط لمحطة تنقية مياه السيول بحيرة سد المرواني

وتتوافق أهداف محطة التنقية لبحيرة سد المرواني مع رؤية المملكة ٢٠٣٠م الرامية لتحسين الخدمات المقدمة للمواطنين، حيث يُسهم مشروع نقل المياه من بحيرة سد المرواني بخليص إلى محطة التنقية بالسد في رفع الأمن المائي للمحافظة؛ حيث تعتمد المنظومة الرئيسة على مياه الآبار مما يحقق الحفاظ على الموارد المائية، وتميهاً، استدامتها، وترشيد استخداماتها.

كما تهدف محطة التنقية لرفع القدرة الإنتاجية للمياه في خليص من ٩٠٠٠م^٣/ اليوم إلى ٣١٤٠٠٠م^٣/ف/ اليوم، شكلي (٦-٧)، بنسبة زيادة تصل إلى ٣٥% لتحسين

مستوى جودة المياه عن طريق محطة التنقية المذكورة؛ فضلاً عن الاستفادة منه في ضبط جودة المياه المنتجة التي يتم توزيعها إلى خليص وباقي القرى والهجر^(*).

وعن الجانب التشغيلي لمشروع نقل المياه من سد المرواني بخليص إلى محطة التنقية بالسد؛ فإن منظومة المشروع تتضمن أربع مضخات رفع متقلة لتشغيل محطة التنقية في سد المرواني. كما أن المشروع سيوفر ٣م٤٠٠٠٠٠ مياه كخزن احتياطي يكفي لمدة تزيد على ثلاثة أيام، كما يُمكن الاستفادة منه في حالات الطوارئ.

وتتكون محطة التنقية لبحيرة سد المرواني من خزان مائي ومبنى يحتوي على ثلاث مضخات خاصة لمياه الشرب ومضخة خاصة لأخذ عينات المياه المنتجة لمعمل التحليل ومضختين لمكافحة الحريق ومضخة طرد مركزي لأعمال الري - صورة (٥).



صورة (٥) لوحة التحكم بمحطة تنقية المياه بسد المرواني

وساهمت بحيرة التخزين بسد المرواني في مجال التنمية الزراعية بمنطقة الوادي، فيوجد أكثر من ١٢ قرية وتتركز بها بعض المحاصيل الزراعية، حيث أعاد السد الحياة للأرض الزراعية من جديد.

* يقصد بها التجمعات السكنية البدوية بمناطق الوديان وتجمعات المياه، خاصة الآبار.

٢- بحيرة وسد رابغ:

يقع هذا السد على وادي رابغ على بعد حوالي ٣٥ كم شرق مدينة رابغ في منطقة مكة المكرمة غرب المملكة العربية السعودية- شكل (٨)، وركزت الأهداف الأساسية في انشائه في السيطرة على مياه السيول وإمدادات المياه لمدن مكة المكرمة ورابغ وجدة، وإعادة تغذية المياه الجوفية، وتتم معالجة المياه من خزان السد قبل توريدها إلى رابغ - صور (٦-٧). ويصل طوله ٣٨٠م وارتفاعه ٨٠م (وزارة المياه والكهرباء، المملكة العربية السعودية، ٢٠٢٣م) ويقع أمام سد وادي رابغ بحيرة تخزين اصطناعية تصل سعتها التخزينية حوالي ٢٢٠ مليون متر مكعب، لكن تبلغ كمية المياه المخزنة الفعلية حوالي ٦٢ مليون متر مكعب.

ويوجد خلف سد وادي رابغ محطة تنقية للمياه تصل طاقتها الإنتاجية نحو ١٠٠٠٠٠٠م^٣/اليوم، وتتكون من خط أنابيب المياه بطول ١.٧ كم، لنقل المياه من السد إلى المحطة التي تشمل عددًا من المكونات الخاصة بعملية التنقية ونقلها إلى خزاني المياه المنتجة، وتصل سعة كل منهما ٥٠٠٠٠٠م^٣/اليوم، وبسعة إجمالية تبلغ ١٠٠٠٠٠م^٣، كما تتضمن المحطة نظام التحكم والمراقبة (SCADA)، ونظامي إنذار الحريق ومكافحته، إضافة إلى خط نقل المياه من المحطة إلى خزانات الرحيلي بشمال جدة بطول إجمالي ٦٠ كم. (وزارة المياه والكهرباء، المملكة العربية السعودية، ٢٠٢٣م).

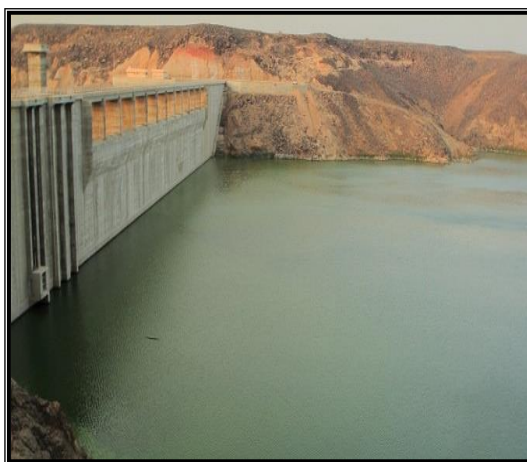
ويملك سد رابغ أهمية استراتيجية، حيث يمد محافظة جدة بكمية مياه تصل إلى ١٠٠٠٠٠٠م^٣/اليوم، كما توجهت الدولة السعودية إلى تطوير محطة التنقية بسد رابغ واستكمالها وذلك بتكلفة ٤٤٧ مليون ريال، وتشمل مكونات محطة التنقية والخط الناقل للمياه في كل من الرحيلي بجدة ومحطة التوزيع بثول وتفرعات الخط "ثول، القضيمة، صعب".

ويأتي هذا المشروع ضمن تدعيم مصادر المياه وعمليات الإمداد وتحسينها في مناطق المملكة المختلفة التي تشمل مشروعات تعزز من مصادر مياه الشرب وكمياتها وايصالها إلى المستهلكين بأفضل الممارسات التشغيلية حسب البرامج التطويرية الموضوعة، ومن المخطط له أن المشروع سيخدم أكثر من ٥٠٠٠٠٠ مستفيد في محافظتي جدة ورايح والمراكز التابعة لهما، ويُعد تنفيذ هذه المشروعات ركيزة أساسية لرفع مستوى الخدمات المقدمة، واستجابة لتطلعات المملكة في تحقيق الرفاهية للمواطنين.

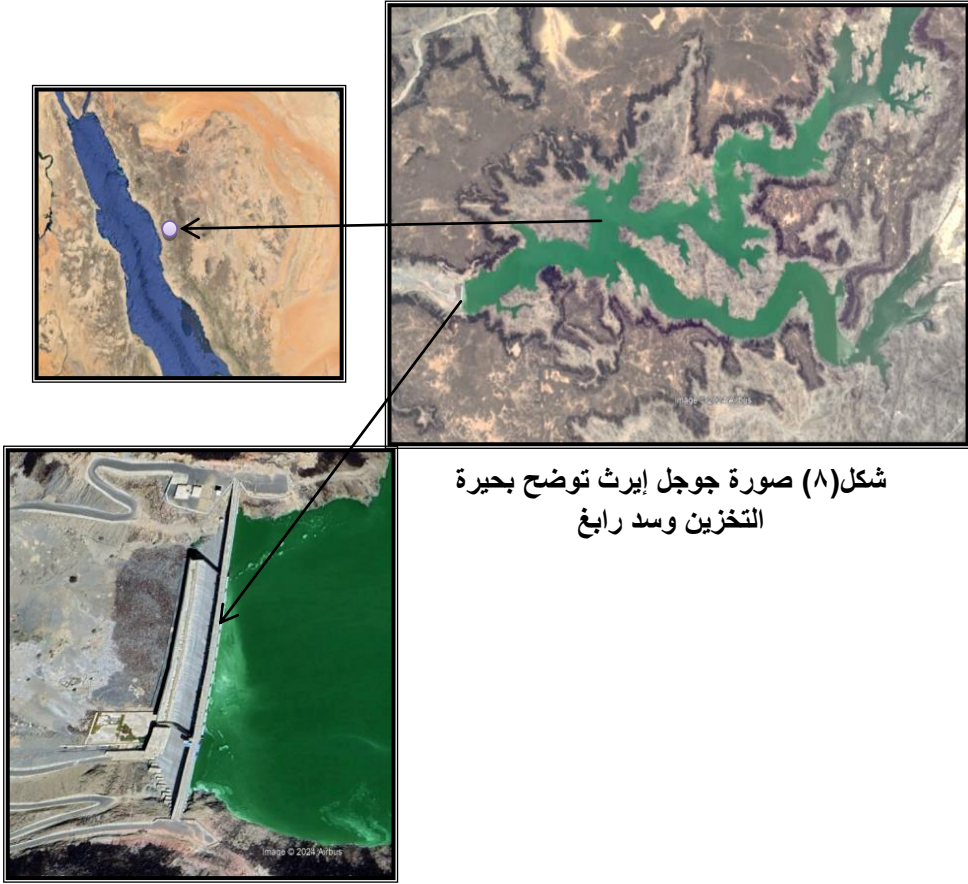
كما أن مشروع محطة تنقية وادي رايح يهدف لزيادة إمدادات المياه بمنطقة مكة المكرمة بكميات قدرها ١٠٠٠٠٠٠ م^٣/يوم، لتأمين مصدر المياه للمراكز والقرى على طول مسار الخط الناقل من محطة التنقية على سد رايح وحتى خزان الرحيلي شمال مدينة جدة، وتشمل إمدادات المياه: مدينة ثول، وأحياء: أبحر الشمالية بجدة، مشيراً إلى أنه يتم إمداد المحطة بالمياه الخام من بحيرة تخزين سد رايح.



صورة (٧) فتح بوابات سد رايح



صورة (٦) بحيرة وسد رايح



شكل (٨) صورة جوجل إيرث توضح بحيرة التخزين وسد رابغ

ومن خلال العرض السابق نجد أن منطقة الدراسة تضم مشروعات حيوية بحوضي: خليص ورابغ، إلا أنه في حالة تحقيق استراتيجية شاملة لحصاد المياه سيصبح لمنطقة الدراسة شأن كبير في توفير مياه الشرب بكميات وفيرة لمنطقتي مكة المكرمة والمدينة المنورة، خاصة أن هاتين المحافظيتين يشهدان طفرة كبيرة في التنمية العمرانية والتنمية الاقتصادية الشاملة، لذا ركزت الدراسة على استخدام التقنيات الحديثة الجيومكانية في التوسع في حصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة بشكل يعزز من تحقيق أقصى استفادة من مياه الأمطار.

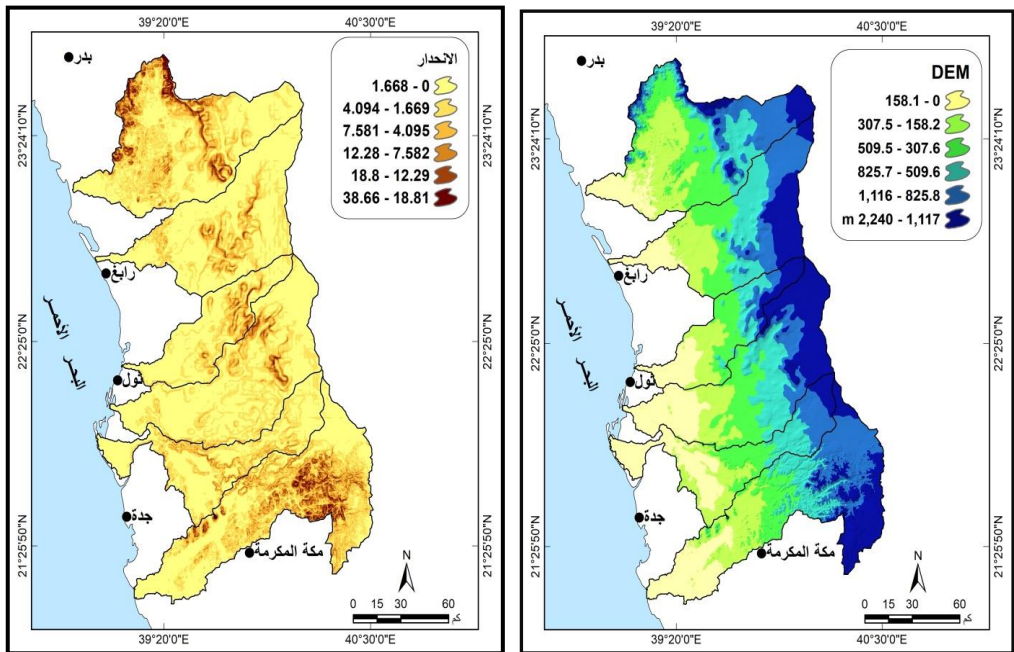
ثانياً: إعداد المعايير المستخدمة في نموذج اختيار المواقع:

ركزت الدراسات التي أجريت خلال التسعينيات على معايير الاختيار الأنسب لمواقع (RWH) (Gupta et al., 1997) وركزت بشكل أساسي على المعايير الفيزيائية الحيوية. وبعد عام ٢٠٠٠م تم دمج المعايير الاجتماعية والاقتصادية مع المعايير الفيزيائية الحيوية (Senay & Verdin, 2004); (Winnaar et al., 2007); (Yusuf et al., 2000). وخلصت الدراسات إلى أن هناك حاجة إلى معايير اجتماعية واقتصادية لتحسين اختيار المواقع المناسبة وفقاً للاتجاهات العامة، مثل الإدارة المتكاملة لمستجمعات المياه (Gregersen et al., 2007) التي ترتبط فيها تنمية وإدارة المياه بالرفاهية الاقتصادية والاجتماعية. ومن أهم المعايير الرئيسة التي حددتها منظمة الأغذية العالمية (FAO) لتحديد منطقة RWH هي الهيدرولوجيا والمناخ والتضاريس واستخدامات الأرض والتربة، وكمية الأمطار، واستخدمت هذه العوامل لتقدير RWH في منطقة الدراسة، كما يلي:

أ- معامل الانحدار لمنطقة الدراسة:

