https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

الملائمة المكانية لاختيار أنسب المواضع لإقامة السدود في حوض وادي القود بمدينة المرج شرق ليبيا

د. سعد رجب لشهب

أستاذ مساعد بقسم الموارد والبيئة كلية الآداب والعلوم – الأبيار

جامعة بنغازي– ليبيا.

saadlashhab@gmail.com

الملخص:

هدفت الدراسة إلى تحديد العوامل المؤثرة في اختيار مواقع السدود في حوض وادي القود جنوب مدينة المرج، واستنباط معايير أساسية لبناء نظام لتقييم الملاءمة المكانية. واعتمدت الدراسة على التحليل المكاني، والأسلوب الكمي التحليلي، وأساليب المعايير المتعددة لتصنيف المواقع وفق صلاحيتها، وأظهرت النتائج أنّ موضع سد وادي القود القائم غير ملائم، واقترحت ثلاثة مواقع بديلة ملائمة مع تحديد إحداثياتها وارتفاعاتها فوق سطح البحر الموقع الأول على تقاطع خط طول 20°57'2.99"شرقًا، ودائرة عرض 32°24'6.10"شمالًا، على ارتفاع 508 مترًا، والموقع الثاني على تقاطع خط طول 20°57'12.21"شرقًا، ودائرة عرض 32°22'57.90" شمالًا على ارتفاع 579 مترًا، والموقع الثالث على تقاطع خط طول 20°58'59.52" شرقًا، ودائرة عرض 32°23'54.47" شمالًا، على ارتفاع 571 مترًا فوق مستوى سطح البحر.

الكلمات المفتاحية: القود، السد، الملاءمة، نموذج، المعايير.

–الجزء الأول من بحوث المؤتمر الجغرافي الثامن عشر والذي عقد بجامعة الجفرة بتاريخ 17–18– ديسمبر 2025 ، بعنوان (**البيئات الجغرافية الليبية الجافة وشبه الجافة: الواقع – الآفاق – التحديات** ، (**2026.08.15 م**) **https://jlgs.ly/ojs**.

Spatial Suitability for Selecting the Most Appropriate Sites for Dam Construction in the Wadi Al-Qoud Basin, Al-Marj City, Eastern Libya

Saad R. Al-Shahib
Assistant Professor, Department of Resources and Environment
Faculty of Arts and Sciences – Al-Abyar, University of Benghazi- Libya
saadlashhab@gmail.com

Abstract

The study aimed to identify the factors influencing the selection of dam sites in the Wadi Al-Qoud basin, south of Al-Marj city, and to develop key criteria for a system to evaluate site suitability. The study relied on spatial analysis, quantitative analytical methods, and multi-criteria evaluation techniques to classify sites according to their suitability. The results indicated that the existing Wadi Al-Qoud dam site is unsuitable and proposed three alternative suitable locations, with their coordinates and elevations above sea level as follows: Site 1: 32°24'6.10" N, 20°57'2.99" E, elevation 508 m Site 2: 32°22'57.90" N, 20°57'12.21" E, elevation 579 m Site 3: 32°23'54.47" N, 20°58'59.52" E, elevation 571 m

***Keywords*:** Al-Qoud, dam, suitability, model, criteria

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

مقدمة:

تُعدّ الموارد المائية واحدة من أهم متطلبات بناء المجتمعات المدنية والريفية وتطورها، فتقدير وإدارة الموارد المائية يكتسب مكانة كبيرة في التخطيط الإستراتيجي لجميع شعوب بلدان العالم خاصة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة. (الكيلاني، وبرقان، 2020، ص219)، وظلّت الحاجة ماسة لحجز المياه السطحية في المناطق الجافة وشبه الجافة بوساطة إنشاء السدود في مواقع مختارة، ويُعدّ هذا من أحد الوسائل المهمة لاستقرار البلاد ونموها في هذه المناطق.

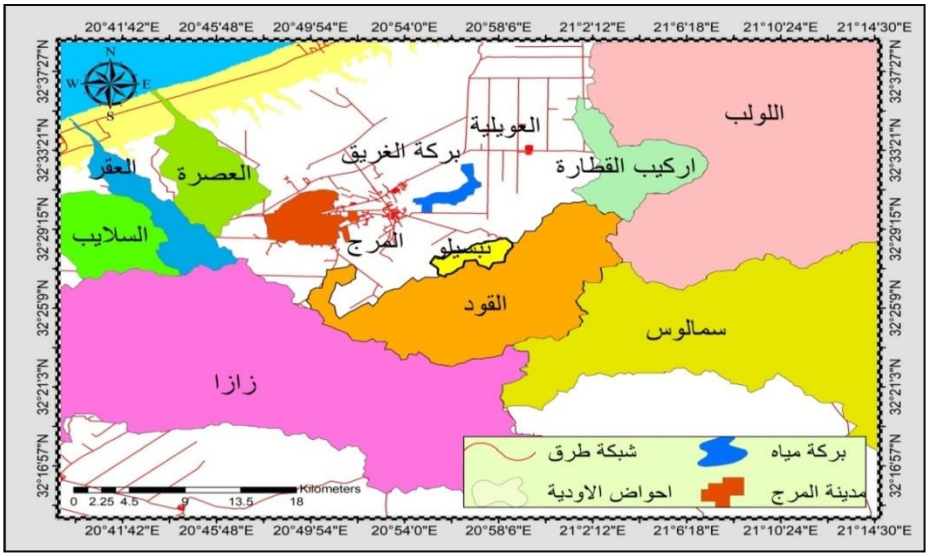
ويتطلب هذا الأمر تأمين المعلومات الضرورية من مصادرها، وتحليلها وانتاجها بالسرعة والكيفية المناسبة للمخططين ومتخذي القرار من أجل اختيار المواقع المناسبة لإنشاء السدود والحد من مشاكل نقص المياه التي تواجه الناس في هذه المناطق، ومن ثَمّ الحد من المشاكل والآثار السلبية الناتجة عن الاختيار غير الملائم لمواقع السدود المقترحة، وفي جميع الأحوال تتطلب الأمور المتعلقة باختيار المواقع المناسبة لإنشاء السدود جهودًا فنية ومادية. (الجنيد، 2001، ص11)، وتشكّل السدود إحدى التقنيات القديمة نسبيًا، والتي تستخدم أيضًا في حصاد مياه الأمطار الناتجة عن مياه السيول التي تجري في الأودية في فصل الأمطار، ويُعرّف السد بأنّه إنشاء هندسي يقام فوق وادٍ أو منخفض بهدف حجز المياه، وأنّ الهدف الرئيس من السدود هو الحفاظ على المياه من أجل الاستعمال القريب أو البعيد بمعنى الحفاظ عليه من أجل المستقبل (زيدان وجبار، 2011، ص193)، فإنشاء السدود في مواضع مختارة يتطلب العديد من المعلومات عن بيئة الموضع من حيث انحدار السطح، وطبيعة انماط التصريف النهري في الحوض، وتكوينه الصخري، والتربة والغطاء النباتي ومعدلات هطول الأمطار، وأنماط الغطاء الأرضي طبيعي أو بشري على حد سواء؛ لتجنب الكثير من المشاكل والآثار السلبية الناتجة عن الاختيار غير الملائم لمواضعها.

