الملائمة المكانية لحصاد مياه الأمطار بمنطقة حوض وادي الرمل بليبيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي

عبير فائز الكريكشي[*1]، نجاة محمد المهدوي[2]، حسين عياد المجذوب[3]، محمد فرج المقلة[4]

[1]المركز الليبي لأبحاث تغير المناخ

[2]قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

[3]جهاز البحوث التطبيقية والتطوير، طرابلس، ليبيا

[4]قسم نظم المعلومات الجغرافية بالمركز الوطني للدراسات التنموية الزراعية

[*]aalkrekchi74@gmail.com

تم الاستلام بتاريخ 02-11-2024، تم القبول بتاريخ 30-12-2024، تم النشر بتاريخ 31-03-2025

doi.org/10.5281/zenodo.15324136

المستخلص:

تعد إدارة الموارد المائية من القضايا الأساسية التي تثير اهتمام العالم، خاصةً في ظل موجات الجفاف التي تعاني منها العديد من الدول. وهذا ما ساهم في زيادة أهمية التركيز على حصاد مياه الأمطار بشكل عام وبناء السدود واختيار المواقع الملائمة لها على وجه الخصوص، بحيث تسهم في جمع أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار لمواجهة الجفاف ومقاومة التدهور البيئي. تناولت هذه الدراسة اختيار أنسب المواقع لإنشاء سدود في حوض وادي الرمل، الذي يمتد على مساحة 442.958495 كم² بين ساحل البحر الأبيض المتوسط شمالاً وجبال ترهونة جنوباً، وإلى الشرق القره بوللي ومن الغرب منطقة تاجوراء متخذاً شكلاً طولي يبغ أدنى ارتفاع له 1 م وأعلى نقطة 514 م فوق مستوى سطح البحر. وتم تحليل أهم الخصائص منطقة الدراسة باستخدام برنامج ArcMap 10.3، ، وكذلك تحليل العناصر المناخية لمنطقة الدراسة خلال الفترة (1981 إلى 2021) من موقع باور ناسا، وبتحديد ثمانية معايير بمنطقة الدراسة، وتمثيلها خرائطيًا وتحديد أوزانها حسب أهميتها باستخدام طريقة AHP، ومن ثم دمجها الـ overlay. خلصت الدراسة إلى فعالية دمج تقنيتي Gis وAhp لتحديد المواقع الملائمة للسدود بحوض وادي الرمل. وأظهرت الخريطة خمس نطاقات حسب درجة الملاءمة، تتراوح من نطاقات عالية الملاءمة وصولاً إلى نطاقات غير ملائمة. كما تشير النتائج أن 42.8% من المساحة تعتبر عالية الملاءمة، و37.4 % ملائمة، و19 % ذات ملاءمة متوسطة، بينما كانت نسبة 1% ذات ملاءمة ضعيفة و42.74% غير ملائمة لبناء السدود. وبعد مطابقة خريطة الملاءمة مع الخريطة الكنتورية للمنطقة، تم تحديد مواقع ستة سدود في أربع مناطق مختلفة من الحوض عند ارتفاعات متنوعة.

الكلمات المفتاحية: *حصاد مياه الامطار – السدود – نظم المعلومات الجغرافية GIS – التحليل الهرمي Ahp – التطابق Overlay.*

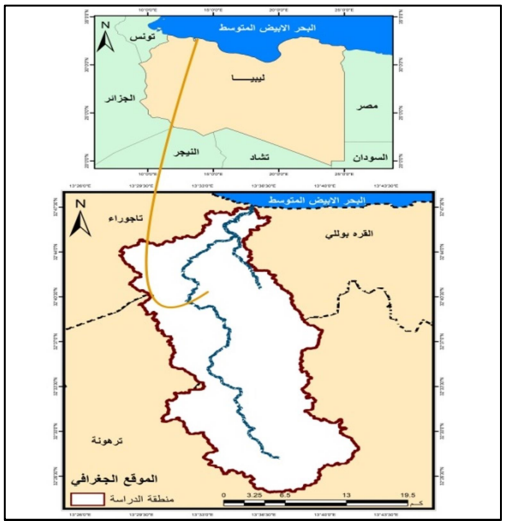
المقدمة:

يعتبر الماء العنصر الأساسي للحياة لجميع الكائنات الحية على كوكب الأرض، ولذلك فإن قضية الأمن المائي تُعد واحدة من أبرز القضايا التي يواجهها العالم بشكل عام والوطن العربي بشكل خاص. ويعود ذلك إلى التغيرات المناخية وتفاوت درجات الحرارة وهطول الأمطار، مما أدى بدوره إلى تغيير توزيع المناطق الزراعية في ظل تزايد عدد السكان وارتفاع الطلب على الموارد الطبيعية، وبالأخص الماء. كل هذه العوامل ساهمت في تفاقم أزمة المياه وظهور تحديات وظروف جديدة يجب أخذها بعين الاعتبار لضمان استمرارية الحياة، والبحث عن مصادر بديلة لتوفير المياه وزيادة كفاءة استخدام الموارد المائية المتاحة.

في ظل مشكلة العجز المائي التي تواجهها ليبيا، حيث يمكن الاستفادة من كل قطرة ماء تسقط على أراضيها والتي تذهب سدى بسبب غياب تطبيق الدراسات العلمية والإدارة المائية الفعالة، يصبح من الضروري تحديد المواقع الجغرافية المناسبة لجمع مياه الأمطار، خصوصاً في المناطق التي تشهد معدلات مرتفعة من الأمطار. فهذا الأمر يحظى بأهمية كبيرة في جوانب الحياة الاقتصادية والبيئية، بما في ذلك زيادة وتحسين إنتاجية المحاصيل الزراعية من خلال توفير مياه إضافية بتكاليف منخفضة لاستعمالها في الري التكميلي. علاوة على ذلك، تُعتبر هذه المياه المحصودة مصدراً إضافياً بجانب المياه الجوفية التي تحتاجها البشر والحيوانات، خاصة في المجتمعات السكانية التي تعاني من فترات جفاف طويلة. في هذا السياق، من المهم الإشارة إلى أن تحديد المواقع الأكثر ملاءمة لجمع مياه الأمطار في حوض وادي الرمل (منطقة الدراسة) يعد ضروريًا للاستفادة من كميات الأمطار التي تسقط سنويًا على هذه المنطقة بدلاً من أن تجري إلى البحر دون استفادة. خاصة وأن هذه المنطقة تتميز بتربتها المناسبة للزراعة والرعي. بالإضافة إلى أن تأثير التغير المناخي الذي تتضح أثاره جلياً في انجراف التربة وانخفاض مساحة الغطاء النباتي وعدد الأشجار المثمرة. وهذا يؤثر بدوره على السكان من الناحية الاقتصادية وعلى البيئة المحيطة. لتحقيق ذلك، تم استخدام بعض التقنيات المكانية، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بُعد (RS)، بالإضافة إلى الخرائط الجيولوجية المرتبطة بمنطقة الدراسة والدراسة الميدانية التي تشمل الزيارات المتكررة لحوض الوادي. كما تم الاعتماد على طريقة التحليل الهرمي متعدد المعايير، التي تُعتبر واحدة من أكثر الطرق نجاحًا في اتخاذ القرارات متعددة المعايير، وقد أثبتت فعاليتها الكبيرة في حل هذه الأنواع من المشاكل. وتعتمد هذه الطريقة على استخدام الأساليب الكمية في اتخاذ القرار لاختيار الخيار الأفضل من بين مجموعة خيارات متعددة.

الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة: يقع حوض وادي الرمل في المنطقة الشمالية الغربية لليبيا متخذاً شكلاً طولياً يمتد من مرتفعات الجبل الغربي جنوباً إلى ساحل البحر المتوسط الذي يحده من الشمال وتحديداً عند منطقة سيدي بنور، حيث يبلغ طوله حوالي 41.12 كم. وعرضه حوالي 10.77 كم. وتبلغ مساحة حوض وادي الرمل الواقع ضمن المناطق الفاصلة بين تاجوراء والقره بوللي حوالي 442.958 كم^2 .(الخريطة 1). فلكـياً : تمتد بين خطـي طول ً10 ً27 ْ13 و ً50 ً41 ْ13 شرقاً وبين دائرتـي عرض ً15 ً25 ْ32 و ً30 ً47 ْ32 شمالاً.

خريطة رقم 1.الموقع الجغرافي والفلكي لمنطقة حوض وادي الرمل.



أهداف الدراسة:

1- بناء قاعدة بيانات عن منطقة حوض وادي الرمل.

2- تحديد المعايير الملائمة لدراسة حصاد مياه الامطار بمنطقة الدراسة.

3- تحديد المواقع الملائمة لإنشاء سدود بمنطقة حوض وادي الرمل.

فرضيات الدراسة:

1- تستقبل المنطقة معدلات أمطار سنوية مناسبة لتطبيق تقنية حصاد مياه الامطار بها.

2- تشمل منطقة الدراسة عدة مواقع مناسبة لإقامة سدود لتجميع مياه الامطار والاستفادة منها.

منهجية الدراسة:

للوصول إلى أهداف البحث، تم اتباع المنهج التحليلي لتصنيف وتحليل كافة البيانات الرقمية والحسابية وكذلك الخرائط الرقمية والصور الفضائية الخاصة المستخدمة في الدراسة، كما ام اتباع المنهج الوصفي لوصف نتائج الدراسة.

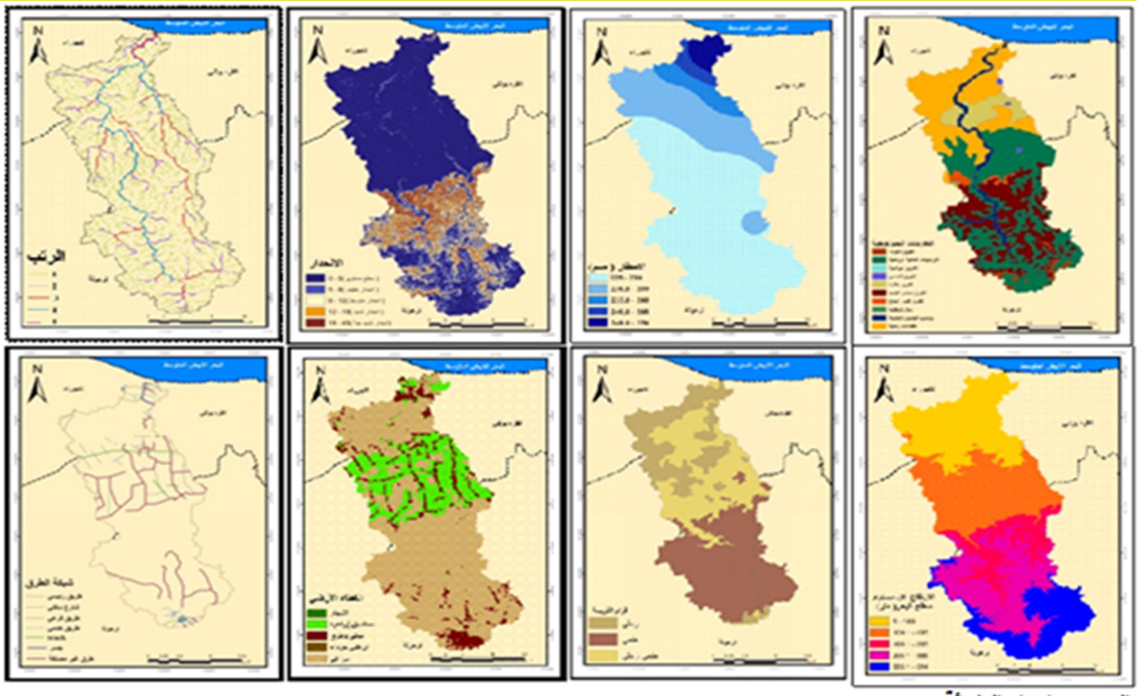
تحديد المواقع المناسبة لحصاد مياه الأمطار في حوض وادي الرمل:

يختص هذا الجزء من الدراسة بأهم ما تم الوصول إليه من بيانات وتحليلها في خرائط للوصول إلى الهدف الأساسي للبحث وهو تحديد مواقع ملائمة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة حوض وادي الرمل، وحسب ما جاء في العديد من الدراسات السابقة وتوجيهات منظمة الزراعة والأغذية عام (2003). التي حددت معايير مختلف تقنيات RWH، مع الأخذ في الاعتبار مواقع هطول الأمطار، والانحدار، وعمق وقوام التربة. كما تعتبر المبادئ التوجيهية لمنظمة الأغذية والزراعة FAO (2003) أن التربة الطمية متوسطة القوام هي الأكثر ملاءمة للزراعة. متوسط هطول الأمطار السنوي الذي يتراوح بين 150-750 ملم/سنة مناسب لمعظم تقنيات RWH. المنحدرات التي تقل عن 5% مناسبة للبرك، والمنحدرات التي تقل عن 10% مناسبة لصهاريج الترشيح، والمنحدرات التي تقل عن 15% مناسبة للسدود الحاجزة (Krois & Schulte, 2014; Munyao, 2010; Ramakrishnan et al., 2009; .Mati et al., 2006)

أولاً: اختيار المعايير:

من خلال مراجعة العديد من الدراسات السابقة والمشابهة لظروف منطقة الدراسة من حيث المناخ الصحراوي والشبه صحراوي، والتي نذكر من أمثلتها دراسة (الصبابحة، 2013) للنمذجة المكانية للحصاد المكاني في حوض الجفر شرق الأردن، ودراسة (Al-Adamat, 2010) التي تمت لاختيار أفضل المواقع للحفائر في شمال الأردن، وكذلك دراسة (النوايسية وزغلول، 2022) لاختيار المواقع المحتملة للحصاد المائي باستخدام النمذجة المكانية المتعددة المعايير في حوض وادي الموجب جنوبي الأردن، وأخيرا دراسة (Isioye et al., 2012)، تم في هذه الدراسة تحديد عدد 8 معايير لاستعمالها في تحديد المواقع المناسبة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة حوض وادي الرمل، تشمل هذه المعايير الأمطار Rain، والجيولوجيا Geology، والتربة Soil، وشبكة الرتب المائية Stream Order، والطرق Roads، والغطاء الأرضي LC/LU، والارتفاع عن سطح البحر Elevation، والانحدار Slope (خريطة 2).

خريطة 2. المعايير المختارة.



المصدر: اعداد الباحثة.