تعد الارتفاعات الرقمية تمثيل للتضاريس ثنائية الأبعاد للأرض (Gavit et al. 2018)، وفي هذه الدراسة تم الاعتماد على بيانات الارتفاعات المنتجة من رادار (SRTM) التي يتميز بدقة مكانية تبلغ ٣٠م كملف نقطي، وتم استخدام هذه البيانات لإنشاء الارتفاع الرقمي DEM الذي يوفر تحليل الخصائص الطبوغرافية بما في ذلك الانحدار وإتجاه التدفق وتراكم السريان المائي، وتمت معالجة هذه البيانات وتحليلها باستخدام خوارزمية (Fill) داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية. والجدير بالذكر أن الانحدار يُمثل عامل أساسي في التأثير على مستويات الترسيب وتدفقات سرعة المياه والمواد اللازمة لبناء السدود تبعاً لدراسة (Adham et al. 2016)، وتشير توصيات منظمة الفاو بأن مواقع حصاد مياه الأمطار (RWH) يجب أن تتميز بشكل مثالي لا تزيد انحداراته عن ٥% مما يقلل ويحد من احتمال ارتفاع معدلات التآكل في المناطق

ذات المنحدرات الأكثر انحدارًا الناتجة عن الجريان السطحي غير المتوقع، والتقليل من التكلفة الاقتصادية لأعمال الحفر (Critchley et al. 2013). وقد تم إنتاج DEM باستخدام دقة ٣٠ من موقع (هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية)، واستخدمت أدوات التحليل المكاني داخل ArcGIS 10.8.2 لاشتقاق طبقة الانحدار لمنطقة الدراسة، وتلي ذلك إعادة تصنيف قيم الانحدار إلى (٦) فئات إرتفاع، ويوضح شكلي (٩-١٠) نموذج الإرتفاعات الرقمية والانحدار لمنطقة الدراسة على التوالي، ويتبين أن ارتفاعات منطقة الدراسة تتراوح بين منسوب سطح البحر و ٢٢٤٠ متر، بمتوسط ارتفاع قدره ٦٠٦.٦١ متر، وانحراف معياري ٤٢٩.٩٥ متر.



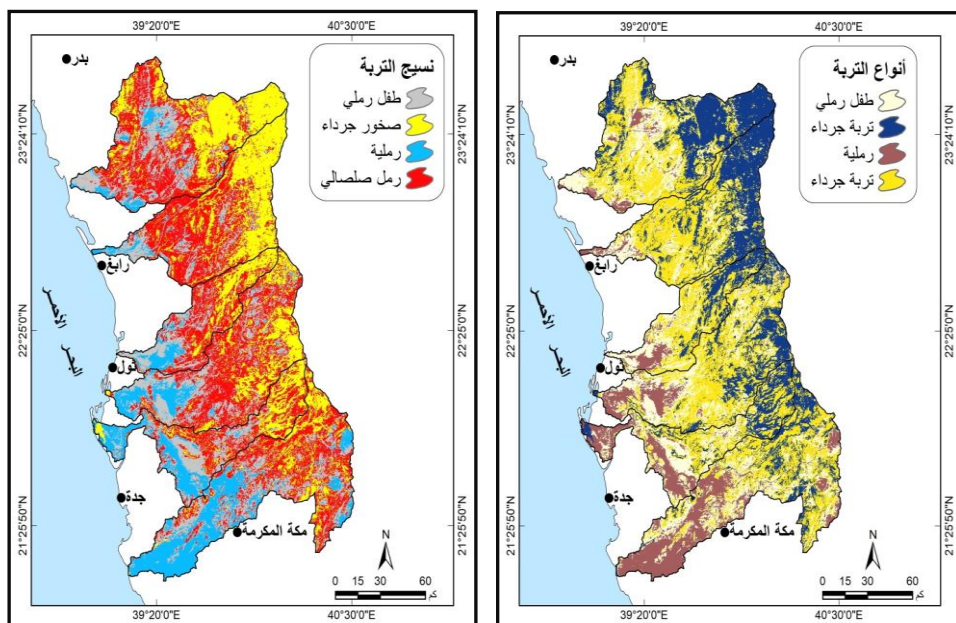
شكل (١٠) طبقة الانحدار لمنطقة الدراسة

شكل (٩) نموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة

ب- معامل نسيج التربة:

ترتبط بشكل كبير معدلات تسرب المياه وحجم الجريان المائي السطحي بتكوين التربة، وتحديدًا النسيج، ويعتمد تحديد نسيج التربة على نسبة الرمل والطين،

حيث تُصنف التربة بشكل عام إلى فئات تركيبية مختلفة، وعند دراسات حصاد مياه الأمطار (RWH) عادةً ما تكون التربة ذات النسيج الدقيق والمتوسطة القوام ذات الأفضلية بسبب قدرتها العالية على الاحتفاظ بالماء، وتُعد نظم RWH مناسبة بشكل خاص للتربة التي تمتلك سعة أكبر لتخزين المياه ((Sayl et al. 2022)، (Glendenning et al. 2012)). ويبين شكلي (١١-١٢) أنواع ونسيج التربة.



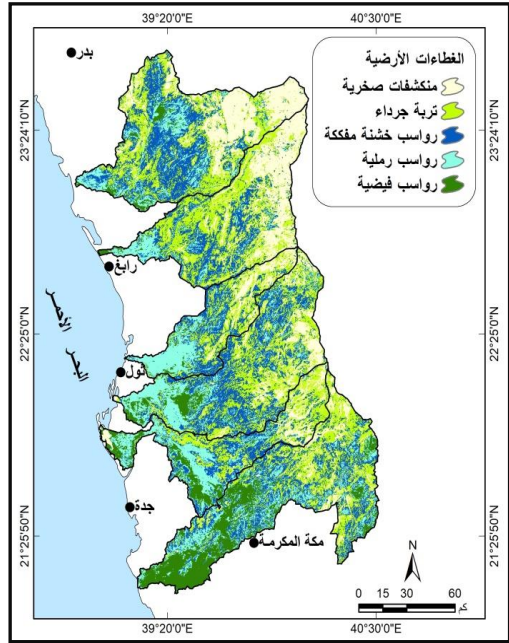
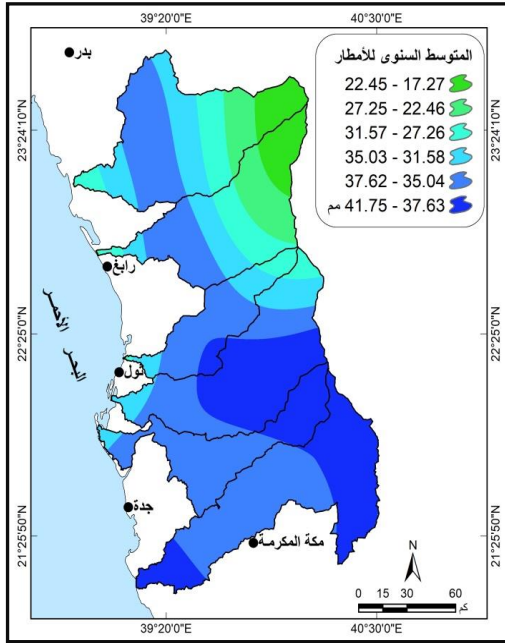
شكل (١٢) نسيج تربة منطقة

شكل (١١) أنواع التربة بمنطقة الدراسة

ج- معامال الغطاء الأرضي:

يُمثل الغطاء الأرضي داخل منطقة معينة دورًا مهمًا في التأثير على الجريان السطحي الناتج عن تساقط الأمطار، حيث تعمل النباتات ذات الكثافة العالية على اعتراض حركة المياه، مما يؤدي في النهاية إلى إنخفاض الجريان السطحي (Sameer et al. 2023). ولإعداد طبقة الغطاءات الأرضية بشكل أكثر تمثيلاً لمنطقة الدراسة، فقد تم الاعتماد على أدوات التصنيف الموجه بالتطبيق على المرئيات الفضائية من نوع

Land SAT TM 8 في برنامج Erdas Emagine، وتم تصنيف الغطاء الأرضي إلى خمس فئات - شكل (١٣)، وتشمل المنكشفات الصخرية، تربة جرداء، رواسب خشنة مفككة، رواسب رملية، ورواسب فيضية.



المصدر/ هيئة الرصد المناخي وبيانات NASA Power
شكل (١٤) المتوسط السنوي لكمية الأمطار بمنطقة الدراسة

المصدر/ التصنيف الموجه لمرئيات Land SAT TM8
شكل (١٣) الغطاءات الأرضية لمنطقة الدراسة

د- معامل الأمطار:

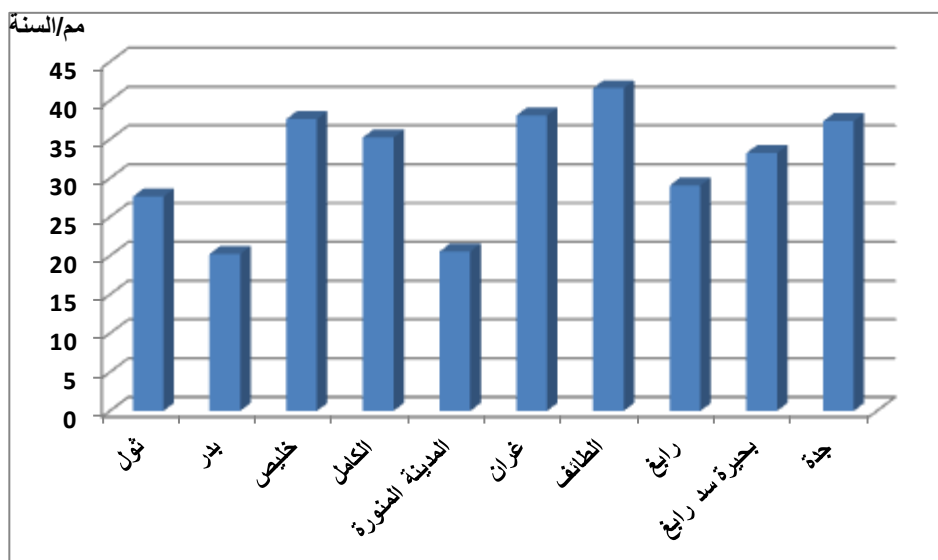
تبعاً لدراسات منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) فإن تساقط الأمطار يُعد عامل محوري ويؤثر بشكل كبير على الجريان السطحي خاصةً في المناطق الجافة وشبه الجافة (FAO, 2003)، ومن أجل الحصاد الفعال لمياه الأمطار (RWH) في مثل هذه المناطق توصي منظمة الأغذية والزراعة بحد أدنى من المتوسط السنوي لتساقط الأمطار يتراوح بين ٣٠٠ إلى ٦٠٠ ملم (Zakaria et al. 2012; Oweis et al. 1999). وتم تجميع بيانات تساقط الأمطار لفترة زمنية تمتد ٢٥ عامًا - من عام ١٩٩٢م إلى عام ٢٠٢٢م - (وزارة البيئة والمياه والزراعة، المملكة العربية السعودية،

٢٠٢٢م) - جدول (٤). ولتوزيع هذه البيانات مكانياً تم استخدام نموذج الإستيفاء المكاني (SPLINE)، وتم استخدام أداة Reclass ببرنامج Arc Map لإعادة تصنيف البيانات ومعالجتها بما يتوافق مع طبيعة منطقة الدراسة - شكلي (١٤-١٥).

جدول (٤) المتوسطات السنوية لكميات الأمطار في الفترة بين (١٩٩٢-٢٠٢٢) لمنطقة الدراسة

م	المحطة المناخية	متوسط الأمطار مم/ السنة	متوسط الأمطار مم/ السنة	المحطة المناخية	متوسط الأمطار مم/ السنة
١	ثول	27.61	٦	گران	38.08
٢	بدر	20.24	٧	الطائف	41.59
٣	خليص	37.6	٨	رابغ	29.066
٤	الكامل	35.25	٩	بحيرة سد رابغ	33.24
٥	المدينة المنورة	20.56	١٠	جدة	37.35

المصدر/ وزارة البيئة والمياه والزراعة، المملكة العربية السعودية، ٢٠٢٢م.

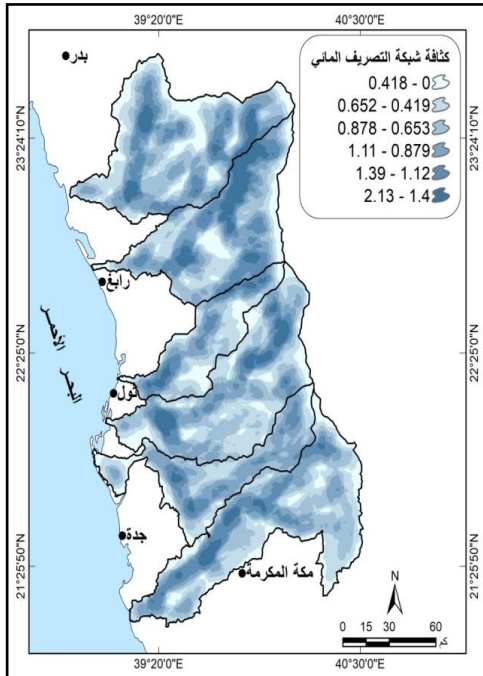


شكل (١٥) المتوسطات السنوية لكميات الأمطار في الفترة بين (١٩٩٢-٢٠٢٢)

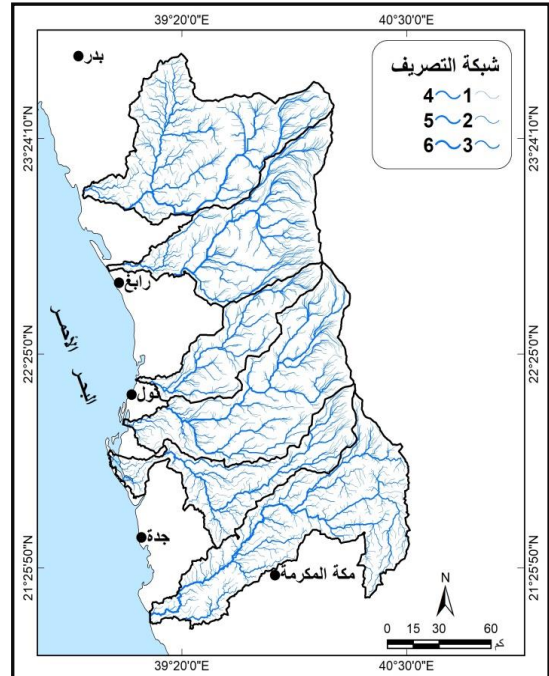
هـ - معامل كثافة التصريف:

تُعد كثافة شبكة التصريف عامل أساسي يجب مراعاته في تخطيط حصاد مياه الأمطار، وبشكل عام يرتبط التدفق المائي المنخفض بالمناطق الأعلى نفاذية وقدرات تسرب مائي مرتفعة؛ لذا يكون لتحديد كثافة شبكة التصريف بدقة أهمية كبيرة عند تصميم نظم ((RWH) Rai et al. 2017).