موقع منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي القود جنوب مدينة المرج على الحافة الثانية للجبل الأخضر، ويخترق مجراه الرئيسي الذي يسمى سيل القود سهل المرج ليصب في بركة أم المخالي (الغريق)، وتبلغ مساحة الحوض 158.77كم^2، ومحيطه 82.85 كم، ويبلغ طوله 22.7 كم، وأقصى عرض له 9.9 كم، يحده شمالًا سهل المرج، وجنوبًا حوض سمالوس، أمّا شرقًا فحوضا اركيب القطارة واللولب، وغربًا

حوض زازا، وفلكيًا يقع بين دائرتي عرض 21.04.15 و20.49.54 شمالًا، وخطي طول 32.23.06 و 32.29.51 شرقًا.

الشكل (1) موقع وحدود منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث باستخدام برنامج Arc Map10.8

مشكلة الدراسة:

على الرغم من إنشاء عدة سدود على امتداد وادي القود بهدف حماية الأراضي الزراعية والمناطق السكنية من مخاطر السيول، إلّا أنّ بعض هذه السدود تفشل في احتواء التدفقات المائية في السنوات ذات الهطول المطري المرتفع، مما يؤدي إلى اجتياح المياه للأراضي المجاورة ويُعزى ذلك إمّا إلى قصور في كفاءة التصميم الهندسي لهذه السدود، أو إلى عدم ملاءمة مواقع إنشائها من الناحية الهيدرولوجية والطوبوغرافية، مما يستدعي دراسة معمقة لتقييم فاعليتها وإمكانية تحسينها، وتأسيساً على ما سبق يمكن صياغة مشكلة الدراسة في التساؤل الآتي:

– ما مدى كفاءة السد المقام على وادي القود في الحد من مخاطر السيول، وما تأثير موقعه في حماية الأراضي الزراعية والمناطق السكنية ؟

فروض الدراسة:

1– من المحتمل أنْ يكون موقع السد الحالي غير ملائم، ولا يتوافق مع المعايير المعتمدة لإقامة السدود.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

2- إنّ العوامل الجيولوجية تؤثر على استقرار وكفاءة السدود الحالية في وادي القود، مما يتطلب إعادة تقييم مواقعها وهياكلها.

3- توجد عدة مواقع داخل حوض وادي القود تتوافق مع المعايير الفنية والهيدرولوجية، مما يجعلها أكثر ملاءمة لإنشاء السدود.

أهداف الدراسة:

1- دراسة العوامل الجيومورفولوجية والهيدرولوجية المؤثرة في اختيار مواقع السدود.

2- استنباط معايير اساسية يمكن الاعتماد عليها في بناء نظام لاختيار مواقع مناسبة لإنشاء السد.

3- استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونمذجة البيانات المكانية في تحديد المواقع المثلى للسدود.

مصادر الدراسة وبياناتها:

الجدول (1) مصادر البيانات المستخدمة في الدراسة

المصدر	البيانات	الغرض
موقع المساحة الأمريكيةUSGS	أنموذج الارتفاع الرقمي	إنشاء نماذج الانحدار واتجاه الانحدار واستخلاص العناصر الهيدرولوجية
مركز البحوث الصناعية، خريطة ليبيا الجيولوجية، لوحتا بنغازي والبيضاء، مقياس رسم 250.000:1	التكوينات الجيولوجية	خريطة التكوينات الصخرية
خرائط اسخوز بروم الروسية Export, Selkhozprom	أنواع التربة	خريطة أنواع التربة
Google Earth Profissional	شبكة الطرق	مدى إمكانية الوصول
أنموذج الارتفاع الرقمي أداةHydrology	شبكة الأودية	المصدر الرئيسي لمياه السد
محطة أرصاد المرج، ومواقع البيانات المناخية	معدلات الأمطار	المصدر الرئيسي لتغذية الأودية

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على معايير اختيار مواضع السدود

مناهج الدراسة وأساليبها:

- **منهج التحليل المكاني:** تمّ الاعتماد على هذا المنهج في إبراز الاختلافات المكانية وتحليلها بمنطقة الدراسة.

- **الأسلوب الكمي التحليلي:** للتعامل مع البيانات المتعلقة بالعناصر المناخية، وتحليلها وتمثيلها في جداول وأشكال بيانية.