التحليل الهرمي:

باعتبار أن عملية اتخاذ القرار في وجود عدة معايير بأسلوب التحليل الهرمي من أنجح الطرق فمن المهم تحديد ومعرفة مقدار الثبات للقرار للوصول إلى قرار قوي يقلل من فرصة ظهور الأحكام العشوائية، وبالرغم من صعوبة الوصول للثبات إلا أنه من الضروري الوصول إلى درجة محددة من الثبات للوصول إلى نتائج أكثر واقعية. حدد (Saaty, 1977) نسبة تناسق قيمتها 0.1 (10%) كمؤشر لمستوى الأحكام في المصفوفة الزوجية لأوزان المعايير، وكلما كانت القيمة أقل من 0.1 كانت المصفوفة أكثر ثباتاً وغير متناقضة، أما إذا زادت القيمة عن 0.1 عندها يستوجب تعديل درجات الأهمية للوصول إلى مؤشر تناسب مقبول. (Saaty, 2008). وبناء على المعايير، تم اتباع منهجية التحليل الهرمي وبناء المصفوفة الزوجية التي تربط بين المعايير حسب الأهمية للوصول إلى نسبة التناسق فيما بيها، والتي يجب أن تكون قيمتها محصورة من بين 0-0.1 (أي أقل من 10%). وتم تحديد قيمة أهمية كل معيار حسب تصنيف (Saaty, 1977) الذي يربط بين المعايير والبدائل في شكل هرمي، حيث أن لكل معيار مجموعة من البدائل قابلة للمقارنة الزوجية بينه وبين العامل الآخر، وهذه البدائل تقاس بمقياس من 1-9 كما تدل مراجعة العديد من الدراسات السابقة في هذا المجال إنه في بيئة نظم المعلومات الجغرافية تستعمل درجة الأهمية 1,3,5,7,9 فقط. ومن هذا المنطلق تم تحديد البدائل للمعايير في هذه الدراسة كما هو موضح في جدول رقم (1).

بتطبيق حساب التحليل الهرمي للثبات AHP Priority Calculator عن طريق إدخال البيانات المطلوبة وهي اسم المعايير، وبمعرفة الفرق بين كل معيارين في المقارنة الزوجية (جدول2) تم الوصول إلى درجة ثبات بلغت 0.007، وهي دليل على مدى التناسق الكبير في المعايير التي تم اختيارهم وإعطائهم درجة الأهمية استناداً على ما تم مراجعته من العديد من الدراسات السابقة والتي أكدها (Saaty, 1977) بأنه كلما اقتربت القيمة من الصفر كان التناسق بين المعايير والبدائل كبير وهو ما توصلت إليه الدراسة.

جدول 1. الأولويات للمعايير المختارة حسب أوزانها في عملية التحليل الهرمي.

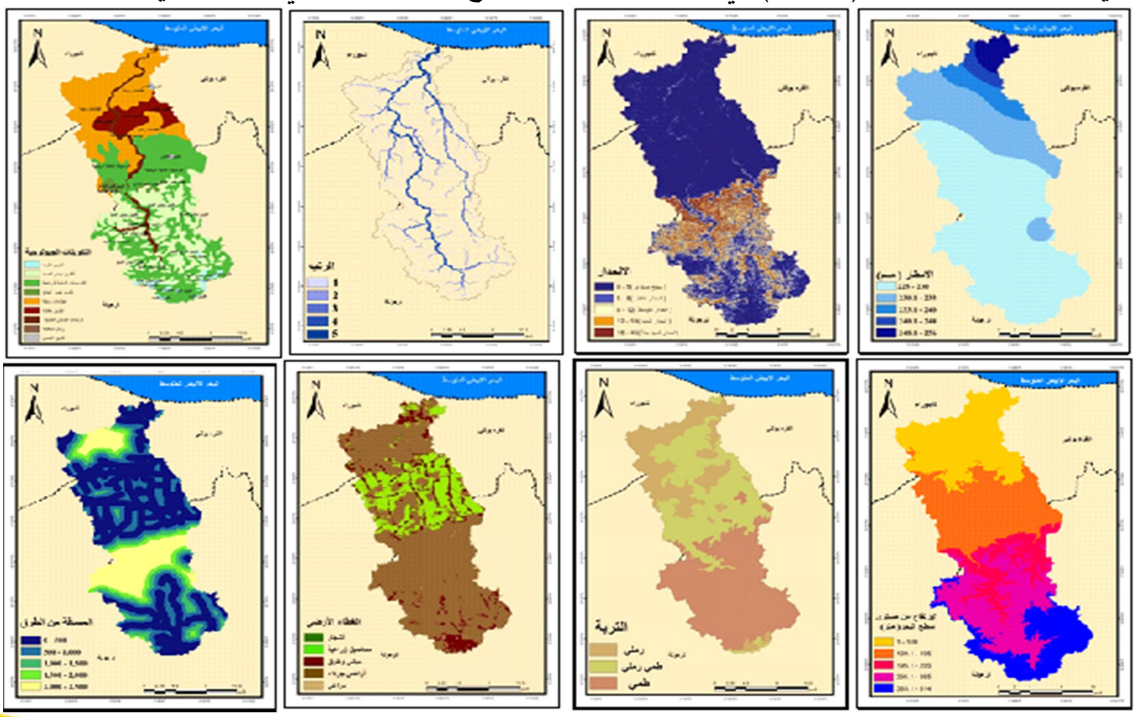
المعيار	درجة الأهمية
الأمطار	9
الانحدار	7
شبكة المجاري المائية	5
الجيولوجيا	7
التربة	7
الغطاء الأرضي	5
الطرق	5
الارتفاع عن مستوى سطح البحر	3

تم تصنيف المعايير إلى خمس درجات: ملائمة عالية، ملائمة، ملائمة متوسطة، ملائمة ضعيفة وغير ملائمة. فيما عدا طبقة التربة والتي تكونت من ثلاث تصنيفات: ملائمة متوسطة الملائمة وغير ملائمة. أما المعايير الخطية فصنفت إلى ملائمة وغير ملائمة من خلال إجراء عملية Euclidean distance لشبكة الطرق وشبكة المجاري المائية لتحديد المناطق التي تلائم هذه التقنية. وتتبع هذه الخطوة إنتاج خرائط المعايير المعاد تصنيفها لتتناسب مع معايير الملائمة لها في شكل طبقات لتحديد أفضل المواقع لإقامة مشاريع حصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة.

ثانياً: تحويل الخرائط إلى راستر RASTER:

تم تحويل خرائط جميع المعايير إلى خرائط راستر بدقة مكانية 30 متر. اعتماداً على دقة نموذج الارتفاع الرقمي DEM حسب متطلبات العملية الحسابية اللازمة للوصول إلى خريطة الملائمة التي تتطلب أن تكون المدخلات في صورة راستر وتمت هذه العملية باستخدام أداة Polygon to Raster في حزمة Analysis tools. وتم الحصول على الخرائط مصنفة إلى خمس تصنيفات حسب قيمة المتغيرات. (خريطة 3).

خريطة3. المعايير المختارة (Raster) في هذه الدراسة لتحديد مواقع ملائمة للسدود في حوض وادي الرمل.



ثالثاً: إعادة تصنيف المعايير حسب درجة الملائمة Reclassify:

تأتي هذه الخطوة إعادة تصنيف خرائط المعايير (Raster) الناتجة من الخطوة السابقة إلى خمس رتب حسب درجة الملائمة لحصاد مياه الأمطار استناداً على عدة دراسات سابقة في هذا المجال فيما عدا معيار التربة والذي تم تصنيفه وإعادة تصنيفه بناء على تربة المنطقة، وكذلك معيار الأمطار والتي تم إعادة تصنيفها إلى درجة ملائمة واحدة نظراً لأن أمطار المنطقة متقاربة ومعدلاتها ضمن المعدلات التي تسمح لحصاد مياه الأمطار.