وتم حساب كثافة شبكة التصريف المائي بمنطقة الدراسة باستخدام أداة Kernal داخل برنامج Arc GIS 10.80.2 - شكلي (١٦-١٧)، وتبين أن كثافة التصريف المائي تتراوح بين صفر و ٢.١٣ بمتوسط ٠.١٨ وانحراف معياري ٠.٣٥ وتزداد بأحواض رايع، خليص، وقديد.



المصدر/ أداة Kernal في برنامج Arc
شكل(١٧) كثافة شبكة التصريف المائي



المصدر/ التحليل الهيدرولوجي في برنامج
شكل(١٦) شبكة التصريف المائي

و- معامل عمق المياه:

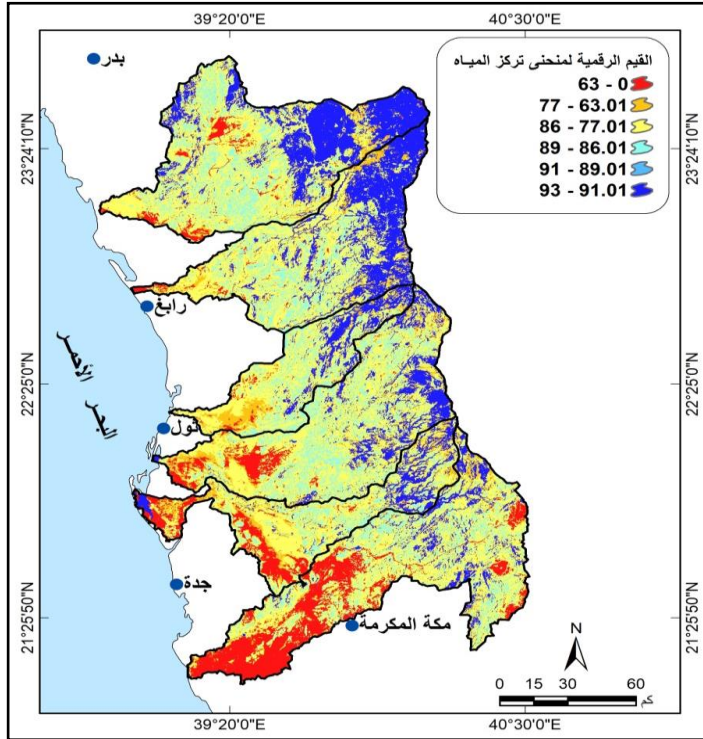
عند التحديد الأنسب لمواقع RWH المناسبة يؤخذ طبقة عمق الجريان السطحي لكل بكسل (خلية) في منطقة الدراسة، ولتحقيق ذلك تم استخدام طريقة حفظ التربة الأمريكية لحساب المنحنى رقم (SCS-CN) (CN)، والذي يُستخدم لحساب نموذج عمق الجريان السطحي (ملم)، وقامت بإعداده وزارة الزراعة الأمريكية ٢٠٢٠م، (Matomela et al.2020)، واعتمد هذا النموذج بشكل أساسي على قيم المنحنى (CNs) الذي تم إعداده بناء على طبقتي: استخدام الأراضي/ الغطاء الأرضي والمجموعات الهيدرولوجية للتربة (HSG).

وفي إعداد قيم CNS تم دمج طبقتي الغطاءات الأرضية والمجموعات الهيدرولوجية للتربة في برنامج Arc GIS10.80.2 تبعاً لجدول (٥)، واشتملت طبقة الغطاءات الأرضية على خمس فئات تصنيفية تشمل: منكشفات صخرية، تربة جرداء، رواسب خشنة مفككة، رواسب رملية، ورواسب فيضية - شكل (١٣).

جدول (٥) قيم CNS المقابلة لغطاءات الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة

المجموعات الهيدرولوجية				الغطاء الأرضي
D	C	B	A	
٩٣	-	-	-	صخور مكشوفة
-	٩١	٨٦	٧٧	تربة جرداء
-	٨٩	٨٥	٧٦	رواسب خشنة مفككة
٩٨	٩٨	٩٨	٩٨	طرق ومواقف اسفلتية واسقف مباني
٨٨	٨٥	٧٧	٦٣	غطاء نباتي بحالة فقيرة
٨٦	٨١	٧٢	٥٥	غطاء نباتي بحالة جيدة

After: USDA, 1986, P.24

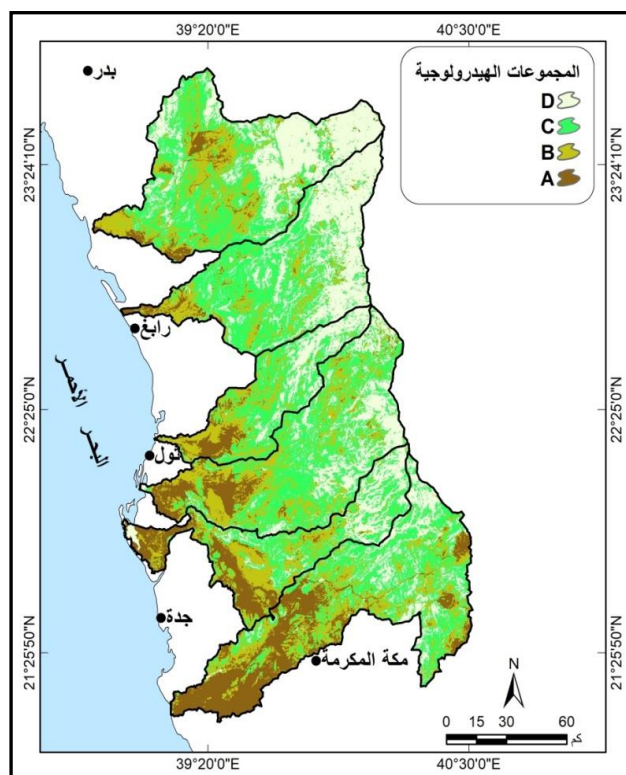


المصدر/ نموذج الجريان المائي في برنامج Arc GIS10.8.2
شكل (١٨) قيم منحني الموزونة CNS في بمنطقة الدراسة

وقد تم تحديد المجموعات الهيدرولوجية لأحواض منطقة الدراسة - جدول (٦)،
وشكل (١٩) - تبعاً للتصنيف العالمي للمجموعات الهيدرولوجية للتربة Hydrological
(Soil Groups (HSG).

جدول (٦) المجموعات الهيدرولوجية للتربة بمنطقة الدراسة		
نوع التربة	عمق الجريان	المجموعة الهيدرولوجية
طبقة رملية عميقة مع محتوى قليل من من الطين والغرين	قليل	A
طبقة طينية غير سميقة مع معدل تسرب متوسط	متوسط	B
طبقة طينية محدودة العمق مع معدل تسرب دون المتوسط أو طبقة صخرية مغطاة بطبقة من التربة	فوق المتوسط	C
طبقة طينية سميقة مغطاة بطبقة غير سميقة من الغرين الدقيق أو طبقة صخرية عارية	مرتفع	D

After: USDA, 1986, P.24

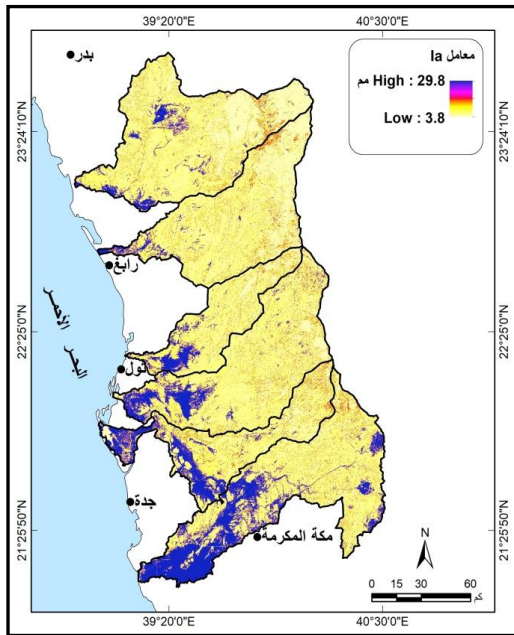


المصدر/ تصنيف التربة تبعا لجدول (٦) في برنامج Arc GIS10.8.1
شكل (١٩) المجموعات الهيدرولوجية للتربة بمنطقة

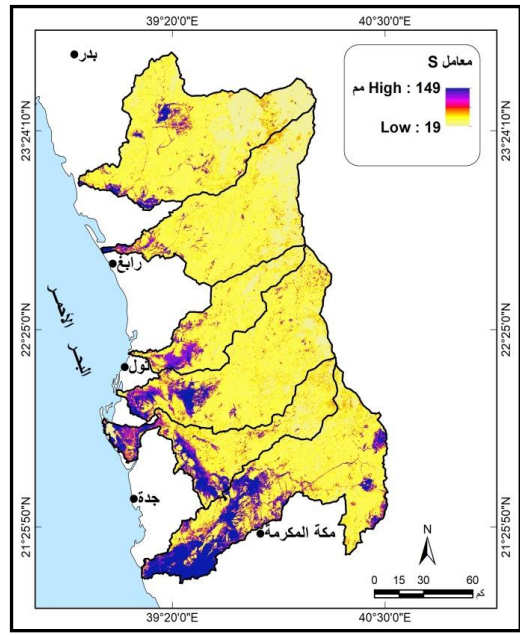
وتم حساب قيم منحنيات الجريان المائي الموزونة ويرمز لها بالرمز CNS - شكل (١٨)، وتراوحت هذه القيم بين ٦٣ و ٩٣، وتزداد هذه القيم بالمناطق الجبلية شرق وجنوب شرقي منطقة الدراسة، بينما تتخفف في غرب المنطقة، خاصة في مواقع تكوينات الرواسب الرملية والطفلية الرملية. وتم حساب معامل الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء (سمك التربة المشبعة بالمياه/ ملم) : s Potential Maximum Retention After Runoff ويعبر هذا المعامل عن الإمكانية القصوى بالإحتفاظ بالمياه أو الحالة التشبعية للتربة بعد بدء الجريان السطحي أي بعد توقف التسرب، وتم حساب قيمة هذا المعامل من خلال المعادلة الخاصة به (معادلة رقم ٣)، ويختلف سُمك

التربة المتشعبة بالمياه تبعاً لنوع التربة، وبالتالي هذا المعامل ذو علاقة بنوع التربة وأثرها في الاحتفاظ بالمياه على السطح بعد بدء الجريان السطحي - شكل (٢٠).

وتتراوح قيم معامل الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بأحواض التصريف المائي بمنطقة الدراسة بين ٩ ملم و ١٤٩ ملم. وتلي ذلك حساب معامل الاستخلاص الأولي (Initial abstraction) (Ia) الذي يعبر عن مقدار الفاقد الأولي من مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي، ويرتبط هذا المعامل بخصائص التربة وغطاءات الأرض، وذلك لاعتماده على معامل (S) ويعبر هذا المعامل عن $1/5$ قيمة التشبع، وتُشير القيم المنخفضة له أي التي تقترب من الصفر إلى قلة الفاقد من مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي مما يساعد على سرعة تولد الجريان السطحي، وتم حساب هذا المعامل من خلال المعادلة الخاصة به (معادلة رقم ٤) ويتضح من شكل (٢١) تراوح قيمة معامل الاستخلاص الأولي بين ٣.٨ مم و ٢٩.٨ ملم.

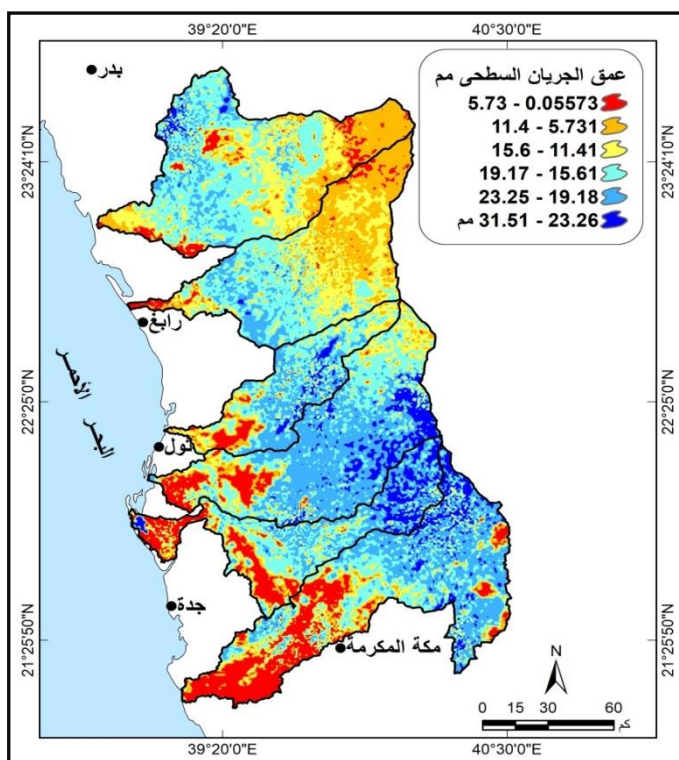


شكل (٢١) معامل الاستخلاص الأولي للمياه



شكل (٢٠) معامل احتفاظ التربة بالمياه

ومن خلال الحصول على طبقتي شُمك التربة المشبعة بالمياه ومعامل الاستخلاص الأولي باستخدام برنامج Arc GIS 10.8.2 تم الحصول على طبقة عمق مياه الجريان السطحي (Q) بالمليمتر لأحواض المنطقة من خلال المعادلة الخاصة بها (معادلة رقم ٢) وشكل (٢٢)، ويتضح أن عمق المياه يتراوح بين (٠.٠٥٥ - ٣١.٥١ ملم)، ونلاحظ زيادة عمق المياه بأحواض (گران - خليص - فاطمة).