– **أسلوب المعايير المتعددة** (MCDM): لتحديد الملاءمة المكانية لإنشاء السدود تمّ حساب المناسيب والانحدار باستخدام أنموذج الارتفاع الرقمي (DEM) من نوع SRTM بدقة 30×30 مترًا، مع إجراء الإسقاط الجغرافي (UTM 1984) واقتصاص منطقة الدراسة. كما شملت العملية تحليل فئات الانحدار للسطح باستخدام أدوات التحليل المكانية (Spatial Analyst Tools) لتحديد ميل الأرض بالدرجات، وتحويل البيانات من صيغة Vector إلى Raster، ورسم مناطق استخدامات الأرض اعتمادًا على الصور الفضائية، لتكون جزءًا من معايير تقييم المواقع.

– **تحديد المعايير وأوزانها Determine the standards and their weights**:

تُعدّ عملية تحديد المعايير وأوزانها من الخطوات المهمة في إعداد الأنموذج النهائي للملائمة المكانية، وهو بشكل عام يعتمد على نوع البيانات المكانية التي يتم الاعتماد عليها في معرفة المواضع المناسبة لإنشاء هذه السدود.

– **تحليل المسافات Distance**: وهو تحليل مرتبط بعملية المطابقة لأوزان المعايير حيث يتم حساب البُعد عن كل معيار من المعايير المستخدمة في عملية الملائمة، كشبكة الطرق، واستخدامات الأرض والصدوع والنفاذية بحيث تقاس مسافة البعد بالكيلو متر، باستخدام أداة Distance ثم أداة Ecud Distance.

– **تصنيف المعايير classify**: حيث صُنِفت المعايير إلى رتب تبيّن مدى صلاحية البعد والقرب عن كل معيار بالنسبة لاختيار مواقع السدود، ويتم إعادة تصنيف المعايير من صندوق أدوات Arc Tool Box ثم Spatial Analyst Tools، ثم اختيار أداة Reclass ومنها إلى Reclassify، بعد ذلك يتم تصنيف المعايير برتب رقمية من 1. 10.

– **الموازنة النهائية Weighted**: بعد تصنيف المعايير وإعطاء كل معيار نسبة مئوية حسب أهمية المعيار لدى المستخدم من صندوق الأدوات Arc Tool Box ثم Spatial Analyst Tools، ثم اختيار Overlay؛ ليتم وزن المعايير حيث يعطى كل معيار وزن معين (نسبة مئوية) ثم استخدام أداة Weighted Overlay ثم حساب الموازنة عن طريق أداة Map Algebra ثم Raster Calculator ليتم إنشاء أنموذج الملاءمة النهائية.

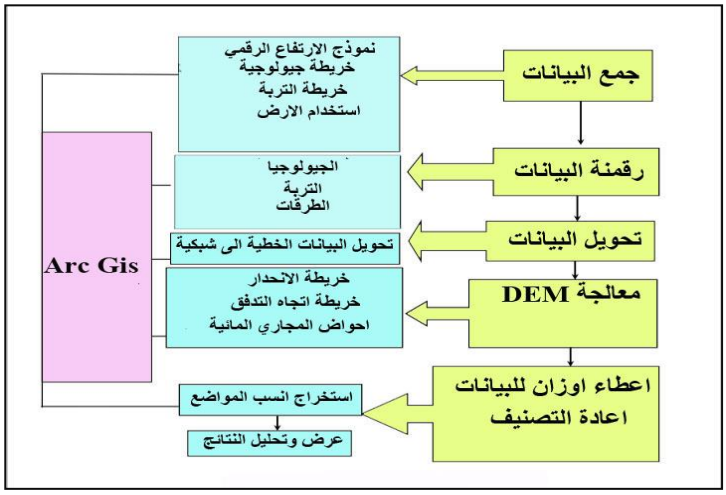
– **مؤشر قدرة النهر على نقل الرواسب SedimentTransport Index (STI)**:

يتم تحديده بتطبيق المعادلة الآتية:

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

STI=Power(Flowaccumulation/22.0.6) ˣPower(Sin(Slope)/0.0896,1.3)

الشكل (2) الإجراءات المنهجية المتبعة



المصدر: من عمل الباحث.

الدراسات السابقة:

– **دراسة أحمد محمد فاضل الجنيد**، (2001)، هدفت إلى وضع معايير أساسية لاختيار مواقع مناسبة لإنشاء السدود الصغيرة في اليمن، واعتمدت منهجية بحثية تضمنت مرحلة نظرية لمراجعة الأدبيات والدراسات السابقة، ومرحلة ميدانية شملت جمع بيانات عن مشاريع السدود، وإجراء مقابلات واستبيانات مع مختصين، وخلُصت الدراسة إلى تحديد مجموعة من المعايير الأساسية التي يمكن اعتمادها لتطوير نظام يساعد في اختيار مواقع السدود وتحديد نوعها المناسب، وأظهرت النتائج أنّ استخدام الحاسوب في تطبيق النظام يسهم في تحسين دقة وسهولة عملية الاختيار.

– **دراسة فاروق محمد علي حسين الزيدي**، (2019)، تناولت تصميم السدود المائية باستخدام مستخلصات المعلومات الهيدرولوجية تطبيقًا عمليًا في مناطق الأودية الجافة بالعراق، حيث تبرز صعوبات في جمع البيانات المتعلقة بالأمطار والسيول. واعتمدت الدراسة على التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لمعالجة بيانات الأمطار وتحديد حدود الأحواض المائية وشبكات التصريف. كما تمّ حساب مجموعة من المتغيرات الهيدرولوجية مثل زمن التركيز، مما ساعد في توفير بيانات دقيقة وموثوقة لدعم تصميم السدود في بيئات تعاني شح المعلومات.