1- ملائمة معدلات الأمطار السنوية:

لاتخاذ القرار الصحيح لإقامة مشروع حصاد مياه الأمطار لأي منطقة يجب تحديد العوامل الهيدرولوجية للمنطقة والتي من أهمها معدلات الأمطار والتي يعتمد عليها في مشاريع حصاد المياه، حيث من الصعب إقامة مثل هذه المشاريع في مناطق تفتقر للأمطار، ويؤكد (Toosie et al., 2020) أن الأمطار تعتبر معيار أساسي للتنمية لما لهذا المعيار من تأثير مباشر وغير مباشر على المعايير الأخرى عند التخطيط لمشروع حصاد المياه. كما صنفت المناطق التي يقل فيها معدل الهطول عن 100 ملم بانها مناطق غير ملائمة لهذه المشاريع لأنها لا تحقق الهدف (Mahmoud & Alazba, 2014). بلغ المعدل العام للأمطار في منطقة حوض وادي الرمل حوالي 231.6 ملم/سنة خلال الفترة 1981-2021. وبلغ أعلى معدل أمطار سنوي 255.5 ملم/سنة، وأقلها بلغ 225 ملم/سنة. وهي قيم مناسبة لإحداث جريان سطحي للمياه يمكن تجميعها بإقامة مشروع حصاد لهذه المياه للاستفادة منها. وباتباع بعض الخطوات الحسابية التي طبقت على كافة معايير الدراسة لحساب مساحة ونسبة كل درجة من درجات الملائمة لكل معيار من خلال إجراء بعض العمليات الحسابية من خلال Field calculator على بيانات Attribute table توصلت الدراسة إلى أن المناطق التي تستقبل معدلات أمطار سنوية تتراوح ما بين 225-255.5 ملم تعتبر بأكملها ملائمة من حيث معدل الأمطار (جدول 2 وخريطة 4).

جدول2. درجة ملائمة معدلات الأمطار السنوية حسب الأهمية.

معدلات الأمطار السنوية (ملم/سنة)	الأهمية	المساحة (كم^2)	النسبة (%)	خريطة 4. ملائمة الأمطار
225-255	5	442.958495	100	

2- ملائمة الانحدار:

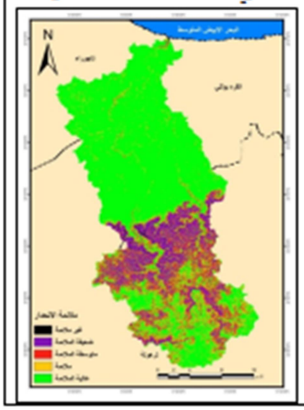
يعبر الانحدار عن التدرج في التضاريس لمنطقة معينة. كما يؤثر الانحدار على اختيار المواقع المناسبة لحصاد مياه الأمطار وتصميم الهياكل الخاصة بتجميع المياه. كما يؤثر الانحدار على توليد الجريان السطحي وسرعة الجريان (Aladamat, 2008). نظراً لأهمية هذا المعيار تم استخراج خريطة الانحدار لمنطقة الدراسة من نموذج الارتفاع الرقمي بدقة 30 متر. وتصنيف المنطقة حسب ملاءمتها لمشروع حصاد مياه الأمطار إلى خمس فئات استناداً على تصنيف (Maina & Raude, 2016) الذي يوضح انه كلما زاد الانحدار انخفضت الملائمة.

أتضح أيضاً من الحسابات التي أجريت في بيئة برنامج ArcMap على خريطة ملائمة درجة الانحدار والموضحة

في جدول (3)، بان المناطق عالية الملائمة التي يتراوح انحدارها ما بين 0-10 بلغت نسبتها 57.17%، بينما بلغت نسبة المناطق الملائمة 18.73% وهي المناطق التي يتراوح انحدارها ما بين 10-20، أما المناطق التي يتراوح انحدارها ما بين 20-30 حسب التصنيف المذكور تعتبر مناطق متوسطة الملائمة، والمناطق التي يتراوح انحدارها 30-40 تعتبر مناطق ضعيفة الملائمة، أما عن المناطق التي يزيد انحدارها عن 40 فهي مناطق غير ملائمة لإقامة مشروع حصاد مياه الأمطار. (خريطة 5).

جدول 3. درجة ملائمة الانحدار حسب الأهمية.

خريطة 5. ملائمة الانحدار



درجة الانحدار	درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم²)	النسبة (%)
10-0	عالية الملائمة	5	252.733568	57.17
20-10	ملائمة	4	82.810483	18.73
30-20	متوسطة	3	51.47817	11.64
40-30	ضعيفة	2	37.552198	8.49
45-40	غير ملائمة	1	17.521422	3.96

3- ملائمة المجاري المائية:

شبكة المجاري المائية تعبر عن كثافة التصريف بالمنطقة. وعند اختيار مواقع لحصاد مياه الأمطار يفضل أن تكون في مناطق ذات تصريف عالي لإحداث جريان عالي من العديد من الشبكات (Adham et al., 2018). وتم في هذه الدراسة الحصول على شبكة المجاري المائية من إجراء العمليات الهيدرولوجية على نموذج الارتفاع الرقمي. وصنفت درجة الملائمة على حسب المسافة من الأودية إلى خمس درجات من الملائمة (خريطة 6). حيث بلغت النسبة العالية (67.27%)، يليها الملائمة بنسبة (29.74%) ، ثم متوسطة الملائمة ونسبتها (2.96%) إلى الملائمة الضعيفة بنسبة (0.018%)، أما نسبة (0.009%) أما نسبة المناطق الغير ملائمة فهي (0.009%). وهذا يوضح أنه من ناحية ملائمة المجاري المائية فإن المنطقة ما يزيد عن (96%) ملائمة لحصاد مياه الأمطار(جدول 4).

جدول 4. درجات الملائمة لرتب المجاري المائية.

خريطة 6. ملائمة رتب المجاري



المسافة (م)	درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم²)	النسبة (%)
150-0	عالية الملائمة	5	297.968048	67.27
300-150	ملائمة	4	131.731715	29.74
450-300	متوسطة	3	13.136116	2.96
500-450	ضعيفة	2	0.081143	0.018
أكبر من 500	غير ملائمة	1	0.041473	0.009

4- ملائمة الجيولوجيا:

ترتبط جيولوجية أي منطقة ارتباطاً كبيراً بمدى الاستفادة من مياه الأمطار وإقامة مشاريع حصاد هذه المياه. فمن الصعب إقامة مشروع حصاد مياه أمطار في منطقة تركيبها الجيولوجي لا يسمح بتخزين المياه إذا كان يعمل على تسريب المياه إلى باطن الأرض وبالنسبة لمنطقة الدراسة كان التركيب الجيولوجي أفضلها رواسب الوديان وأقلها تكوين نالوت. ومن خلال خريطة الجيولوجيا للمنطقة والتكوينات الجيولوجية تم ترتيب درجات الملائمة حسب خصائص كل تكوين من حيث الاحتفاظ بالماء. فكانت أعلى ملائمة لمناطق رواسب الوديان يليها تكوين الجفارة، أما المناطق غير الملائمة فكانت لمناطق الغطاءات الرملية. (جدول 5).

جدول 5. درجة ملائمة التكوينات الجيولوجية.

نوع التكوين	درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم²)	النسبة (%)
رواسب الوديان	عالية الملائمة	5	19.024594	4.33
تكوين الجفارة	ملائمة	4	30.345744	6.85
تكوين سيدي الصيد	متوسطة الملائمة	3	106.694423	24.08
الترسبات الريحية المائية	ضعيفة الملائمة	2	161.811681	36.53
تكوين نالوت	غير ملائمة	1	124.902052	28.19

خريطة 7. ملائمة التكوينات لجيولوجية



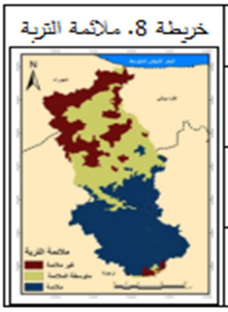
5- ملائمة التربة:

تعتبر التربة أيضاً معيار ذو أهمية كبيرة عند اختيار الموقع المناسب لمشاريع حصاد المياه حسب قدرتها على الاحتفاظ بالماء. فالمواقع التي تشمل تربة ذات نفاذية عالية هي مواقع غير ملائمة لأنها لا تسمح بتخزين المياه. وبالنسبة لمنطقة حوض وادي الرمل وحسب تصنيف تربته استنتجت الدراسة أن المنطقة تضم ثلاث تصنيفات للتربة، وهي الرملية والرملية طمية والطمية، وبناء على ذلك تم ترتيب درجة الملائمة إلى تربة ملائمة وتربة متوسطة الملائمة وتربة غير ملائمة. ومن خلال استخراج خريطة الملائمة لمعيار التربة (خريطة 8)، اتضحت مساحة كل تربة حسب درجة ملاءمتها، فالتربة الملائمة والمتمثلة في التربة الطمية بلغت نسبتها 43.83%، وبلغت نسبة التربة متوسطة الملائمة والمتمثلة في التربة الطمية الرملية 33.43 %، وبلغت نسبة المناطق غير الملائمة والتي تتمثل في التربة الرملية نسبة 22.74% (جدول 6).