المصدر/ نموذج الجريان المائي في برنامج Arc GIS10.8.2
شكل (٢٢) عمق مياه الجريان السطحي (ملم) بمنطقة الدراسة

ثالثاً: تحليل المعطيات الجغرافية وبناء نموذج الملاءمة المكانية:

لإنتاج خريطة حصاد مياه الأمطار (RWH) المحتملة باستخدام ArcGIS 10.8.2 تم الاعتماد على عملية التسلسل الهرمي (AHP) من خلال دمج مجموعة من المعايير المدخلة في التحليل (Yin et al. 2020)، وتمتلك تقنية التقييم متعدد المعايير (MCDA) أهمية كبيرة في اختيار مواقع حصاد مياه الأمطار المناسبة (RWH)، وتضم هذه المنهجية الشاملة عديداً من الخطوات الضرورية بدءاً من توحيد مقاييس الطبقات الرقمية، متبوعة بتخصيص الأهمية النسبية لها، يليها وضع الأوزان المرجحة (Al-Hanbaliet al. 2011).

واعتمد التحليل الهرمي على المعطيات المكانية التي حددتها منظمة (FAO)، وضمت مجموعة من العوامل المؤثرة هي: كمية تساقط الأمطار (RF)، عمق الجريان المائي (RD)، الانحدار (SL)، نسيج التربة (ST)، كثافة الصرف (DD)، والغطاء الأرضي/ استخدام الأراضي (Lulc)، وتم دمج هذا التحليل مع عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) بحسب دراسة (Saaty TL, 2008)، وتم إعداد مصفوفة المقارنة الزوجية للمعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار - جدول (٧)، وتم تطبيق هذه الاستراتيجية في دراسات بحثية سابقة (Naseef and Thomas, 2016).

جدول (٧) مصفوفة المقارنة الزوجية للمعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار						
المتغيرات	RF	RD	SL	DD	ST	LULC
RF	1	1	2	2	4	6
RD	1	1	5	2	4	6
SL	0.5	0.2	1	1	2	4
DD	0.5	0.5	1	1	2	4
ST	0.25	0.25	0.5	0.5	1	2
LULC	0.17	0.17	0.25	0.25	0.5	1

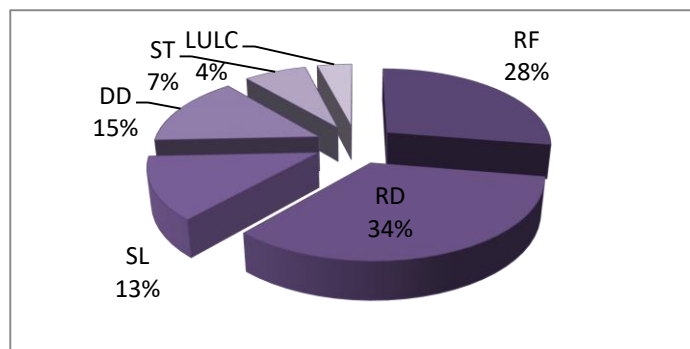
المصدر/ التحليل الهرمي (AHP) للمعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة.

كما تم تحديد القيمة الرقمية للوزن النسبي لكل معيار - جدول (٧-٨)، وبلغت نسبة تناسق التحليل Consistency Ratio التي تعبر عن النسبة الناتجة عن قسمة مؤشر التناسق Consistency Index ومؤشر العشوائية Random Index 2% وهي دقة مرتفعة بحسب مقياس (Saaty, 2008) فعندما تكون نتيجة التحليل الهرمي أقل من ١٠% تكون النتائج متناسقة ومحاكية للواقع.

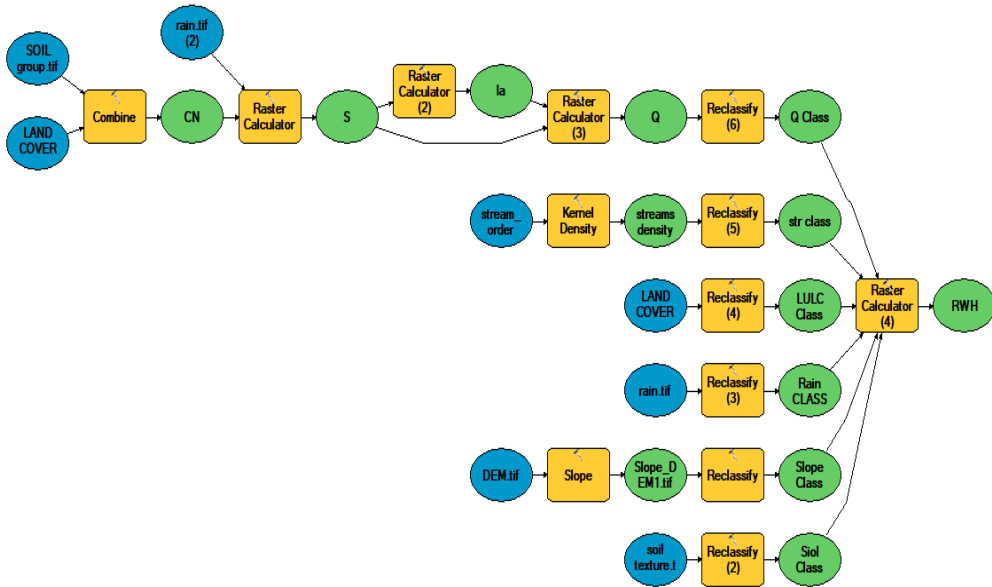
Cat	Priority	Rank	(+)	(-)
1	RF	27.60%	2	3.30%
2	RD	33.90%	1	14.40%
3	SL	12.80%	4	3.20%
4	DD	14.50%	3	1.50%
5	ST	7.20%	5	0.70%
6	LULC	4.00%	6	0.90%

المصدر/ التحليل الهرمي (AHP) للمعطيات المكانية الخاصة بالدراسة عبر الويب.
AHP Priority Calculator [https:// bpmmsg.com/ ahp/ ahp-calc.php](https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php)

ومن خلال تحديد الأوزان المرجحة يتضح أن عمق الجريان المائي (ملم) العامل أكثر تأثيرًا في حصاد مياه الأمطار بنسبة ٣٣.٩٠% من الوزن الكلي، يليه متوسط سقوط الأمطار بنسبة ٢٧.٦٠% من الوزن الكلي، ثم كثافة التصريف المائي بنسبة ١٤.٥٠%، يليه معامل الانحدار بنسبة ١٢.٨٠%، بينما نسيج التربة والغطاء الأرضي ٧.٢٠% و ٤.٠٠% على التوالي - جدول (٨) وشكل (٢٣).



شكل (٢٣) النسب المئوية لأوزان المعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة



شكل (٢٤) نموذج الملاءمة المكانية لتحديد المواقع الأنسب لحصاد مياه الأمطار في بيئة GIS

تم إعطاء جميع الطبقات الموضوعية نفس حجم الخلية (٣٠م) باستخدام أداة إعادة التصنيف Reclassify (إدارة البيانات) في ArcGIS 10.8.2 وتوحيد نظام الإحداثيات لمنطقة الدراسة (UTM-WGS84، حيث تقع في نطاق 37 Norh)؛ إضافة إلى ذلك تم تعيين قيمه وزنية لكل طبقة رقمية بناءً على مراجعة البحوث ذات الصلة وآراء الخبراء وباستخدام تقنية التحليل الهرمي (AHP). تلي ذلك دمج الطبقات الموزونة المتعددة لإنتاج الطبقة النهائية باستخدام أداة (Weighted Overlay) في برنامج Arc GIS 10 وبناء نموذج الملاءمة المكانية لحصاد مياه الأمطار داخل نافذة Model Builder ببرنامج Arc GIS - شكل (٢٤) - بالاعتماد على معايير الملائمة وأوزان الطبقات، تلي ذلك تصنيف الطبقة المنتجة بما يتناسب مع طبيعة منطقة الدراسة - جدول (٩) وشكل (٢٥).

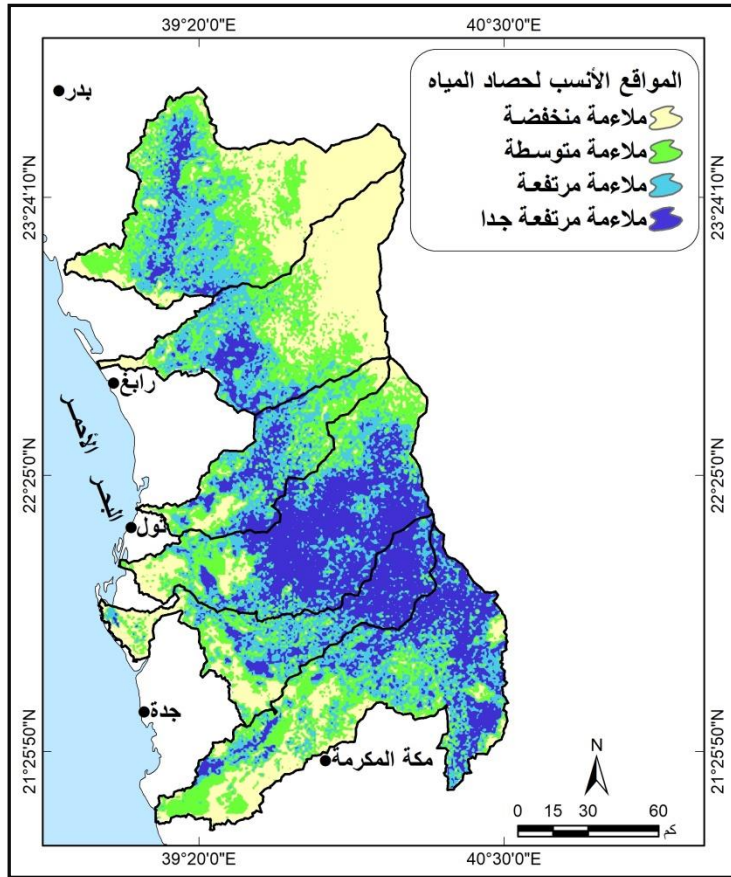
جدول (٩) معايير الملائمة وأوزان الطبقات للمعطيات المكانية

م	المعطيات المكانية	الفئات	القيم	الرتبة
١	كمية الأمطار (مم)	ملاءمة منخفضة جداً	٢١.٣٥ - ١٧.٢٧	٦
		ملاءمة منخفضة	٢٥.٤٣ - ٢١.٣٦	٥
		ملاءمة متوسطة	٢٩.٥١ - ٢٥.٤٤	٤
		ملاءمة فوق متوسطة	٣٣.٥٩ - ٢٩.٥٢	٣
		ملاءمة عالية	٣٧.٦٧ - ٣٣.٦	٢
		ملاءمة عالية جداً	٤١.٧٥ - ٣٧.٦٨	١
٢	عمق التساقط المطري (مم)	ملاءمة منخفضة جداً	٥.٧٣ - ٠.٥٥٧٣	١
		ملاءمة منخفضة	١١.٤ - ٥.٧٣١	٢
		ملاءمة متوسطة	١٥.٦ - ١١.٤١	٣
		ملاءمة فوق متوسطة	١٩.١٧ - ١٥.٦١	٤
		ملاءمة مرتفعة	٢٣.٢٥ - ١٩.١٨	٥
		ملاءمة مرتفعة جداً	٣١.٥١ - ٢٣.٢٦	٦
٣	الانحدار (بالدرجات)	ملاءمة مرتفعة جداً	١.٦٦٨ - ٠	٦
		ملاءمة مرتفعة	٤.٠٩٤ - ١.٦٦٩	٥
		ملاءمة فوق متوسطة	٧.٥٨١ - ٤.٠٩٥	٤
		ملاءمة متوسطة	١٢.٢٨ - ٧.٥٨٢	٣
		ملاءمة منخفضة	١٨.٨ - ١٢.٢٩	٢
		ملاءمة منخفضة جداً	٣٨.٦٦ - ١٨.٨١	١
٤	كثافة شبكة التصريف (كم/كم ^٢)	ملاءمة منخفضة جداً	٠.٣٦ - ٠	١
		ملاءمة منخفضة	٠.٧١ - ٠.٣٧	٢
		ملاءمة متوسطة	١.١ - ٠.٧٢	٣
		ملاءمة فوق متوسطة	١.٤ - ١.٢	٤
		ملاءمة مرتفعة	١.٨ - ١.٥	٥
		ملاءمة مرتفعة جداً	٢.١ - ١.٩	٦
٥	نسيج التربة	ملاءمة مرتفعة جداً	طفل رملي	٦
		ملاءمة منخفضة جداً	صخور جرداء	١
		ملاءمة منخفضة جداً	رملية	١
		ملاءمة مرتفعة	رمل صلصالي	٤
٦	الغطاء الأرضي	ملاءمة منخفضة جداً	منكشفات صخرية	١
		ملاءمة منخفضة جداً	تربة جرداء	١
		ملاءمة مرتفعة	رواسب خشنة مفككة	٦
		ملاءمة منخفضة جداً	رواسب رملية	١
		ملاءمة مرتفعة	رواسب فيضية	٥

رابعاً: تحليل الخريطة المنتجة لحصاد مياه الأمطار (RWH) المحتملة:

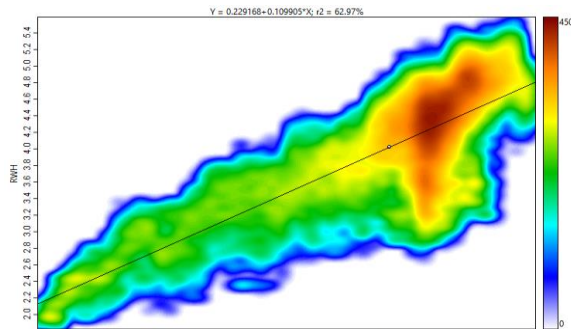
تم إنتاج الخريطة الرقمية لحصاد مياه الأمطار المحتملة في منطقة الدراسة باستخدام تحليلات (MCDM) اعتماداً على المعايير التي وضعتها منظمة الأغذية والزراعة العالمية (FAO (Ammar et al, 2016) لتحقيق الهدف الأساسي من الدراسة، وهو تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار المحتملة لدعم إدارة الموارد المائية، وذلك تبعاً لدراسة (Al-Ghobari et al. 2021) حيث استخدم نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لتحديد مواقع RWH المناسبة في المنطقة شبه الجافة من وادي النعام بالمملكة العربية السعودية، وبلغت مواقع حصاد مياه الأمطار ذات الإمكانية المرتفعة نحو ٤٠٪ من إجمالي المساحة الكلية لمنطقة الدراسة بوادي النعام، وفي حالة أخرى استخدم (Khan et al. 2022) تقنية GEO-HEC ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد المواقع الهيكلية المناسبة لحصاد مياه الأمطار في المناطق شبه الجافة في باكستان لتحقيق الهدف الرئيسي وهو تحديد طريقة عامة لإختيار مواقع RWH المناسبة بناءً على الأساليب التي تم تطويرها طوال العقود الثلاثة الماضية، حيث يعتمد نجاح أنظمة RWH بشكل كبير على تحديد المواقع المناسبة لحصاد المياه وعلى تصميمها الفني (Al-Adamat et al., 2012).