– **دراسة عبد الله الصويعي**، (2020)، تقييم اختيار موضع سد بحيرة وادي زازت بالاعتماد على الخرائط الكنتورية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية. وركزت على تحليل مجموعة من المعايير تشمل: الانحدار، الجريان السطحي، التغذية الجوفية، السلامة البيئية، والقدرة الإنتاجية، بهدف التحقق من ملاءمة موقع السد. واعتمد الباحث على تحليل الخصائص المورفومترية والطبوغرافية، وتحديد خطوط تقسيم المياه والرتب المائية لحوض وادي زازت، مما مكّنه من إعداد قاعدة بيانات دقيقة لتقييم الموقع واختيار أنسب موقع جغرافي لإقامة السد.

– **دراسة علاء حكيم، وصارة ورغي** (2022)، دراسة في حوض وادي نعمان بمكة المكرمة لدمج تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي بهدف تحديد أنسب مواقع السدود. وتوصّلت إلى خريطة ملاءمة صنّفت المنطقة إلى خمس درجات، وأظهرت أنّ 6% فقط عالية الملاءمة، فيما تمّ تحديد موقعين مثاليين لإقامة السدود في وادي المجاريش (20 كم^2) ووادي نعمان الرئيس (3.5 كم^2)

– **دراسة لشهب** (2025)، بعنوان تحليل المتغيرات الهيدرولوجية لحوض وادي القود وتأثيرها على بركة أم المخالي بسهل المرج . ليبيا، هدفت إلى التعرّف على الخصائص الجيومورفولوجية للحوض وتقدير الجريان السطحي والمعاملات الهيدرولوجية المرتبطة به، إضافة إلى تحليل التغيرات في مساحة وحجم المياه بالبركة. واعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وأساليب التحليل الإحصائي. وتوصّلت النتائج إلى أنّ معدل التصريف بلغ (50.3 م^3/ث)، وحجم التصريف (7938.5 م^3/ث)، في حين بلغ الحجم الإجمالي للجريان السطحي نحو (30.42 كم^3/سنة). كما بيّنت أنّ أعلى هطول مطري سجل في عام 1975 (530.9 ملم) مع مساحة مغمورة أقل، مقابل عام 2019 الذي شهد هطولًا أقل (319.8 ملم) لكن بمساحة مغمورة أكبر، مما يعكس التأثير المباشر للتباين المطري على ديناميكية البركة. وانتهت الدراسة بمجموعة من التوصيات التي تسهم في تخفيف حدة هذه التغيرات.

المعايير المستخدمة في اختيار مواقع السدود:

– **المعايير الطبوغرافية:** تمّ تطبيق المعايير الطبوغرافية على شريحة مخطط الانحدارات؛ بحيث يكون الانحدار مقبول لسطح الأرض التي يقع ضمنها موقع السد بحيث تكون منبسطة وذات ميول بسيط لتجميع أكبر كمية من المياه.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

– **المعايير الجيولوجية والتربة:** يجب الأخذ بعين الاعتبار توزيع التكوينات الصخرية والتراكيب الجيولوجية في تعين مواقع السدود، فمن المتطلبات الجيوتقنية لتصميم السدود أنْ تكون المواقع المختارة واقعة على أرض ذات أساس متين بعيدة عن التصدعات والتفلقات الصخرية التي غالبا تمثل نطاقات ذات نفاذية عالية.

– **المعايير الهيدرولوجية:** المعيار الأهم لاختيار المواقع هو أنْ تحدد مواقع السدود ضمن شبكة المسيلات المائية، وبالأخص المسيلات المائية ذات الرتبة الكبيرة فيتم الاعتماد على إنشاء السدود في الرتب الكبيرة أولًا والرتب الأصغر ثانيًا على الخريطة الهيدرولوجية.

– **معايير استخدامات الأرض:** هي مجموعة واسعة تضم كامل بيانات الاستخدام الأرضي من طرق وسكك حديدية، ومدن ومراكز عمرانية، ومنشآت صناعية، وأراضي وحيازات زراعية، ومواقع عسكرية، ومطارات، وجميعها تعد قيود بشرية تحد من ملائمة مواضع السدود.

الجدول (2) معايير أنسب المواضع لإنشاء السدود

نوع المعيار	المعيار	الفئات	الملائمة
طبوغرافي	درجة الانحدار	منطقة منبسطة متوسطة الانحدار شديدة الانحدار	عالية الملاءمة متوسطة الملاءمة غير ملائمة
الجيولوجيا والتربة	التكوينات الجيولوجية	عالية النفاذية متوسطة النفاذية قليلة النفاذية	غير ملائمة متوسطة الملاءمة عالية الملاءمة
	البعد عن الصدوع	بعيد قريب	ملائمة غير ملائمة
	المسامية	مسامية عالية مسامية متوسطة مسامية منخفضة	غير ملائمة متوسطة الملاءمة عالية الملاءمة
مناخي	معدل هطول الأمطار	معدلات هطول عالية معدلات هطول منخفضة	ملاءمة غير ملائمة
بشري	البعد عن استخدامات الأرض	بعيد قريب	ملاءمة غير ملائمة
معايير ثانوية	الغطاء النباتي	كثيف متوسط ضعيف	غير ملائمة متوسطة الملاءمة عالية الملاءمة

المصدر: من عمل الباحث نقلًا عن جمعة داوود معايير اختيار مواقع السدود

التكوينات الجيولوجية:

– **رواسب العصر الرباعي:** تتألف هذه الرواسب من طفل رملي وحصى وغرين وحصى متماسك، وتظهر هذه الرواسب بالجزء الأدنى من الحوض على شكل شريط طولي يبلغ أقصى اتساع له 1.8 مترًا، كما تظهر رواسب الغرين في مواضع متفرقة في الجزء الشمالي من الحوض، وتغطي هذه الإرسابات مساحة قدرها 15.89كم^2، بنسبة مئوية 10% من مساحة الحوض الإجمالية.