جدول 6.درجات ملائمة التربة.

قوام التربة	درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم²)	النسبة (%)
تربة طمية	ملائمة	5	194.132873	43.83
تربة طمية رملية	متوسطة الملائمة	4	148.098419	33.43
تربة رملية	غير ملائمة	1	100.727202	22.74

خريطة 8. ملائمة التربة



6- ملائمة استعمالات الأراضي:

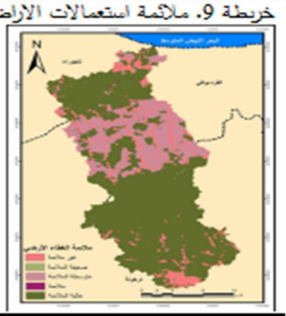
يعتبر هذا المعيار ذا أهمية في دراسات حصاد مياه الأمطار من حيث ملائمة المنطقة لمثل هذه المشاريع، لأنه يعتمد بصورة مباشرة على تسرب المياه داخل التربة وانخفاض الجريان السطحي (Toosi et al., 2020)، ومن الأفضل الابتعاد عن مناطق الأشجار المثمرة والغابات لأنها تعيق حدوث الجريان السطحي، وكذلك المناطق السكنية نظراً لصعوبة إقامة مشاريع حصاد المياه. كما أكد (Critchley, 1991) أن مناطق الأراضي الجرداء والمناطق الزراعية هي مناطق ملائمة لهذه المشاريع لما لها من مردود اقتصادي ولسد حاجة تلك المناطق من المياه. كما أكدت دراسة كلاً من (Mania & Raude, 2016) بأن الأراضي الجرداء والمناطق المزروعة هي مناطق ملائمة لحصاد مياه الأمطار.

من خلال استخراج خريطة الملائمة لهذا المعيار توصلت الدراسة لحساب مساحة ونسبة المناطق حسب درجة ملاءمتها، فالمناطق غير الملائمة والتي تتمثل في التجمعات السكنية بلغت نسبتها 10.20%، وبلغت نسبة المناطق ضعيفة الملائمة والمتمثلة في الغابات ومناطق الأشجار 0.042%، أما المناطق الزراعية والتي تعتبر متوسطة الملائمة فبلغت نسبتها 20.15%، وبلغت نسبة المناطق الملائمة والتي تتمثل في أراضي المراعي 69.42% ،في حين بلغت نسبة الأراضي الجرداء والتي تعتبر ملائمة لمشاريع حصاد مياه الأمطار 0.18% .(جدول7 وخريطة 9).

جدول 7. درجات الملائمة لاستعمالات الأراضي.

درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم^2)	النسبة (%)
عالية الملائمة	5	307.540996	69.42
ملائمة	4	0.781094	0.18
متوسطة الملائمة	3	89.256394	20.15
ضعيفة الملائمة	2	0.18739	0.042
غير ملائمة	1	45.192621	190.20

خريطة 9. ملائمة استعمالات الاراضي



7- ملائمة البعد عن الطرق:

عند التخطيط لمشاريع حصاد المياه، يُفضل اختيار مواقع قريبة من الطرق والتجمعات السكنية، حيث تُعتبر المناطق القريبة أكثر ملاءمة من البعيدة. فالقرب من الطرق يسهل الوصول إلى المواقع، ويساعد في نقل المواد اللازمة لإنشاء هذه المشاريع، بالإضافة إلى تسهيل صيانتها وتطويرها (Khudair et al., 2020). في هذه الدراسة، استخدمت الباحثة تقنية المسافة الإقليدية (Euclidean distance) في برنامج ArcMap لتصنيف مسافة الطرق وفقًا لدرجة الملاءمة، حيث تم تقسيمها إلى ملائمة وغير ملائمة بناءً على البعد. ومن خلال مراجعة العديد من الدراسات، حددت الباحثة مسافة 500 متر كحد مقبول، حيث تُعتبر المناطق التي تقل عن 500 متر عالية الملاءمة، والمناطق التي تتراوح بين 500 و1000 متر ملائمة، بينما تُعتبر المناطق التي تتراوح بين 1000 و2000 متر ضعيفة الملاءمة، وأي منطقة تتجاوز 2000 متر تُعتبر غير ملائمة، وهو ما يتماشى مع نتائج (Khudair et al., 2020). بعد إجراء الحسابات، توصلت الدراسة إلى أن المناطق عالية الملاءمة، التي تبعد أقل من 1000 متر عن الطرق، تشكل نسبة 67.78%، بينما المناطق التي تتراوح المسافة فيها بين 1000 و2000 متر، والتي تُعتبر ملائمة، بلغت نسبتها 15.63%.

جدول 8. درجات الملائمة للبعد عن الطرق.

المسافة (متر)	درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم2)	النسبة (%)
0-1000	عالية الملائمة	5	300.239797	67.78
1001-2000	ملائمة	4	69.24047	15.63
2001-3000	متوسطة الملائمة	3	42.291931	9.55
3001-4000	ضعيفة الملائمة	2	22.4484	5.07
أكبر من 4000	غير ملائمة	1	8.737898	1.97

خريطة 10. ملائمة استعمالات الأراضي



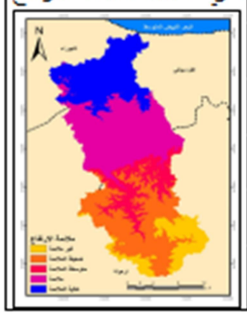
8- ملائمة الارتفاع عن منسوب سطح البحر:

في الدراسات المتعلقة بحصاد مياه الأمطار لا بد من دراسة الارتفاع عن مستوى سطح البحر والطبوغرافية للمنطقة. فالارتفاع والانخفاض يؤثر في كميات المياه المتوقع حجزها وتحديد الطريقة المناسبة لتجميعها. ومن خريطة نموذج الارتفاع الرقمي يتضح جلياً بان أعلى ارتفاع في المنطقة بلغ 514 متر. في حين بلغ أقل ارتفاع 1 متر. كما يتضح بأن الارتفاع يزداد كلما اتجهنا جنوباً في اتجاه جبال ترهونة. ومن بيانات جدول (10) اتضح بأن المناطق عالية الملائمة بلغت نسبتها 57.16%، والمناطق الملائمة 18.73%، أما المناطق متوسطة الملائمة من حيث الارتفاع فبلغت نسبتها 11.64%، والمناطق ضعيفة الملائمة فبلغت نسبتها 8.49%، أما المناطق غير الملائمة فبلغت نسبتها 3.96% (خريطة 10).

جدول 9. درجات الملائمة للارتفاع عن مستوى سطح البحر حسب الأهمية.