وفي ذلك تم بناء نموذج الملاءمة المكانية في بيئة برنامج Arc GIS 10.8.2 واعتمد النموذج على المبدأ الأساسي للمتوسطات المرجحة من خلال التحليل الهرمي، حيث يكون وزن كل معامل مضروباً في درجة الإتساق المقابلة، وبدءاً من توحيد أوزان المعايير للمعطيات المكانية متبوعة بتخصيص الأهمية النسبية لهذه المعطيات، والدمج تم الحصول على طبقة رقمية (Raster) توضح درجة الملاءمة المكانية لمواقع حصاد مياه الأمطار المحتملة - شكل (٢٥)، وتم تصنيف هذه الطبقة إلى أربع فئات، تشمل: ملاءمة مرتفعة جداً، ملاءمة مرتفعة، ملاءمة متوسطة، وملاءمة منخفضة.



المصدر/ تحليلات النمذجة في برنامج Arc GIS10.8.1

شكل (٢٥) تصنيف منطقة الدراسة تبعا لملاءمتها لحصاد مياه الأمطار RWH



شكل (٢٦) رسم بياني يوضح معامل الارتباط بين طبقتي كمية الأمطار ومواقع حصاد مياه الأمطار .

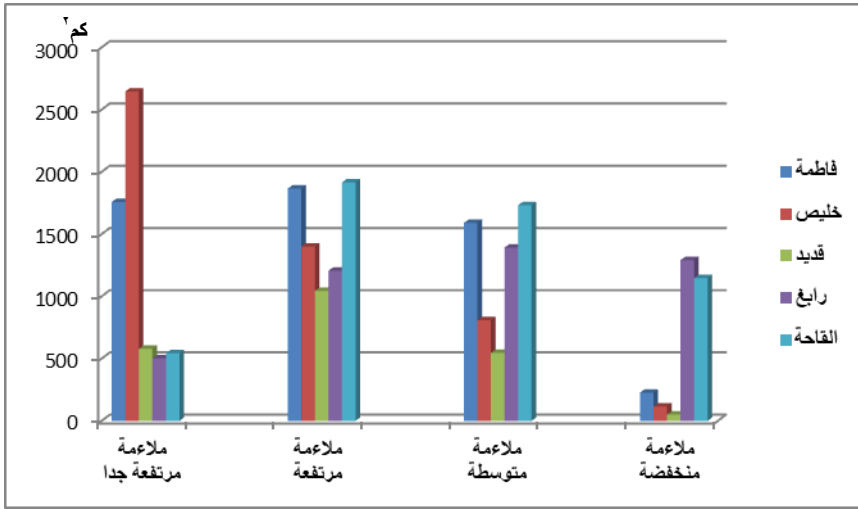
جدول (١٠) الخصائص المساحية لفئات الملازمة المكانية لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة					
المتغير	ملاءمة منخفضة	ملاءمة متوسطة	ملاءمة مرتفعة	ملاءمة مرتفعة جدا	المجموع
فاطمة	225.80	1589.47	1865.27	1757.64	5438.18
%	4.15	29.23	34.30	32.32	100.00
گران	162.50	589.34	942.14	1174.07	2868.05
%	5.67	20.55	32.85	40.94	100.00
خليص	114.38	807.53	1399.38	2645.66	4966.95
%	2.30	16.26	28.17	53.27	100.00
قديد	49.68	544.70	1043.80	577.81	2216.00
%	2.24	24.58	47.10	26.07	100.00
رابغ	1291.70	1391.73	1206.23	500.82	4390.47
%	29.42	31.70	27.47	11.41	100.00
القاحة	1145.58	1732.08	1915.12	543.12	5335.90
%	21.47	32.46	35.89	10.18	100.00
مجموع	2827.14	6065.51	7429.80	6025.05	22347.50
%	12.65	27.14	33.25	26.96	100.00

المصدر/ تحليلات النمذجة داخل برنامج Arc GIS10 للمعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار.

ويتضح من نتائج شكلي (٢٨-٢٧) وجدول (١٠) الخاصة بتحليل ملاءمة منطقة الدراسة لحصاد مياه الأمطار الآتي:

- الفئة الأولى (ملاءمة مرتفعة جدًا): وتضم مساحة ٦٠٥٢.٠٥ كم^٢ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة بنسبة ٢٦.٩٦٪، وهذا يجعل لمنطقة الدراسة إمكانات كبيرة في تعزيز الاستفادة من الموارد المائية المتجددة، ويُعد حوض وادي خليص أكثر المواقع في إمكاناته المائية، حيث بلغت مساحة المواقع ذات الملائمة المكانية المرتفعة جدا ٢٦٤٥.٦٦ كم^٢ بنسبة ٥٣.٢٧٪ من مساحته الإجمالية، يليه حوض غران حيث بلغت مساحة المواقع ذات الملائمة المكانية المرتفعة جدًا نحو ١١٧٤.٠٧ كم^٢ بنسبة ٤٠.٩٤٪ من مساحته الكلية، يليه حوض فاطمة ١٧٥٧.٦٤ كم^٢ بنسبة ٣٢.٣٢٪ من مساحته الكلية.

- الفئة الثانية (ملاءمة مرتفعة): وبلغت مساحة فئة الملاءمة المرتفعة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة نحو ٧٤٢٩.٨٠ كم^٢ بنسبة ٣٣.٢٥% من إجمالي المساحة الكلية بمنطقة الدراسة، وجاء في مقدمة هذه الفئة حوض القاحة في الشمال بمساحة تبلغ ١٩١٥.١٢ كم^٢ من المساحة الكلية لأحواض منطقة الدراسة، مما يجعل لهذا الحوض إمكانات كبيرة في التوسع في حصاد المياه به، يليه وادي فاطمة بمساحة تصل ١٣٩٩.٣٨ كم^٢ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، ثم وادي خليص بمساحة ١٣٩٩.٣٨ كم^٢ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، يليه وادي رابغ بمساحة ١٢٠٦.٢٣ كم^٢ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.
- الفئة الثالثة (ملاءمة متوسطة): وتصل مساحة المواقع ذات الملائمة المتوسطة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة ٦٠٦٥.٥١ كم^٢ بنسبة ٢٧.١٤% من إجمالي مساحة المنطقة، وجاء في مقدمة هذه الفئة حوض القاحة في الشمال بمساحة تبلغ ١٧٣٢.٠٨ كم^٢ من المساحة الكلية لأحواض منطقة الدراسة بنسبة ٣٢.٤٦%، في حين جاء في الترتيب الأخير حوض وادي قديد بمساحة تبلغ ٥٤٤.٧٠ كم^٢ من المساحة الكلية لأحواض منطقة الدراسة.
- الفئة الرابعة (ملاءمة منخفضة): وتصل مساحة المواقع ذات الملائمة المنخفضة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة ٢٨٢٧.١٤ كم^٢ بنسبة ١٢.٦٥% من إجمالي مساحة المنطقة، ومن خلال هذا العرض يتضح مدى إمكانية التوسع في حصاد مياه الأمطار في منطقة الدراسة لتعزيز الاستفادة منها نحو المساهمة في تلبية الاحتياجات المائية في الشرب والزراعة.



شكل (٢٧) رسم بياني يوضح درجات الملائة المكانية لحصاد مياه الأمطار RWH بمنطقة الدراسة

خامساً: المواقع المقترحة للسدود وبحيرات تخزين المياه بمنطقة الدراسة:

تُعد منطقة الدراسة من المناطق الواعدة بالتنمية المكانية لما لها من موقع مميز بالنسبة لبقية أقاليم المملكة العربية السعودية، حيث تتوجه التنمية نحوها في مجالات الزراعة والصناعة والتنمية العمرانية، وبالتالي تزايد مستوى الطلب بشكل مستمر على حصاد مياه الأمطار والتوسع في السدود بشكل كبير، مما جعل الدراسة تعتمد بشكل كبير على استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) بالاقتران مع إنشاء نموذج للملائة المكانية لتحديد المواقع الأنسب للسدود. واستخدمت الدراسة ستة عوامل مؤثرة للعثور على مواقع السدود المناسبة، مع اقتراح وتقييم مسار ملائة النموذج وخرائط مخرجات الملائة الشاملة وتقييمها. وفيما يلي عرض المعاملات المدخلة في التحليل ومعالجتها:

١- معامل الانحدار:

يُعد من العوامل الأساسية لإختيار مواقع السدود المناسبة، حيث يؤثر بشكل كبير على حجم الجريان السطحي وإعادة التغذية وحركة المياه السطحية بالإضافة إلى كمية

الترسيب أمام السد (Adham et al. 2016) وتم إنشاء طبقة الانحدار باستخدام أداة Slope في برنامج ArcGIS اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي، وتبعًا لشكل (١٠) تتراوح انحدارات منطقة الدراسة بين الأراضي المستوية و٣٨.٦٦ درجة.

٢- معامل حجم التصريف المائي:

تم استخدام طريقة (SCS-CN) في هذه الدراسة، وهي طريقة شائعة الاستخدام لتقدير حجم الجريان السطحي المباشر لإنشاء خريطة عمق الجريان السطحي لأحواض التصريف المياه (USDA 1972). وتم حساب حجم التصريف المائي لمنطقة الدراسة على مستوى كل بيكسل والمساحة الكلية للأحواض بالاعتماد على نموذج قيم منحني الجريان المائي SCS-CN - المعادلة رقم (١)، ومن خلال جدول (١١) وشكل (٣٠)، تبين أن حجم الجريان السطحي يتراوح بين ٣م^٣ ٦٨٩٣١٠٧٨.٥٣ لحوض وادي قديد و ٣م^٣ ١٦٤٤٨٦٥٧٤.١ لحوض خليص، ويصل المجموع السنوي لحجم مياه الجريان السطحي بمنطقة الدراسة نحو ٧٣٠٥٩٠٢٧٧.٤ م^٣، وهي كمية كبيرة تصبح ذات قيمة في حالة المحافظة عليها.

جدول (١١) حجم المياه المحتملة (م^٣/ السنة) بأحواض منطقة الدراسة

الحوض	المساحة كم ^٢	متوسط حجم التصريف م ^٣ / السنة	إجمالي حجم التصريف م ^٣ / السنة
خليص	5011502435	15960.27	164486574.1
فاطمة	5524031405	13245.22	150465802.6
القحاح	5398087379	13192.09	146445430.2
رابغ	4464934539	12359.23	113482468.5
گران	2933182873	14386.42	86778923.45
قديد	2240733866	14959.00	68931078.53
مجموع	25572472497	84102.23	730590277.4

المصدر/ تبعًا لنموذج حساب الجريان السطحي SCS-CN

٣- معامل مسافة الوصول إلى الطرق:

تم إنشاء طبقة مسافة الوصول إلى الطرق بواسطة أداة المسافة الإقليدية في برنامج ArcGIS، حيث تُعد شبكات الطرق عاملاً أساسياً لاختيار المواقع المناسبة للسدود فهي أحد المعايير الاجتماعية والاقتصادية المؤثرة لاختيار الموقع، فمن المفترض أن المواقع الواقعة بعيداً عن شبكات الطرق تقل درجة ملاءمتها نسبياً لبناء السدود لأن بناء طرق الوصول يكون مكلفاً جداً ويؤثر على عملية الإدارة (Njiru & Siriba, 2018)، وقد تم تصنيف طبقة المسافة لخريطة الطرق بمنطقة الدراسة إلى خمس فئات - شكل (٢٩).

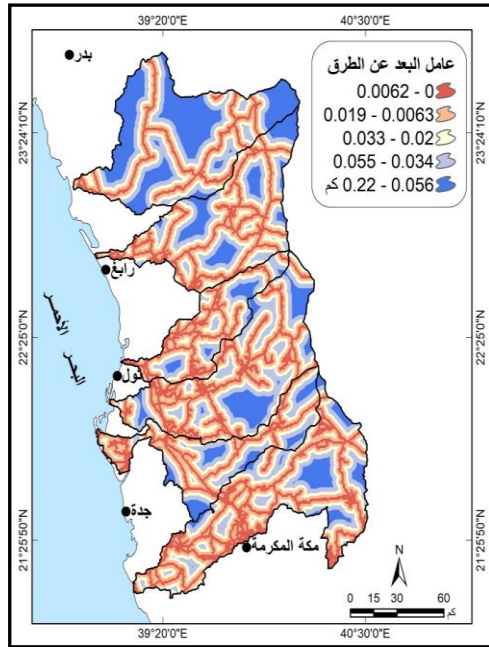
٤- معامل الأمطار:

تم جمع بيانات تساقط الأمطار لمدة ٢٥ عاماً من محطات (جدة - مكة المكرمة- الطائف - ثول - رابغ - بدر المدينة المنورة) داخل وحول أحواض التصريف المائي لمنطقة الدراسة، وتم حساب المتوسط لكل محطة واستيفاءها تبعاً لنموذج (SPLINE) في برنامج ArcGIS - شكل (١٤).