– **تكوين الرجمة عضو القطارة:** يتألف من الكالكارانايت المائل إلى البياض وحجر جيري دقيق الحبيبات إلى مجهري متبلور (الكتيب التفسيري، لوحة البيضاء، 1973، ص6)، ولا يظهر هذا التكوين في منطقة الدراسة إلّا في مساحة صغيرة جدًا في نهاية المجرى الرئيسي للوادي، ويشغل مساحة قدرها 0.85 كم^2، بنسبة 1%.

– **تكوين الأبرق:** ويعود للفترة الممتدة من الأوليجوسين الأوسط والعلوي، ويتكوّن من حجر جيري كالكارنيتي وحجر جيري دولوميتي، ومن دولوميت أحيانًا، (الكتيب التفسيري، لوحة البيضاء، 1973، ص6) حيث يشكّل ما نسبته 8% بمساحة إجمالية تبلغ 13.01 كم^2، ويغطي الأجزاء الشمالية الشرقية من الحوض.

– **تكوين البيضاء:** وينتمي للأوليجوسين السفلي، ويتألف من حجر جيري يحتوي على حفريات ومارل، وكميات كبيرة من الطحالب والقنافذ البحرية، (الكتيب التفسيري، لوحة البيضاء، 1973، ص6)، ويغطي مساحة قدرها 2.02 كم^2، بنسبة مئوية 1%، ويظهر في مواضع متفرقة بمساحات صغيرة في الأجزاء العليا من الحوض.

– **تكوين درنة:** تتألف مجمل طبقاته من صخور جيرية بيضاء مصفرة لها نسيج يتراوح بين الدقيق والمتوسط وتحتوي علي حفريات مجهرية وغير مجهرية، كما تتواجد به أنواع عديدة من جبس النوميوليت التابع لرتبة المنخربات القاعية الكبيرة بكثرة، مما يجعل هذا التكوين مميزًا عن باقي التكوينات الأخرى كما تتواجد به أنواع عديدة من جبس النوميوليت التابع لرتبة المنخريات القاعية الكبيرة (الكتيب التفسيري، لوحة بنغازي، 1974، ص5)، ويغطي هذا التكوين مساحة 85.12 كم^2، بنسبة مئوية بلغت 54%،وهو أكثر التكوينات انتشارًا ويغطي معظم مساحة الحوض.

– **تكوين وادي الدخان:** يتكون من حجر دولوميتي إلى حجر جيري دولوميتي رمادي إلى بني دقيق الحبيبات، وتكون طبقات هذا التكوين غالبًا مغطاة بصخور مجوفة بها بعض الشوائب،

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

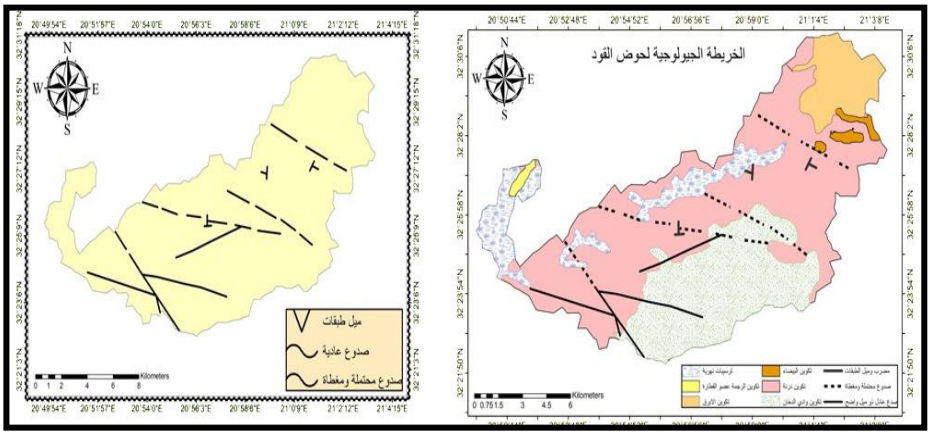
ويغطي هذا التكوين الجزء الجنوبي من الحوض بمساحة تبلغ 41.88 كم^2 من المساحة الإجمالية للحوض وبنسبة 26%.

الجدول (3) التكوينات الجيولوجية ومساحاتها ونسبها المئوية في حوض القود.

ر م	التكوين	المساحة/ كم^2*	النسبة%*	المسامية
1	رواسب الزمن الرابع	15.89	%10	منخفضة
2	تكوين الرجمة عضو القطارة	0.85	%1	متوسطة
3	تكوين الأبرق	13.01	%8	متوسطة
4	تكوين البيضاء	2.02	%1	عالية
5	تكوين درنة	85.12	%54	عالية
6	تكوين وادي الدخان	41.88	%26	عالية
-	**المجموع**	**158.77**	**%100**	-

المصدر: حساب الباحث اعتمادًا على قياسات لوحة البيضاء الجيولوجية، مركز البحوث الصناعية، بمقياس رسم 250.000:1. *حسبت من الخريطة الجيولوجية.

الشكل (3) التكوينات الجيولوجية والصدوع حوض القود



المصدر: عمل الباحث استنادًا إلى الخريطة الجيولوجية، لوحتي بنغازي والبيضاء، باستخدام برنامج Arc Gis10.8

- البنية الجيولوجية: تُعدّ الحركات التكتونية التي بدأت من الكريتاسي العلوي واستمرت حتى أواخر الزمن الثالث هي المسئولة عن وجود الالتواءات والخطوط الصدعية في المنطقة، (A.S. El-Hawat E.O. Abdulsamad, (2004), ,p,6) وذلك كما يأتي:

الجدول (4) أطوال الصدوع واتجاهاتها في حوض وادي القود.