الارتفاع (متر)	درجة الملائمة	الأهمية	المساحة (كم^2)	النسبة (%)
250-1	عالية الملائمة	5	253.226726	57.16
350-250	ملائمة	4	82.972066	18.73
350-400	متوسطة الملائمة	3	51.578618	11.64
400-450	ضعيفة الملائمة	2	37.625474	8.49
514-450	غير ملائمة	1	17.555612	3.96

خريطة 11. ملائمة الارتفاع



رابعاً: استخراج الخريطة الملائمة:

للحصول على خرائط الملائمة لجميع المعايير تم إدخالها في بيئة برنامج الارك ماب ArcMap3.1 وإجراء عملية حسابية باستخدام أداة Raster Calculator، وبالاستناد على وزن كل معيار الناتج من عملية التحليل الهرمي وتطبيق المقارنات الزوجية في برنامج AHP Calculator، حيث تم ذلك وفق المعادلة التالية:

(rain.tif" * 0.289) + ("slope" * 0.149) + ("streamorder" * 0.075) + ("rec_geofinal" * 0.149) + ("soil" * 0.149) + ("lulc" * 0.075) + ("roads" * 0.075) + ("elevation" * 0.039)

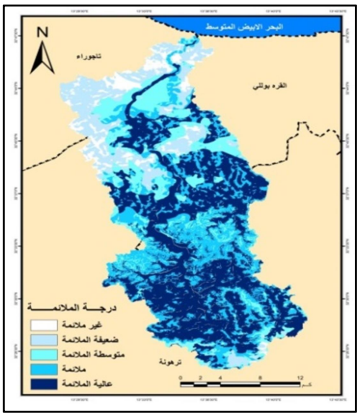
كان ناتج هذه المعادلة خريطة الملائمة المكانية لحصاد مياه الأمطار لحوض وادي الرمل والتي توضح المناطق الملائمة والغير ملائمة حسب الدرجة من 1-5، فالمناطق الواقعة ضمن لون الرقم 5 هي مناطق عالية الملائمة، والمناطق الواقعة ضمن لون الرقم 4 هي مناطق ملائمة، أما المناطق 3،2،1 فهمي مناطق تتراوح بين متوسطة

الملائمة إلى غير الملائمة، وفي هذا النوع من الدراسات وحسب ما تم مراجعته من العديد من الدراسات يتم اعتماد المناطق عالية الملائمة والملائمة لتحديد مواقع مناسبة للسدود. كما يتضح من الجدول (10) مساحة ونسبة كل درجة ملائمة بالمنطقة. فكانت نسبة المناطق عالية الملائمة 42.8% حيث بلغت مساحتها 189.31349 كم^2. أما المناطق الملائمة فبلغت نسبتها 37.36% وبمساحة بلغت 165.481858 كم^2. أما باقي المناطق فكانت بين مناطق متوسطة الملائمة وضعيفة وغير ملائمة.

جدول 10. مساحة المناطق حسب وملاءمتها ونسبتها من المساحة الكلية.

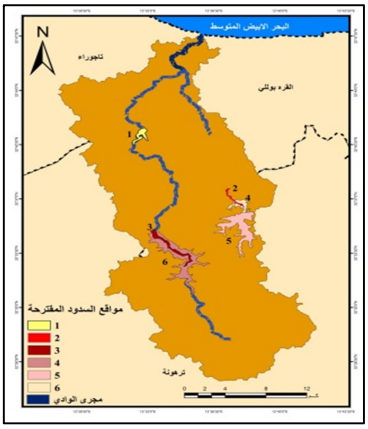
قيمة الملائمة	درجة الملائمة	المساحة (كم^2)	النسبة من المساحة الكلية (%)
5	عالية الملائمة	189.31349	42.8
4	ملائمة	165.481858	37.4
3	متوسطة الملائمة	84.060717	19
2	ضعيفة الملائمة	4.062869	1
1	غير ملائمة	0.039561	42.74

خريطة 12. الملائمة لحصاد مياه الأمطار بحوض وادي الرمل.



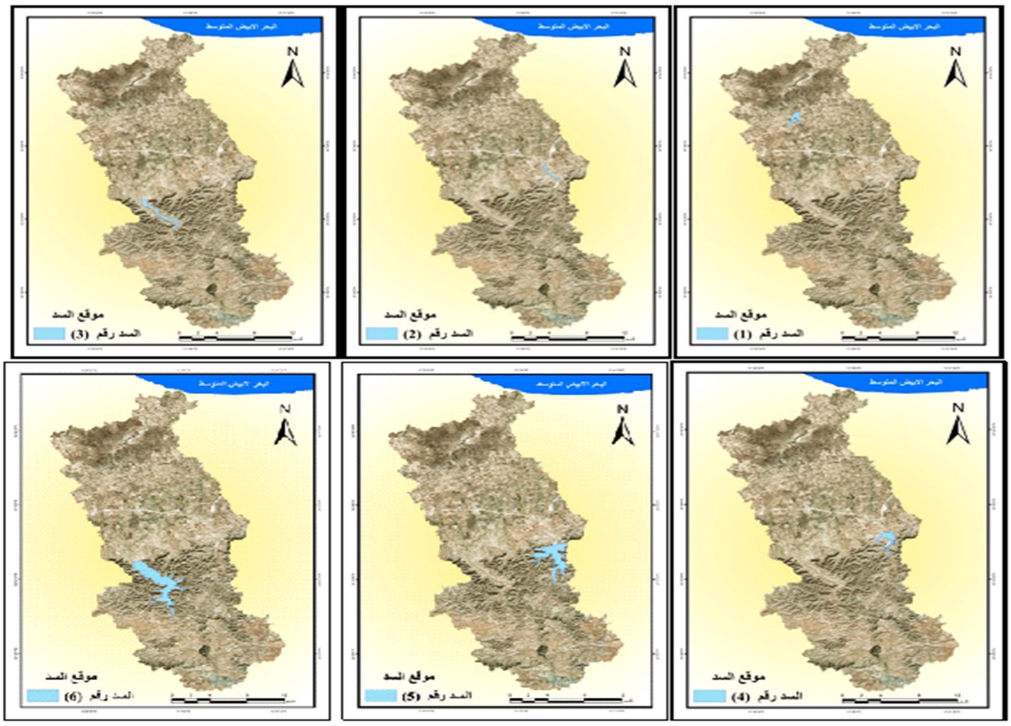
اختيار المواقع الملائمة للسدود:

تم استخراج عدد 6 سدود بالمنطقة وفقاً لمعايير الملائمة بالمنطقة وبالاعتماد على خطوط الكنتور (20 متر) (خريطة الملائمة+ الخريطة الكنتورية). حيث تم من خلالها مطابقة الخريطتين وتم واستخراج المواقع التي يمكن إقامة سدود عليها، وذلك من خلال توصيل أقرب خطي كنتور ليكون جسم السد والمنطقة المغلقة تكون بحيرة السد. (خريطة 13)، السدود المقترحة.



تقع أغلب المواقع المقترحة في المناطق الجبلية والتي تميزت بملائمتها العالية بسبب أشكال الوديان ومناطق التجميع الكبيرة. وتم اقتراح السد الأول في المنطقة الملائمة في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة عند خط كنتور 100 متر. وفي الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة تم استنتاج واقتراح مواقع عدة سدود في الجزء الشمالي من المنطقة السلسلة الجبلية، حيث تم استنتاج سدين عند خط الكنتور 180 متر، وسدين عند خط كنتور 200 متر. والجدير بالذكر أن هذين السدين مكررين أي أصغرها عند خط كنتور 180 متر ويمكن أن تقام بشكل أكبر بزيادة طول السد وهو المسافة الواصل بين خطي نفس الكنتور.

خريطة 14. مواقع السدود المقترحة.



حساب طول وارتفاع السد وحجم بحيرة السد:

لحساب طول السد تم استخدام أداة المسطرة Measure في برنامج الارك ماب، وقياس المسافة بين خطي الكنتور المكونة لحوض السد، واختيار السدود ذات الطول المقبول، لأنه كلما زاد طول السد زادت التكلفة. ولهذا اعتمدت الدراسة السدود الي يصل طولها إلى 1 كيلو متر. وكان أقصى طول هو للسد 5 حيث بلغ 1000 متر، وبلغ أقل طول 265 متر للسد 2.