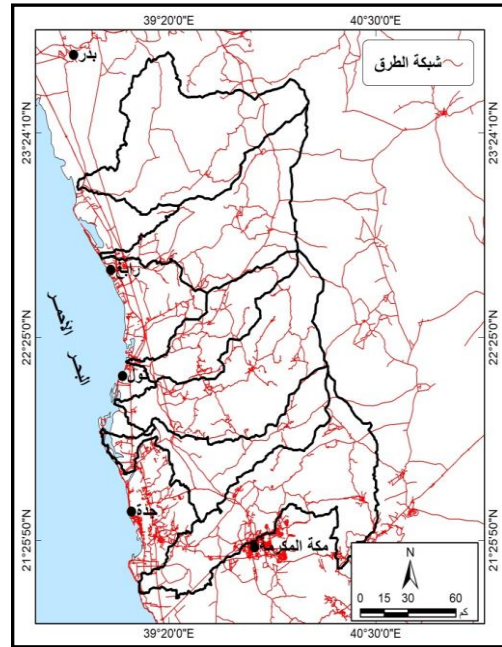
٥- معامل عمق المياه:

يعد معامل عمق المياه أحد المحددات المكانية في إختيار مواقع السدود، وتم تحديد متوسط عمق الجريان السطحي السنوي باستخدام طريقة SCS-CN، وترواحت بين ٠.٠٥م و ٣١.٥٥م - شكل (١٣).

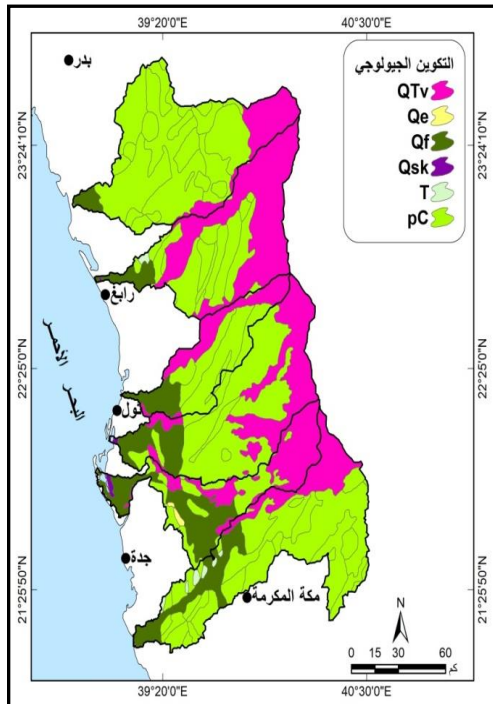
الجدوى الاقتصادية لحصاد مياه الأمطار غربي المملكة العربية السعودية
دراسة جغرافية باستخدام التقنيات الجيومكانية والتحليل متعدد المعايير



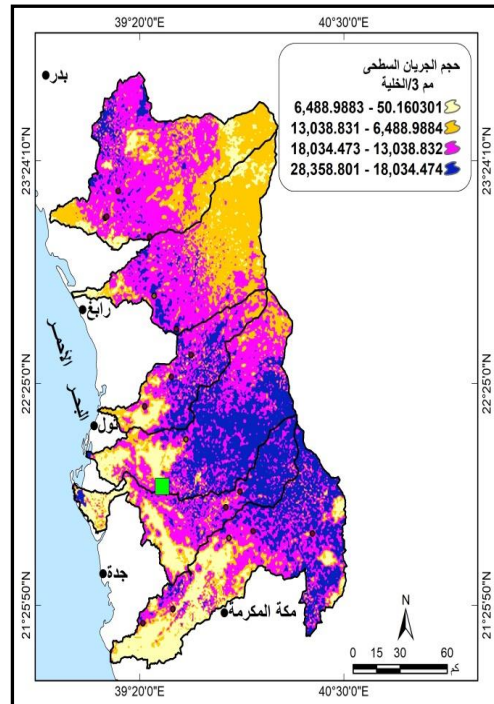
شكل (٢٩) عامل البعد من الطرق بمنطقة الدراسة



شكل (٢٨) شبكة الطرق بمنطقة الدراسة



شكل (٣١) التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة



شكل (٣٠) حجم التصريف المائي بمنطقة الدراسة

٦- معامل الغطاءات الأرضية :

يُعد الغطاء الأرضي سمة أساسية في توليد الجريان السطحي (Jha et al. 2014)، حيث يؤثر على سرعة المياه، وعملية التسرب، والتبخر، وتوضح خريطة الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة - شكل (١٣) - أن هناك خمس فئات تشمل: منكشفات صخرية، تربة جرداء، رواسب خشنة مفككة، رواسب رملية، ورواسب فيضية.

٧- معامل التكوين الجيولوجي:

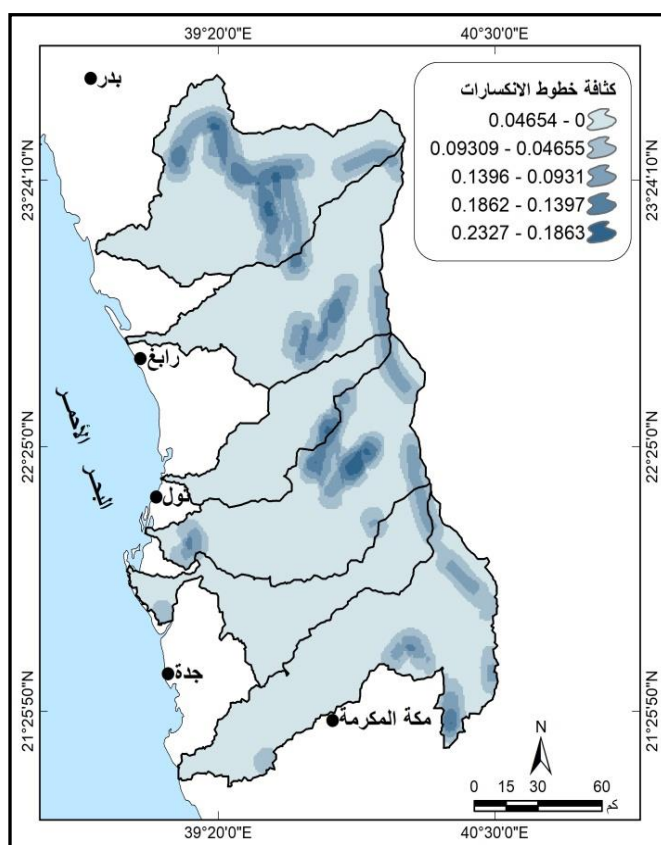
يؤثر التكوين الجيولوجي ونوع الصخور داخل منطقة معينة على نفاذية السد والتي تشمل قدرة السد على الاحتفاظ بالمياه (Marinos et al. 1997). وتعتبر الأساسات لبناء السدود أفضل على الصخور النارية والصخور المتحولة الصلبة مثل الجرانيت والنيس والكوارتزيت وما إلى ذلك، وقد تم جمع السمات الجيولوجية لمنطقة الدراسة من هيئة المسح الجيولوجي السعودية- شكل (٣١)، وتتكون المنطقة جيولوجيًا من عدة تكوينات هي: صخور بركانية تنتمي للعصر البرمي (QTV)، صخور جيرية تنتمي للزمن الرابع (Qe)، رواسب سبخية تنتمي للزمن الرابع (Qf)، صخور طباشيرية تنتمي للكريتاسي (Qsk)، وصخور جرانيت، وصخور رسوبية ذات نشأة بحرية (T) وصخور جرانيت ما قبل الكمبري (pC)، وتم إعادة تصنيف الخريطة الجيولوجية إلى ستة فئات تصنيفية، وتعد فئة صخور جرانيت ما قبل الكمبري (pC) الفئة المفضلة وذلك للتقليل من تسرب المياه يليها فئة الصخور البركانية التي تنتمي للعصر البرمي (QTV).

٨- معامل منحني الجريان المائي CN :

يتم تحديد CN بناءً على مجموعة التربة الهيدرولوجية والغطاء الأرضي لأحواض التصريف المائي اعتمادًا على فئات LULC لمجموعات التربة الهيدرولوجية A و B و C و D، وتتراوح قيم CN في منطقة الدراسة بين ٣٥ و ١٠٠ - شكل (١٨).

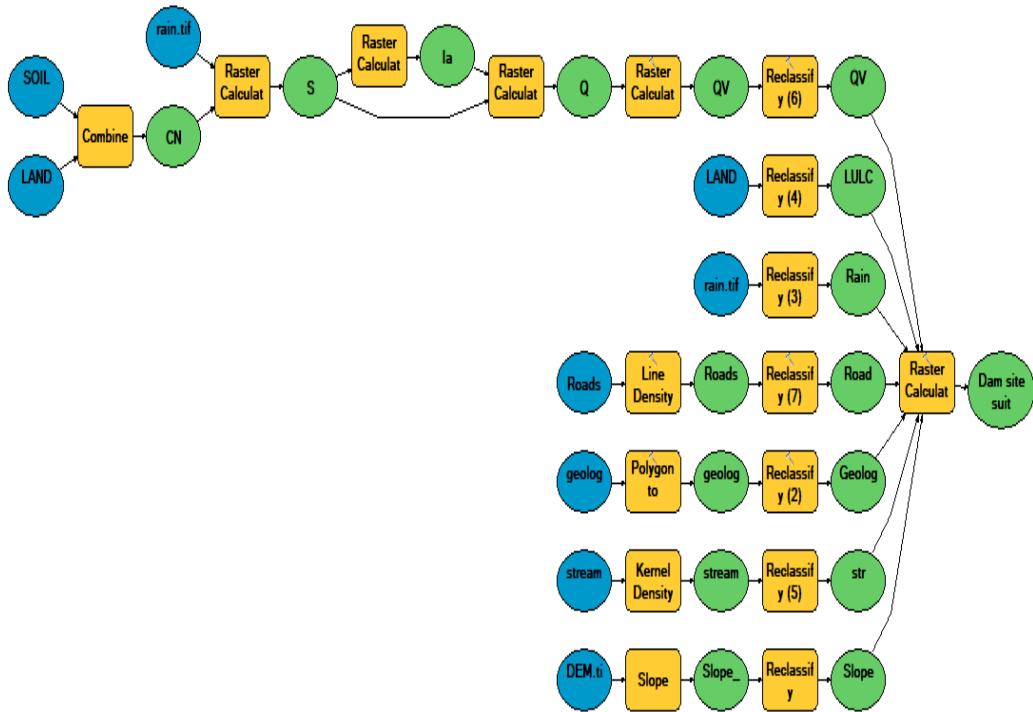
٩- معامل خطوط الانكسارات:

يؤثر على بناء السدود، حيث تعتبر مواقع خطوط الانكسارات بمثابة نقاط ضعف جيولوجي من الممكن أن يحدث بها نشاط زلزالي، وقد تم تحديد خطوط الانكسارات من خلال الخريطة الجيولوجية لمنطقتي: مكة المكرمة والمدينة المنورة وصور 8 land sat واستخدام برنامج Geomatica، تلي ذلك إنشاء خريطة توضح كثافة خطوط الانكسارات - شكل (٣٢) - وإعادة تصنيفها لإنتاج طبقة الكثافة، وتم تقسيمها إلى خمس فئات تصنيفية تعد الفئة الأقل في الكثافة وهي الفئة المفضلة تليها الفئة الثانية ثم الثالثة.



شكل (٣٢) كثافة خطوط الانكسارات بمنطقة الدراسة

وباستخدام طريقة التحليل الهرمي AHP وأداة (Weighted Overlay) في برنامج Arc GIS تم انشاء التراكم المرجح الموزون للمعطيات المكانية في نافذة Model Builder - شكل (٣٣) - وإعداد خريطة الملاءمة المكانية لبناء السدود - شكل (٣٤)، وتم تقسيم هذه الخريطة إلى أربعة مستويات من الملاءمة: مواقع مرتفعة جداً، مرتفعة، متوسطة، وأقل ملاءمة، ونتيجة لذلك تم اختيار وحدات البكسل المناسبة لإقامة السدود على مجاري الأودية بمنطقة الدراسة، مع أخذ الطبقات الأخرى في الاعتبار، مثل الانحدار، وإمكانية الجريان السطحي، وأنواع الغطاء الأرضي (LULC)، والجيولوجيا، والمسافة إلى الطرق.