الصدوع العادية	الطول/ بالكم*	الاتجاه	الصدوع المحتملة	الطول/ بالكم*	الاتجاه
1	4.6	شمال غرب جنوب شرق	1	6.3	شمال غرب جنوب شرق
2	5.6	غرب شرق	2	5.5	شمال غرب جنوب شرق
3	4.3	جنوب غرب شمال شرق	3	9.1	غرب جنوب شرق
-	-	-	4	6.9	شمال جنوب

المصدر: حساب الباحث اعتمادًا على قياسات لوحة البيضاء الجيولوجية، مركز البحوث الصناعية، بمقياس رسم 250.000:1.

الصدوع العادية تتشكّل نتيجة تعرّض الكتل الصخرية لقوى الشدّ التكتوني، مما يؤدي إلى انخفاض الحائط العلوي (المعلّق) بالنسبة للحائط السفلي على طول مستويات الصدع، وتنتشر هذه الصدوع بكثافة في وسط الحوض والجزء الجنوبي الغربي منه، حيث تتخذ في الغالب اتجاهًا شمال شرق– جنوب غرب. وتتراوح أطوالها بين 4 و5.5 كيلومترات، مما يعكس تأثير العمليات التكتونية النشطة في تشكيل بنية الحوض وتوجيه أنماط تصريفه الهيدرولوجي، أمّا الصدوع المحتملة فتمثّل تشققات جيولوجية غير محددة الإزاحة، وترتبط بشكل أساسي بالنشاط الزلزالي في منطقة الجبل الأخضر، بالإضافة إلى استمرار حركات الرفع التكتوني التي تؤثر على البنية الجيومورفولوجية للمنطقة، وتتراوح أطوال هذه الصدوع بين 5.5 و9.1 كيلومترات، حيث تنتشر بشكل ملحوظ في وسط الحوض، مما يعكس دور العمليات التكتونية النشطة في إعادة تشكيل التضاريس المحلية، ويمكن ربط مواقع السدود بالصدوع العادية والمحتملة من تأثيرها على الاستقرار الجيولوجي والخصائص الهيدرولوجية للحوض، حيث إنّ الصدوع العادية التي تنتشر في وسط الحوض والجزء الجنوبي الغربي منه تؤثر على استقرار التربة والصخور، مما يجعل بعض المواضع غير مناسبة لإنشاء السدود بسبب احتمالية الانزلاق والانهيار، أمّا الصدوع المحتملة والتي ترتبط بالحركة الزلزالية وحركات الرفع المستمرة في الجبل الأخضر فتشكّل تهديدًا إضافيًا لاستقرار السدود، خاصة في المواضع التي تتراوح أطوال الصدوع فيها بين 5.5–9.1 كيلومتر، لذا فإنّ اختيار مواقع السدود يجب أنْ يأخذ

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

في الاعتبار توزيع هذه الصدوع، بحيث يتم تجنب المناطق ذات البنية الجيولوجية الضعيفة، والتركيز على المناطق الأكثر استقرارًا والتي توفر أساسًا صخريًا مناسبًا لدعم جسم السد وتقليل مخاطر التشققات والانهيارات.

– **التربة:** هي الطبقة السطحية الخارجية لقشرة الأرض، والتي يتراوح سمكها من بضعة سنتميترات إلي عدة أمتار كما أنّ زيادة سمك التربة يتوقف علي عوامل البناء والهدم واللذين يتحكم بهما درجه انحدار السطح (لشهب، 2023، ص19)، ومن أنواع الترب في منطقة الدراسة ما يأتي:

التربة الحديدية السليكاتية الحمراء (تيراروزا): تغطي مساحة واسعة من الحوض (48%)، وتنتشر في الجنوب، الشمال الغربي، والشمال الشرقي، وتتميز بوجود الحصى والحجارة وظهور الصخر الأصلي على السطح، مما يؤثر على استقرار الأساسات، كما تتكون من مواد جيرية غنية بالحديد، مما يجعلها متماسكة نسبيًا ولكن ذات نفاذية محدودة، فالمواقع التي تحتوي على هذه التربة تكون مناسبة جزئيًا لإنشاء السدود، ولكن يجب التأكد من استقرار الأساس الصخري وعمق التربة لتجنب التسرب.

الترب السليكاتية القرفية: تتركز في وسط الحوض وشماله الشرقي وجنوبه الشرقي، وتمثّل 13% من المساحة الكلية، وتفتقر إلى العناصر الغذائية وتحتوي على كربونات الكالسيوم بكميات متوسطة إلى عالية، وعادةً ما تكون ضعيفة الهيكلية وقابلة للتآكل، مما يجعلها غير مناسبة لإنشاء السدود، حيث تؤدي إلى فقدان المياه من التسرب وتآكل الضفاف، فإذا اقتضت الحاجة لإنشاء سدود في هذه المناطق يجب تعزيز التربة باستخدام مواد مانعة للتسرب مثل الطين أو الأغشية الاصطناعية.

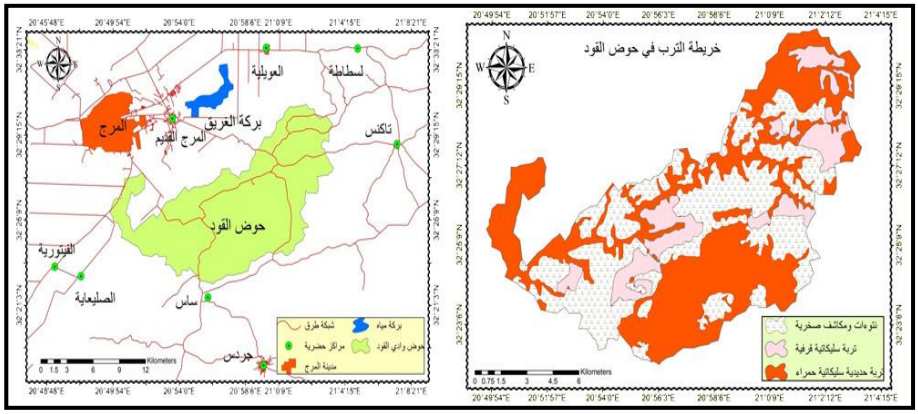
النتوءات والمكاشف الصخرية: تغطي 39% من مساحة الحوض خاصة في المناطق الجبلية والمنحدرات الشديدة، وتوفر أساسًا صخريًا صلبًا يمكن أنْ يكون مناسبًا لإنشاء السدود، لكنه يواجه تحديات مثل قلة التربة الداعمة، مما يزيد من كلفة البناء، فالمناطق ذات المكاشف الصخرية الكبيرة تتسبب في تسرب المياه إذا كانت الصخور متشققة أو غير متماسكة.