فيما يخص ارتفاع السدود فتم حسابها اعتمادا على المقطع العرضي لكل سد (شكل1) وذلك من خلال رسم خط على طول السد وتحويله إلى ثلاثي أبعاد في بيئة برنامج الارك ماب من خلال الأداة 3D في شريط الأدوات. ومن خلال الشكل يمكن تحديد أعلى نقطة في المجرى وأدنى نقطة وعليه تم تحديد ارتفاع السدود.

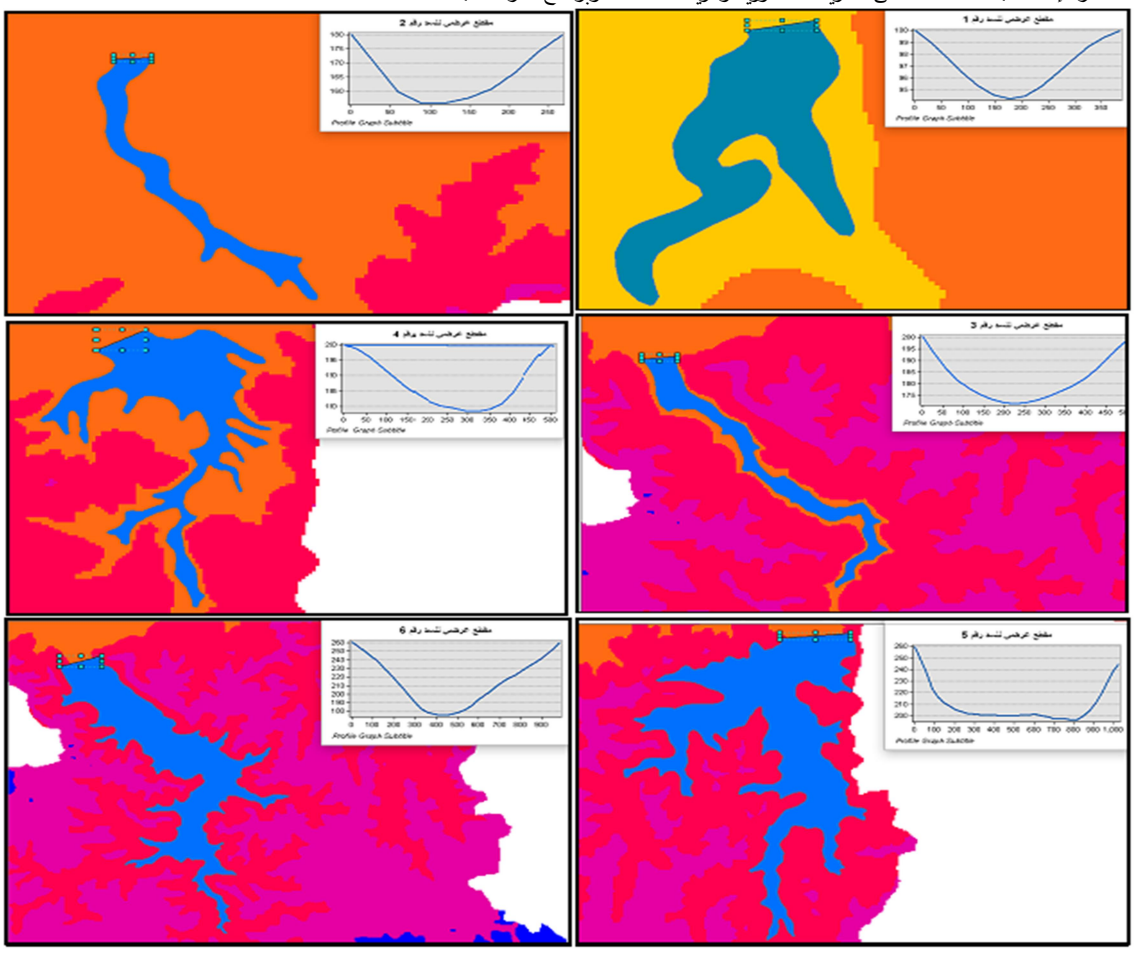
لقياس حجم البحيرة تم اعتماد طريقة الراستر Raster Pixels، حيث تم تحويل خريطة جسم كل سد من Polygon إلى Raster، ومن المعروف أن خريطة الراستر تتكون من مجموعة من وحدات صغيرة معلومة المساحة Pixels. ومن ثم تحويل الراستر إلى نقاط (Raster to Point) بحيث يكون جسم كل سد عبارة عن مجموعة من النقاط التي

تعبر عن عدد البيكسل في كل سد. وبتطبيق عمليات حسابية على بيانات كل خريطة في جدولها في برنامج الارك ماب تم تحديد العمق، وذلك بطرح ارتفاع ارتفاعات البيكسل الناتجة من (خطوط الكنتور لكل سد) وكان الناتج قيم موجبة وقيم سالبة، تم إهمال السالبة والتي تدل أن ارتفاع البيكسل أكبر من ارتفاع جسم السد، بالتالي فهي تقع خارج منطقة السد وحوضه. وبمعرفة مساحة كل بيكسل (900 متر مربع) والعمق المتحصل عليه تم الحصول على حجم بحيرة السد عند كل عمق وكذلك الحجم الكلي الذي يدل على السعة الاستيعابية لكل سد (جدول 11).

جدول 11. طول وارتفاع السدود ومساحة البحيرات.

السدود المقترحة	الطول(م)	الارتفاع (م)	ارتفاع السد (م)	مساحة بحيرة السد ($كم^2$)	حجم بحيرة السد (مليون $م^3$)
1	380	100	6	1	1.684
2	265	180	25	0.456382	2.17
3	500	200	30	1.518873	11.428
4	450	200	22	1.6	1.187
5	1000	260	60	5.719	151.574
6	900	260	85	8.201376	253.258

المصدر: إعداد الباحثة استناداً على الخريطة الكنتورية وخريطة الملائمة وبرنامج الارك ماب.



شكل 1. المقاطع العرضية للسدود المقترحة بحوض وادي الرمل.

النتائج:

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج تمثلت في:

1. نجاح استخدام طريقة التحليل الهرمي وتطبيقه لاتخاذ القرار لاقتراح مواقع سدود لحصاد مياه الأمطار في المنطقة، بموازنة عدد 8 معايير تتماشى مع ظروف منطقة الدراسة.

2. اقتراح عدد 6 مواقع ملائمة لحصاد مياه الأمطار عن طريق السدود، و حساب ارتفاع وطول هذه السدود وكذلك السعة الاستيعابية لها من خلال حساب حجم بحيرة كل سد. كما تشير الدراسة بأن السد رقم 1 هو سد صغير من حيث العمق والمساحة وبالتالي كمية المياه التي يمكن تجميعها صغيرة. يليه السد رقم 2 أما السدين الثالث والرابع فهما سدين مقترحين في بداية المنطقة الجبلية وطولها مناسب وكذلك العمق ويمكن الحصول على كميات مياه جيدة يمكن الاستفادة منها واستعمالها بالمنطقة وكذلك لتغذية المياه الجوفية. كما تشير إلى أن السدين المقترحين الخامس والسادس فهما سدين مكررين للسدين الثالث والرابع لانهما عند خط كنتور أكبر بالتالي طول السد أكبر وكذلك العمق والمساحة اللذان يؤثران على حجم المياه الممكن تخزينها، فحجم المياه يزداد بزيادة المساحة والعمق. وتشير أيضاً إلى أنه كلما زاد طول السد وعمقه كلما زادت التكلفة بالتالي نتائج هذه الدراسة والسدود المقترحة متنوعة من حيث ميزانية الإنشاء.