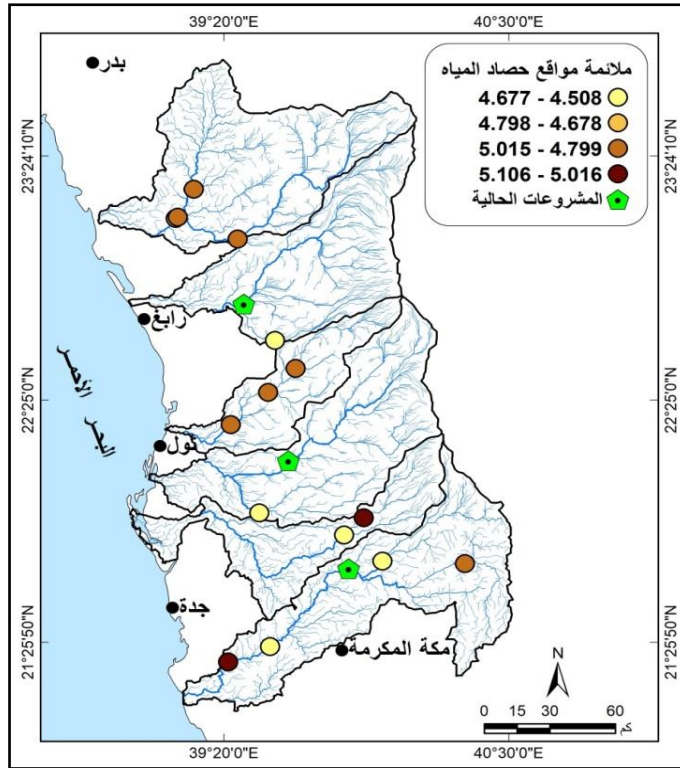


شكل (٣٣) نموذج الملاءمة المكانية لتحديد المواقع الأنسب لحصاد مياه الأمطار في بيئة GIS

جدول (١٢) إحداثيات نقاط مواقع السدود المقترحة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة				
الموقع	X	Y	درجة الملاءمة	الحالة
1	585197.9	2418387	4.636	مقترح
2	549309.1	2428257	4.636	مقترح
3	513857.9	2560249	4.798	مقترح
4	561480.9	2451802	5.43	مشروع بحيرة وسد خليص
5	521334.3	2573238	4.976	مقترح
6	514672.5	2560739	4.966	مقترح
7	537151.1	2467884	4.966	مقترح
8	542498.79	2522086	5.12	مشروع بحيرة وسد رانغ
9	552837.7	2482420	5.015	مقترح
10	564373.9	2493173	4.936	مقترح
11	601408.6	2406678	4.508	مقترح
12	593494.2	2426139	5.106	مقترح
13	539797.7	2551044	4.936	مقترح
14	587143	24032864	5.2	مشروع سد فاطمة
15	536225	2360908	5.4	مقترح
16	554050	2367920	4.677	مقترح
17	636418	2405798	4.992	مقترح
18	555583.2	2505764	4.575	مقترح

المصدر/ حسب نموذج FAO للمعطيات المكانية لحصاد مياه الأمطار المحتملة.

ويوضح الجدول (١٢) والشكل (٣٤) أن المنهجية الجيوتقنية المعتمدة في هذه الدراسة لديها قدرة عالية على تحديد المواقع المناسبة لحصاد مياه الأمطار RWH، وإختيار المواقع الأكثر ملاءمة لبناء السدود في منطقة الدراسة تم الأخذ في الإعتبار تقليل التكلفة، لذلك يتم تقليل طول الهيكل الانشائي لجسم السد إلى الحد الأدنى وزيادة عمق وقدرة منطقة التخزين (بحيرة التخزين) للتخفيف من التبخر وتجميع كمية مياه كبيرة.

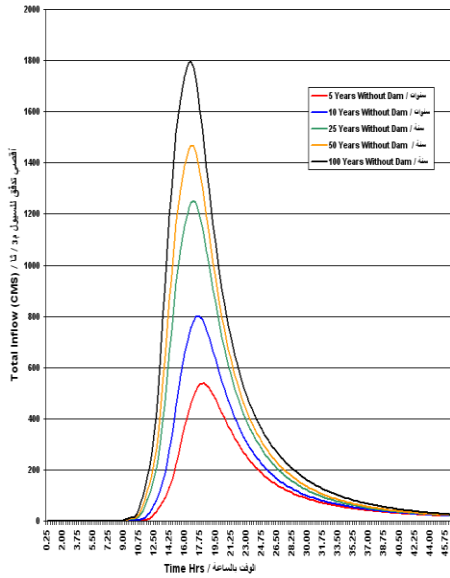


شكل (٣٤) مواقع السدود المقترحة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة

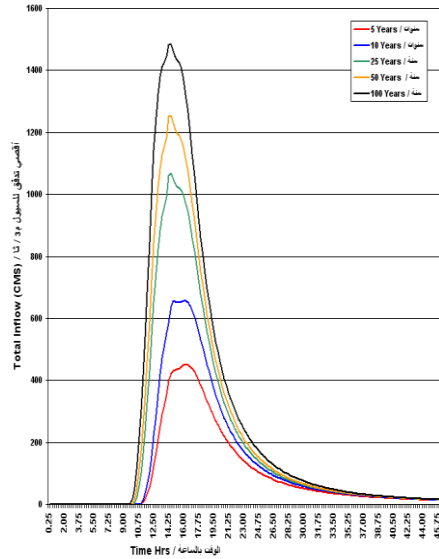
المصدر/ نموذج الملاءمة المكانية والجريان المائي في برنامج Arc GIS10.8.2

وبناءً على إعداد هيدرولوجيات الجريان المائي لنقاط تجمع المياه بالمواقع المقترحة للسدود بمنطقة الدراسة في برنامج (HEC HMS) أشكال (٣٥-٣٦-٣٧-٣٨) خلال العاصفة التصميمية ليوم ٢٥ شهر نوفمبر عام ٢٠٢٢م وسجلت ٨١.٢ مم/يوم في أم السلم بجدة، والعاصفة التصميمية ليوم ٢٤ نوفمبر ٢٠٠٩م وسجلت ٩٢.١٥ مم/يوم بخليص، تم تحديد أربعة سدود مقترحة تتميز عن بقية النقاط الأخرى من حيث الحجم المتوقع للمياه أمام كل سد مقترح وتناقص المقطع العرضي للوادي عند نقطة بناء السد - جدول (١٣).

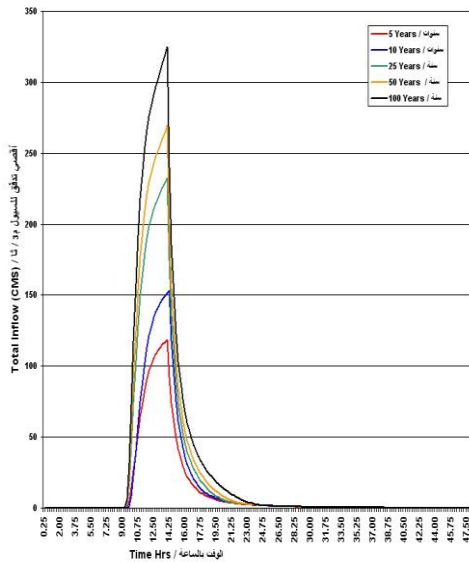
الجدوى الاقتصادية لحصاد مياه الأمطار غربي المملكة العربية السعودية
دراسة جغرافية باستخدام التقنيات الجيومكانية والتحليل متعدد المعايير



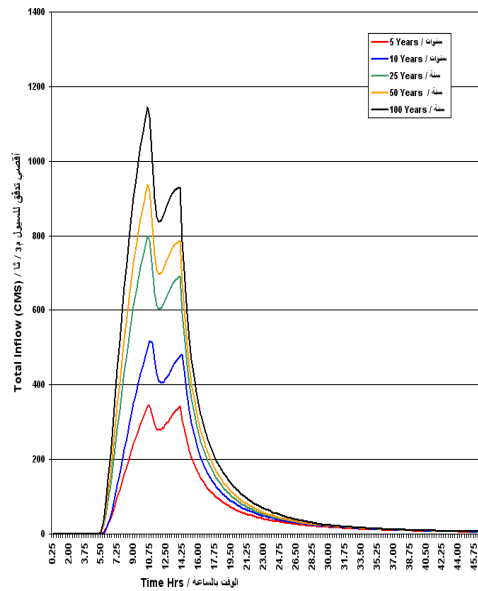
شكل (٣٦) المنحنى المائي عند السد المقترح رقم (٢) وادي ثول



شكل (٣٥) المنحنى المائي عند السد المقترح رقم (١) وادي غران



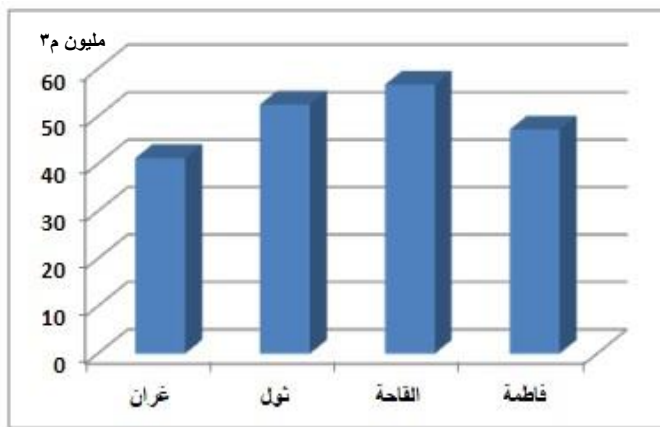
شكل (٣٨) المنحنى المائي عند السد المقترح رقم (٤) وادي فاطمة



شكل (٣٧) المنحنى المائي عند السد المقترح رقم (٣) وادي القاقعة

جدول (١٣) السدود المقترحة الأكثر أولوية				
م	السد المقترح	التخزين الم توقع (مليون م ^٣)	أقصى تصريف ماني (سم/ثانية)	المنسوب/ م
١	گران	٤١.٢	١٤٦٠.٢	٥٦٠
٢	ثول	٥٢.٥٢	١٨٠٠.٢٧	٢١٦
٣	الفاحة	٥٦.٧١	١٩٧٠.٤٢	٢١٢
٤	فاطمة	٤٧.٢٢	١٧٥٠.١٦	٩٦٠

المصدر/ تحليل نمذجة الملازمة المكانيّة وهيدرغرافية المواقع المقترحة، باستخدام برامج: GIS&HEC HMS

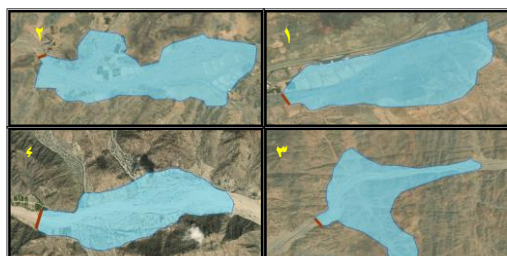


شكل (٣٩) يوضح التخزين المتوقع للسدود المقترحة

ومن خلال الأشكال (٣٩-٤٠-٤١) والجدول (١٣) يتبين أن المواقع الأنسب للسدود ذات الأهمية الكبيرة والقدرة العالية في تخزين مياه الأمطار تتمثل في أربعة مواقع مقترحة، هي: الموقع المقترح للسد رقم (١) ويقع في القطاع الجنوبي من منطقة الدراسة بحوض غران، ويحتوي على خزان بمساحة ٧.٥ كم^٢ وسعة تخزين ٤١.٢ مليون م^٣ / سنة من المياه ويقع على منسوب (٥٦٠م)، علاوة على ذلك يبلغ متوسط العمق عند البحيرة المقترحة للسد حوالي ١٢.٥م، مما يعني انخفاض معدل التبخر بسبب العمق. كما يؤدي بناء هذا السد إلى حماية التجمعات العمرانية والقرى بمدينة خليص من مخاطر السيول، ويبلغ طول مقطع السد ٢٢٠م، مما يقلل من النفقات المرتبطة ببنائه، ويتسم السد المقترح بقدرته على توفير المياه الصالحة للشرب. ويعتبر السد المقترح رقم (٢) الواقع في حوض ثول من منطقة الدراسة موقعًا مناسبًا نظرًا

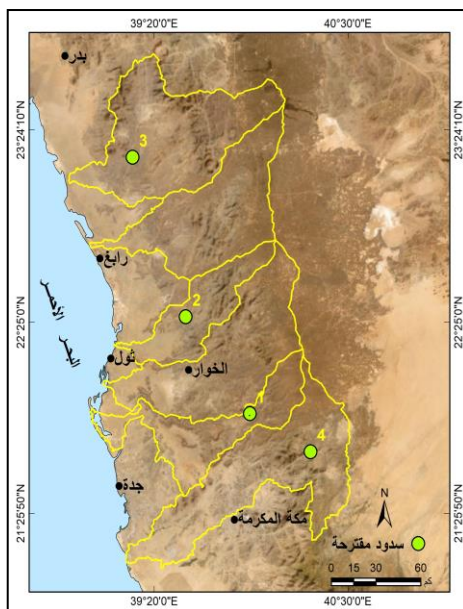
لقدرته على تخزين ٥٢.٥٢ مليون م^٣ / سنة من المياه، في حين يستطيع السد المقترح رقم (٣) تخزين كمية مياه تصل ٥٦.٧١ مليون م^٣ / سنة، مما يجعل له دورًا مستقبليًا في تنمية الموارد المائية بمنطقة الدراسة عند إنشائه، ويبلغ طول مقطعه ٣٢٠ م. ويقع السد المقترح رقم (٤) في أعالي حوض فاطمة جنوب منطقة الدراسة، وتصل سعته التخزينية المحتملة ٤٧.٢٢ مليون م^٣ / سنة، ويقع على منسوب ٩٦٠ م، ويتميز بقربه من مدينة مكة المكرمة، مما يقلل من نفقات نقل المياه، خاصة عند استخدامها لأغراض الشرب، كما أن ارتفاع السد قد يساعد على انخفاض معدلات التبخر من بحيرة التخزين أمامه.

كما أن الموقع المقترح بحوض ثول مناسب لإنشاء سد تبلغ كمية المياه المتوقع تجميعها في بحيرة التخزين أمامه نحو ٥٢.٥٢ مليون م^٣ / سنة، في حين أن السد المقترح لوادي القاحة في الشمال من المحتمل أن يتم تجميع كمية مياه في بحيرة التخزين الخاصة به نحو ٥٦.٧١ مليون م^٣ / سنة.