الجدول (5) أنواع الترب ومساحاتها ونسبتها في حوض القود.

ر م	التربة	المساحة/ كم²*	النسبة%*
1	تربة سليكاتية قرفية	20.91	%13
2	تربة حديدية سليكاتية حمراء	76.83	%48
3	نتوءات ومكاشف صخرية	61.03	%39
		158.77	%100

المصدر: Selkhozprom Export, USSR. Soil ecological expedition, Soil studies in Eastern zone of the Socialist People Libyan Arab Jamahiriya. Secretariat for agricultural reclamation and land development. Tripoli, (1980).V/o. ، * من حساب الباحث باستخدام برنامج Arc Map10.8

الشكل (4) أنواع الترب وأنماط الغطاء الأرضي في حوض القود.



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على خرائط التربة الصادرة عن Selkhozprom Export, 1980، باستخدام برنامج Arc Map10.8

– الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض: يطلق الغطاء الأرضي على الظواهر الموجودة على سطح الأرض كالمياه والغطاء النباتي والمناطق الحضرية، ولكن استعمال الأرض يعني الغرض أو الهدف من استخدام تلك الأرض (لشهب وآخرون، 2021، ص3)، وتبلغ أطوال شبكة الطرق في الحوض 54.07 كيلومترًا، بنسبة 60%، وتشغل المباني والمنشآت مساحة 6.53 كم²، بنسبة 7%، وتشغل الغابات والأحراش مساحة قدرها 29.25 كم²، بنسبة 33%، جدول (6)، وشكل (5).

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

الجدول (6) الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض داخل الحوض.

نوع الاستخدام	المساحة/ الطول	النسبة%
شبكة الطرق المعبدة	54.07 كم	%60
مباني ومنشآت	6.53 كم^2	%7
غابات	29.25 كم^2	%33
المجموع	89.86	%100

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف المرئية الفضائية.

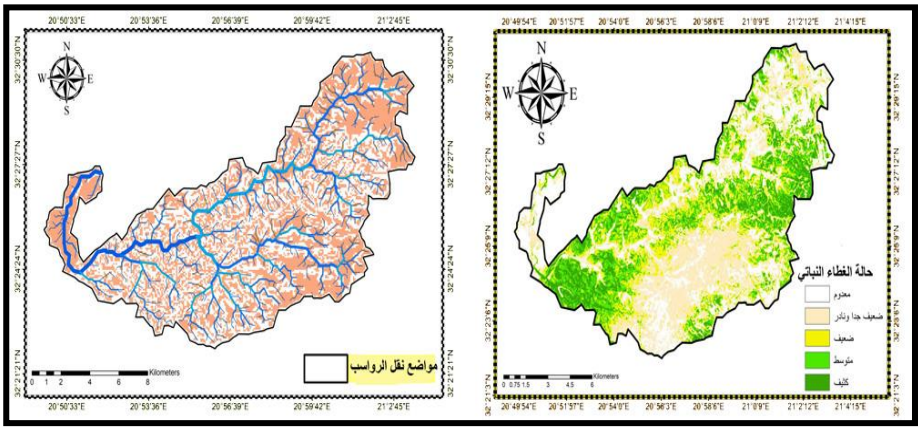
– الغطاء النباتي: من تحليل المرئية الفضائية Land Sat7 باستخدام مؤشر الاختلاف في الكتلة الخضرية NDVI تمّ تصنيف الغطاء النباتي بالحوض إلى أربعة اصناف (كثيف، متوسط، ضعيف، ضعيف جدًا)، حيث بلغت المساحة التي يغطيها النبات الكثيف 17.2 كم^2، بنسبة مئوية 11% من مساحة الحوض الإجمالية، في حين أنّ المساحة التي يشغلها النبات متوسط الكثافة بلغت 28.2 كم^2، بنسبة مئوية بلغت 18%، أمّا المساحة التي يشغلها النبات ضعيف الكثافة بلغت 29.2 كم^2، بنسبة 18%، والضعيف جدًا بمساحة بلغت 49.1 كم^2، بنسبة مئوية بلغت 31%، ، ويعمل الغطاء النباتي الكثيف على إعاقة الاحتفاظ بالمياه حيث إنّ الأشجار تمتص المياه عن طريق الجذور، لذا يفضل إقامة السدود في مواضع يكون فيها الغطاء النباتي غير كثيف أو شبه معدوم.

الجدول (7) تصنيف الغطاء النباتي.

حالة الغطاء النباتي	المساحة/ كم^2	النسبة%
كثيف	17.2	%11
متوسط	28.2	%18
ضعيف	29.2	%18
ضعيف جداً	49.1	%31
معدوم	35.08	%22
المجموع	158.7	%100

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف المرئية الفضائيةLand Sat7.

الشكل (5) حالة الغطاء النباتي ومؤشر نقل الرواسب.