بناء على ما تم التوصل إليه من نتائج توصي الدراسة بالآتي:

1. ضرورة بناء قاعدة بيانات جغرافية وهيدرولوجيا ومناخية على مستوى المراكز البحثية بشكل خاص، ومستوى الدولة بشكل عام تكون متاحة للطلبة والمختصين بالدراسات والأبحاث العلمية. لتفادي الصعوبة التي تواجه البحاث في الحصول على البيانات اللازمة في الدراسة.

2. الرفع من مستوى وعي المواطنين بأهمية المياه، وما تقدمه تقنية حصاد مياه الأمطار من فوائد لاستمرار الحياة. وانه يمكن استغلال أسطح المنازل أيضا لتجميع كميات كبيرة من مياه الأمطار تقلل من العبء على المياه الجوفية وذلك عن طريق تفعيل دور الإعلام والإرشاد الزراعي.

3. لقد سبقت الاشارة إلى ان الدراسة اقترحت مواقع 6 سدود للاستفادة من مياه الأمطار، لذا نأمل من ذوي العلاقة من صناع القرار الاستفادة مما توصلت إليه هذه الدراسة في هذا السياق لكي يتم الاستفادة من أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار التي تذهب هدراً إلى البحر.

4. يمكن لذوي العلاقة الاستفادة من مياه الأمطار من خلال ما توصلت إليه هذه الدراسة حفاظاً على التربة من الانجراف والمحافظة على الغطاء النباتي من التدهور.

5. لفت انتباه الهيدرولوجيين والمهتمين بمجال مياه العيون الموجودة بالمنطقة لأنها مواضيع ذات أهمية كبيرة في هذا المجال ولم يسبق دراستها.

المراجع:

الصبابحة، نوح محمد على حسن. (2013). تقييم احتمالية الحصاد المائي في حوض الجفر جنوب شرق الأردن باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (R.S) و نظام المعلومات الجغرافية (GIS). رسالة دكتوراه. كلية الدراسات العليا، الجامعة الأردنية – الأردن.

النوايسة، سامر عوض والزغول، ميسون بركات. (2022). اختيار المواقع المحتملة للحصاد المائي باستخدام النمذجة المكانية المتعددة المعايير في حوض وادي الموجب، جنوبي الأردن. مجلة اتحاد الجامعات العربية للآداب،المجلد (17)، العدد (2).

Adham, A., Sayl K. N., Abed, R., Abdeladhim, M. A., & Wesseling, J. G. (2018). A GIS-based approach for identifying potential sites for harvesting rainwater in the Western Desert of Iraq. International Soil and Water Conservation Research, 6(4), 297–304.

Al-Adamat, R., Diabat, A., & Shatnawi, G. (2010).Combining GIS with multicriteria decision making for sitting water harvesting ponds in Northern Jordan. Journal of Arid Environments, 74(11), 1471–1477.

Critchley, W., Siegert, K., Chapman, C., & Finkel, M. (1991). Water Harvesting a manual for design and construction of water harvesting schemmes for plant production. Water harvesting AGL/MISC/17/91. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2003). Land and water digital media series, 26. Training course on RWH.

Isioye, O.A., Shebe, M.W., Momoh, U.O., Bako, C.N., Mati, B., De Bock, T., Malesu, M., Khaka, E., Oduor, A., Nyabenge, M., & Oduor, V. (2012). A Multi Criteria Decision support system (MDSS) for Identifying Rainwater harvesting site(s) in ZARIA kaduna state, NIGERIA. Scholars. Vol.1,Issue – 1.

Krois, J., Schulte, A. (2014). GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. Applied Geography, 51, 131–142.

Mahmoud, S.H., & Alazba, A.A. (2014). The potential of in situ rainwater harvesting in arid regions: developing a methodology to identify suitable areas using GISbased decision support system. Arabian Journal of Geosciences .

Maina, C.W., Raude, J.M. (2016). Assessing land suitability for rainwater harvesting using geospatial techniques: A case study of Njoro catchment, Kenya. Applied and Environmental Soil Science.

Mati, B.T., De Bock, M., Malesu, E., Khaka, A., Oduor, M., & Nyabenge, V. (2006) Oduor.Mapping the potential of rainwater harvesting technologies in Africa. A GIS overview on development domains for the continent and ten selected countries.Technical Manual, Vol.6.

Mati, B.T., De Bock, M., Malesu, E., Khaka, A., Oduor, M., & Nyabenge, V. (2006) Mapping the potential of rainwater harvesting technologies in Africa. A GIS overview on development domains for the continent and ten selected countries.Technical Manual, Vol.6

Munyao, J.N. (2010). Use of satellite products to assess water harvesting potential in remote areas of Africa: a case study of Unguja Island, Zanizbar (Doctoral dis- sertation, MSc thesis.

Ramakrishnan, D., Durga Rao, K. H. V., & Tiwari, K. C. (2008). Delineation of potential sites for water harvesting structures through remote sensing and GIS techniques: a case study of Kali watershed, Gujarat, India. *Geocarto International*, *23*(2), 95-108.

Saaty, T.L. (2008). Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 978-0-9620317-8-6. (This book is the primary source for the sections in which it is cited.

Toosi, A.S., Tousi, E.G., Ghassemi, S. A., Cheshomi, A., & Alaghmand, S. (2020). A multi-criteria decision analysis approach towards efficient rainwater harvesting. Journal of Hydrology, 582, 124501.

Spatial suitability of rainwater harvesting in Wadi Al-Raml Basin area in Libya using geographic information systems and hierarchical analysis

Abeer Fayez Al-Krekchi[*1], Najat Mohammed Al-Mahdawi[2], Hussein Ayad Al-Majdhub[3], Mohammed Faraj Al-Maqla[4]

[1]Libyan Center for Climate Change Research
[2]Department of Geography, Faculty of Arts, University of Tripoli, Tripoli, Libya
[3]Applied Research and Development Authority, Tripoli, Libya
[4]Department of Geographic Information Systems, National Center for Agricultural Development Studies
[*]aalkrekchi74@gmail.com

Received 02-11- 2024, Accepted 30-12- 2024, Published 31-03- 2025
doi.org/10.5281/zenodo.15324136

Abstract:

Water resources management is one of the main issues that interest the world, especially in light of the droughts that many countries are suffering from. This has contributed to increasing the importance of focusing on rainwater harvesting in general and building dams and choosing suitable sites for them in particular, so that they contribute to collecting the largest possible amount of rainwater to confront drought and combat environmental degradation. This study dealt with the selection of the most suitable sites for the construction of dams in the Wadi Al-Raml Basin, which extends area of 442.958495 km² between the Mediterranean coast in the north and Mountains of Tarhuna in the south, and Al-Qarabulli at the east, and at the west Tajoura area, with a minimum height of 1m,and a maximum height 514m above sea level. The most important characteristics of the study area were analyzed using ArcMap 10.3 program, as well as analyzing the climatic elements of the study area during the period (1981 to 2021) from the NASA Power data, and by identifying eight criteria in the study area, representing them on maps and determining their weights according to their importance using the AHP method, and merging them with the overlay. The study concluded the High efficiency of Gis and Ahp techniques to determine the Suitable sites for dams in the Wadi Al-Raml Basin. The map showed five ranges according to the degree of suitability, ranging from highly suitable ranges to unsuitable ranges. The results also indicate that 42.8% of the area is considered highly suitable, 37.4% is suitable, 19% is moderately suitable, 1% is poorly suitable and 42.74% is unsuitable for dam construction. After matching the suitability map with the contour map of the area, the locations of six dams were determined in four different areas of the basin at different elevations.

Keywords: *Rainwater harvesting - Dams - Geographic Information Systems GIS - Hierarchical Analysis Ahp - Overlay matching.*