المصدر/ تحليلات النمذجة الهيدرولوجية HEC-HMS&HEC-RAS

شكل (٤١) بحيرات التخزين المقترحة
أمام السدود بمنطقة الدراسة



المصدر/ تحليل الملاءمة المكانية باستخدام برامج GIS&HEC

شكل (٤٠) المواقع المقترحة لإقامة السدود
وبحيرات التخزين بمنطقة الدراسة

الخاتمة

يُعد حصاد مياه الأمطار (RWH) بمثابة حل واعد لمكافحة تحديات ندرة المياه وتعزيز المياه، خاصةً في ظل ظروف المناخ المتغيرة. وفي هذا البحث تم تناول المشكلة من خلال المنهج الجيوتقني لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) القائم على التحليل متعدد المعايير، خاصةً التحليل الهرمي AHP، وتبين أن النموذج الذي تم إعداده لحصاد المياه له القدرة على أن يكون قابلاً للتطبيق للتخفيف من مشاكل ندرة المياه، حيث يُمكن أن يزيد من إمدادات المياه الحالية على المدى الطويل ويقلل من استخراج المياه الجوفية، خاصةً في المناطق الجافة وشبه الجافة. وتوصلت الدراسة إلى العديد من النتائج والتوصيات، فيما يلي:

النتائج:

- ١- تم تقييم المشروعات الحالية لحصاد المياه بمنطقة الدراسة وتشمل مشروعى خليص ورايح.
- ٢- تم إنتاج خريطة حصاد مياه الأمطار (RWH) المحتملة لمنطقة الدراسة.
- ٣- تم تحديد أنسب المواقع لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة.
- ٤- تم تحديد المواقع المقترحة للسدود بمنطقة الدراسة.
- ٥- تم قياس كمية التصريف المائي لكل سد مقترح.
- ٦- تمتلك منطقة الدراسة إمكانات كبيرة في الاستفادة من الموارد المائية المتجددة.
- ٧- يعد حوض خليص أكثر الأحواض من حيث الملاءمة المكانية المرتفعة $٦٦.٦٤٥.٢٦$ كم^٢ بنسبة ٥٣.٢٧% من مساحته الإجمالية.
- ٨- يعد حوض غران في المرتبة الثانية لحصاد مياه الأمطار، حيث بلغت مساحة المواقع ذات الملاءمة المكانية المرتفعة نحو ١٧٤.٠٧ كم^٢ بنسبة ٤٠.٩٤% .
- ٩- جاء حوض وادي فاطمة في المرتبة الثالثة بمساحة ١٧٥٧.٦٤ كم^٢ ونسبة قدرها ٣٢.٣٢% من مساحته الكلية.

- ١٠- تصل مساحة فئة الملاءمة المرتفعة جدًا لحصاد المياه بمنطقة الدراسة نحو ٦٠٢٥.٠٥ كم^٢ بنسبة ٢٦.٩٦% من إجمالي مساحة المنطقة.
- ١١- تصل مساحة فئة الملاءمة المرتفعة نحو ٧٤٢٩.٨٠ كم^٢ بنسبة ٣٣.٢٥% من إجمالي منطقة الدراسة.
- ١٢- يصل حجم التصريف المائي بمنطقة الدراسة نحو ٧٣٠٥٩٠٢٧٧.٤ م^٣.
- ١٣- يعد حوض خليص أكثر أحواض منطقة الدراسة في حجم التصريف المائي ١٦٤٤٨٦٥٧٤.١ م^٣ / سنة.
- ١٤- يعد حوض وادي فاطمة ثاني أحواض المنطقة في حجم التصريف المائي ١٥٠٤٦٥٨٠٢.٦ م^٣ / سنة.
- ١٥- تم تحديد المواقع الأنسب للسدود المقترحة، ويأتي في مقدمتها: غران، ثول، القاحة، وفاطمة.
- ١٦- تم حساب حجم التخزين المائي أمام كل سد ويُعد سد وادي القاحة أكثر السدود في حجم التصريف المائي ٥٦.٧١ مليون م^٣ / سنة، يليه سد ثول بكمية تخزين ٥٢.٥٢ مليون م^٣ / السنة يليه سد فاطمة بكمية تخزين ٤٧.٢٢ مليون م^٣ / سنة.
- ١٧- تُعد نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي منهجية مناسبة في اختيار المواقع الأنسب لحصاد مياه الأمطار.

التوصيات:

توصى الدراسة بما يلي:

- ١- التوسع في بناء سدود تخزين المياه في المواقع المقترحة الأكثر أولوية بمنطقة الدراسة.
- ٢- الاستفادة من التقنيات الجيومكانية وتكاملها مع التحليل الهرمي في تحديد المواقع الأنسب لحصاد مياه الأمطار.
- ٣- التوسع في إقامة محطات لقياس كمية الأمطار والتصريف المائي.
- ٤- توصي الدراسة بالتوسع في أبحاث مشابهة على مناطق أخرى بالمملكة العربية السعودية.
- ٥- زيادة الوعي لدى السكان المحليين بأهمية حصاد المياه.
- ٦- توصي الدراسة بأهمية إنشاء قاعدة بيانات وطنية موحدة تختص بحصاد مياه الأمطار.
- ٧- تشجيع الاستثمار الحكومي والخاص للتوسع في مشروعات حصاد المياه.
- ٨- ضرورة التوسع في تطوير استراتيجية جيوتقنية مدعومة بالتكنولوجيا الحديثة من قبل الجهات البحثية العلمية للتوسع في حصاد مياه الأمطار والحفاظ عليها بأقصى قدر مستطاع.
- ٩- إنشاء هيئة بحثية تختص بدراسات حصاد مياه الأمطار.

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: المصادر العربية:

- ١- أمانة جدة (٢٠٢٢م)، هيئة التخطيط العمراني، المملكة العربية السعودية.
- ٢- المؤسسة العامة لتحلية المياه (٢٠٢٢م)، المملكة العربية السعودية.
- ٣- هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (٢٠٢٢م) المملكة العربية السعودية، حقائق، أرقام، جدة، المملكة العربية السعودية.
- ٤- وزارة البيئة والمياه والزراعة (٢٠٢٢م) الاستراتيجية الوطنية للمياه لرؤية ٢٠٣٠م، المملكة العربية السعودية.
- ٥- وزارة البيئة والمياه والزراعة (٢٠١٦م): التطور التراكمي لسدود المملكة، المملكة العربية السعودية.

ثانياً: المراجع العربية:

- ١- إيمان جمال فتحي خضر، ٢٠٢٢م: استخدام نظم المعلومات الجغرافية في تقييم ونمذجة إختيار أنسب المواقع لحصاد الأمطار في المنطقة من فوكة لرأس علم الروم بالساحل الشمالي الغربي لمصر، مجلة كلية الآداب جامعة الزقازيق، مصر.
- ٢- عبد الفتاح نافع صالح، ٢٠١٨م: استخدام تقانات حصاد المياه لتنمية الموارد المائية، المستنصرية، مجلة المستنصرية للدراسات العربية والدولية، بغداد، العراق.
- ٣- عبير محمد الساكني، ٢٠١١م: تقانات حصاد المياه ودورها في الموارد المائية العربية، الجامعة المستنصرية، مركز المستنصرية للدراسات العربية والدولية، بغداد، العراق.
- ٤- على الغزاوي وآخرون، ٢٠١٢م: النمذجة الهيدرولوجية لحصاد مياه السيلح السطحي لوادي تارو باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، المجلة العربية الدولية للمعلوماتية، المجلد الأول، العدد الثاني، السعودية.
- ٥- محمد محمود الشرفاوي، ٢٠١٨م: تطبيق نموذج المنحنى المائي في تقدير تدفق الذروة لسيلح الأودية الداخلة على مدينة بريدة بمنطقة القصيم، الجمعية الجغرافية السعودية، السعودية.
- ٦- مسعود محمد نصر، ٢٠١٨م: التقييم الكمي والنوعي لحصاد مياه الأمطار بمنطقة يفرن، طرابلس، جامعة طرابلس، ليبيا.
- ٧- ندى شاكر جودت، ٢٠١٦م: حصاد المياه وأثره في تنمية الموارد المائية في العراق، العراق، كلية الآداب، جامعة الكوفة.
- ٨- نورة عبدالله الأسمرى، ٢٠٢٢م: الملاءمة المكانية لحصاد مياه الأمطار في محافظة النماص بالمملكة المتحدة السعودية، المجلة العربية للدراسات الجغرافية، المجلد الخامس، المؤسسة العربية للتربية والعلوم والآداب، مصر.

ثالثاً: المراجع الأجنبية:

1. Abdullah A, Sudin S, Ahmad Z, Saad F, Ahmad I, Abdullah F, Nik WM, Deraman A, Maliki NM, Kamaruzaman SR, Romle SR (2021) Intelligent irrigation system using rain water harvesting system and fuzzy interface system. *Int J Nanoelectron Mater* 14:299–306
2. Adham A, Riksen M, Ouessar M, Ritsema CJ (2016) A Methodology to assess and evaluate rainwater harvesting techniques in (semi-) arid regions. *Water* 8(5):198
3. Al-Abadi AMA, Ghalib HB, Al-Qurnawi WS (2016) Estimation of soil erosion in northern Kirkuk governorate, Iraq using rusle, remote sensing, and GIS. *Carpath J Earth Environ Sci* 11(1):153–166
4. Al-Ghobari H, Dewidar AZ (2021) Integrating GIS-based MCDA techniques and the SCS-CN method for identifying potential zones for rainwater harvesting in a semi-arid area. *Water* 13(5):704
5. Ali J, Babak A, Mohsen H, Ian F, Mohammad K, Nastaran K, Erfan GT (2018) A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using GIS: a case study of Sistan and Baluchestan province, Iran. *Geosciences* 8:494
6. Ammar A, Riksen M, Ouessar M, Ritsema C (2016) Identifica- tion of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: a review. *Int Soil Water Conserv Res* 4(2):108–120.
7. annopoulos S, Giannopoulou I, Kaiafa-Saropoulou M (2019) Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide. *Water* 11(10):2168
8. Buraihi FH, Shariff ARM (2015) Selection of rainwater harvesting sites by using remote sensing and GIS techniques: a case study of Kirkuk, Iraq. *J Teknol* 76(15):75–81
9. Critchley W, Siegert K, Chapman C, Finkert M (2013) *Water harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*. Scientific Publishers, Jodhpur
10. Dhakate R, Rao VG, Raju BA, Mahesh J, Rao SM, Sankaran S (2013) Integrated approach for identifying suitable sites for rainwater harvesting structures for groundwater augmentation in basaltic terrain. *Water Resour Manag* 27:1279–1299
11. G. De Winnaar, G.P.W. Jewitt, M. Horan A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa *Physics and Chemistry*(2017).

12. G.B. Senay, J.P. Verdin: Developing index maps of water-harvest potential in Africa Applied Engineering in Agriculture, 20 (6) (2004), pp. 789-799
13. Gavit BK, Purohit RC, Singh PK, Kothari M, Jain HK (2018) Rainwater harvesting structure site suitability using remote sensing and GIS. In: Hydrologic modeling: select proceedings of ICWEES-2016. Springer, Singapore, pp 331-341
14. Glendenning CJ, Van Ogtrop FF, Mishra AK, Vervoort RW (2012) Balancing watershed and local scale impacts of rain water harvesting in India—a review. Agric Water Manag 107:1-13
15. Gupta, K. K., Deelstra, J., & Sharma, K. D. (1997). Estimation of water harvesting potential for a semiarid area using GIS and remote sensing. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences, (pp. 63), 242.
16. H.M. Gregersen, P.F. Ffolliott, K.N. Brooks Integrated watershed management: Connecting people to their land and water CABI (2007)
17. Hassan WH, Nile BK (2021) Climate change and predicting future temperature in Iraq using CanESM2 and HadCM3 modeling. Model Earth Syst Environ 7:737-748
18. Jha MK, Chowdary VM, Kulkarni Y, Mal BC (2014) Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. Resour Conserv Recycl 83:96-111.
19. Khan D, Raziq A, Young HWV, Sardar T, Liou YA (2022) Identifying potential sites for rainwater harvesting structures in Ghazi Tehsil, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, using geospatial approach. Remote Sens 14(19):5008
20. Marinis PG, Koukis G, Tsiambaos G, Stournaras G (1997) Engineering geology and the environment, vol 2. A.A. Balkema, Rotterdam Return to ref 1997 in article
21. Naseef TAU, Thomas R (2016) Identification of suitable sites for water harvesting structures in Kecheri River basin. Procedia Technol 24:7-14
22. Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer W, Christ R, Church JA, Clarke L, Dahe Q, Dasgupta P, Dubash NK, van Ypserle JP (2014) Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, p 151
23. Ponce, V.M.; Hawkins, R.H. Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? J. Hyrol. Eng. 1996, 1, 11-19. [CrossRef]
24. R. Al-Adamat, S. AlAyyash, H. Al-Amoush, O. Al-Meshan, Z. Rawajfih, A. Shdeifat, ..., M. Al-Farajat The combination of indigenous knowledge and geo-

- informatics for water harvesting sitting in the Jordanian Badia Journal of Geographic Information System, 4 (2012), pp. 366-376
25. Rai PK, Mohan K, Mishra S, Ahmad A, Mishra VN (2017) A GISbased approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. Appl Water Sci 7(1):217–232
 26. Saaty TL (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. Int J Serv Sci 1(1):83–98
 27. Sameer YM, Abed AN, Sayl KN (2023) Geomatics-based approach for highway route selection. Appl Geom 15(1):161–176
 28. Sayl KN, Sulaiman SO, Kamel AH, Al-Ansari N (2022) Towards the generation of a spatial hydrological soil group map based on the radial basis network model and spectral reflectance band recognition. Int J Des Nat Ecodyn 17(5):761–766
 29. Silva CM, Sousa V, Carvalho NV (2015) Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: application to single-family residences. Resour Conserv Recycl 94:21–34
 30. USDA (2009) Hydrologic soil groups. In: National engineering handbook: Part 630—hydrology.
 31. USDA, 1986, P.24
 32. USDA-TR55, 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release (TR55); United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, US Government Printing Office: Washington, DC, USA.
 33. Yin S, Li J, Liang J, Jia K, Yang Z, Wang Y (2020) Optimization of the weighted linear combination method for agricultural land suitability evaluation considering current land use and regional differences. Sustainability 12(23):10134
 34. Yusof, K. W., Serwan, M., & Baban, J. (2000). Identifying optimum sites for locating reservoirs employing remotely sensed data and geographical information systems. In Proceedings of the 21st Asian conference on remote sensing, (pp. 35–40), 1.
 35. Zakaria S, Al-Ansari NA, Knutsson S, Ezz-Aldeen M (2012) Rain water harvesting and supplemental irrigation at Northern Sinjar Mountain, Iraq. J Purity Util React Environ 1(3):121–141