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف المرئية الفضائية Land Sat7

– مؤشر قدرة النهر على نقل الرواسب Sediment Transport Index (STI): يمكن أنْ تُعرّف قدرة النهر على النقل من مفهومين هما: السعة وتعني مجموع الوزن الإجمالي لحمولة الرواسب ذوات الذرات المتباينة الإحجام، والكفاءة وتعني وزن، أو حجم أكبر الذرات التي يمكن للنهر أنْ يحركها على طول قاعة، إذ تستطيع كثير من الأنهار أنْ تحرك كتلًا صخرية يزيد قطرها عن 3م، وبتطبيق معادلة مؤشر قدرة النهر على نقل الرواسب تبيّن من الأنموذج النهائي لحوض الوادي، فأكثر المواضع قدرة على نقل الرواسب واقعة في وسط الحوض النهري، وفي الجزء الجنوبي الغربي منه، ولوحظ أنّ في المواضع العليا من الحوض تكون الأودية أكثر نشاطًا في نحت التربة والصخور، مما يزيد من عمليات التعرية ونقل الرواسب، أمّا في المناطق الوسطى من الحوض فيظهر أنّ هناك مناطق منخفضة تمثّل نقاط تراكم مؤقت للرواسب قبل انتقالها نحو المصب، أمّا في المناطق القريبة من المصب فتنخفض فيها سرعة المياه، وتزداد قدرة النهر على ترسيب المواد المنقولة مما يؤدي إلى تكوين مناطق تجمع الرواسب.

– إعادة تصنيف المعايير Re classify: تتم عملية إعادة تصنيف المعاير المتفق عليها من حيث أهمية كل معيار بالنسبة للمستخدم، وإعطاء كل معيار وزن معين (نسبة مئوية) حسب القرب أو البعد ثم حساب الموازنة لإنشاء أنموذج الملاءمة النهائية.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

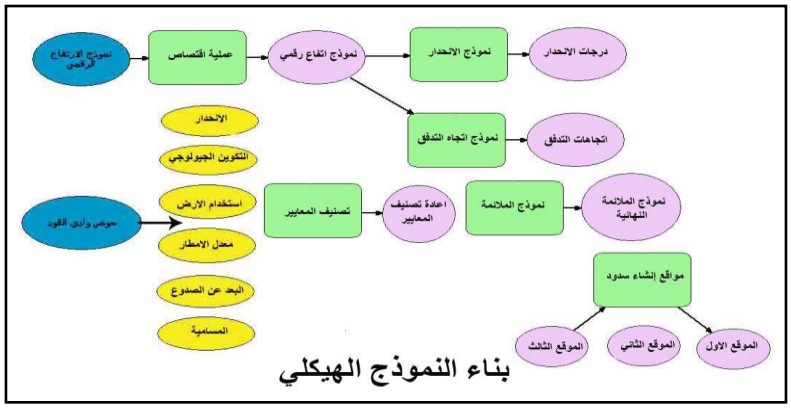
الجدول (8) ترتيب المعايير ووزن ونسبة كل معيار حسب الأهمية لدى المستخدم

ر م	المعيار	النسبة %	الأهمية
1	درجة الانحدار	%30	تؤثر الانحدارات بشكل مباشر على اختيار موقع السد، فإذا كان الانحدار شديدًا تزداد معه خطورة الانهيارات المصاحبة للسيول.
2	البعد عن الصدوع	%25	تؤثر التصدعات والتشققات في فقد كميات كبيرة من المياه عن طريق التسرب إلى باطن الأرض.
3	التكوينات الجيولوجية	%20	تؤثر نوعية الصخر على قدرتها في الاحتفاظ بمياه السد.
4	المسامية	%13	تؤثر المسامية على معدل تسرب المياه لجوف الأرض كما تؤثر في معدل الجريان السطحي المتجه للسد.
5	معدل هطول الأمطار	%10	من تحديد كمية الأمطار التي تهطل في فترات زمنية معينة من أجل معرفة حجم السد الذي يجب بناؤه.
6	البعد عن استخدامات الأرض	%2	تكون السدود بعيدة عن استخدامات الأرض كالمنشآت والمناطق السكنية.
-	-	%100	-

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على ترتيب ووزن المعايير، باستخدام Arc Gis 10.8

- بناء الأنموذج الهيكلي (Builder Model): بعد تحديد المعايير وأصنافها ودرجة أهميتها، تمّ بناء الأنموذج الكارتوجرافي بواسطة برنامج ArcGIS من الأنموذج الهيكلي (Builder Model)، والذي يعتمد على أساس تبسيط المشاكل المعقدة، والتداخل في البيانات وعلاقتها المكانية والوصفية، بحيث يتم صياغة هذا الأنموذج لتبسيط المشكلة الأساسية وصياغة طريقة حلها ممّا يسمى بالتخطيط لمراحل العمل. (جمعة، وآخرون، 2017، ص22).

الشكل (6) بناء أنموذج الملاءمة (الأنموذج الهيكلي **Builder Model**).



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف المعايير باستخدام برنامج Arc Gis10.8.

– **أنموذج الملاءمة:** أنتجت خريطة الملاءمة التي تحدد المواقع المناسبة لإنشاء سدود في حوض وادي القود مساحة النطاق الذي تغطيه كل درجة من درجات الملاءمة بالكيلو متر المربع، فالمواضع الملائمة جداً، والتي تتوفر فيها المعايير المطلوبة لبناء السد هي الأقل مساحة حيث غطت مساحة قدرها 0.022961 كم^2، بنسبة 0%، ويمثّلها اللون الأحمر، في حين أنّ المواضع غير الملائمة لإقامة السدود، والتي لا تتوفر فيها المعايير المطلوبة لبناء السد غطت مساحة قدرها 49.348439 كم^2، بنسبة 97%، ويمثّلها اللون الأبيض، أمّا المواضع التي تكون على درجة متوسطة من الملاءمة غطت مساحة قدرها 13.127382 كم^2، بنسبة 21%، متمثلة في اللون الأخضر.

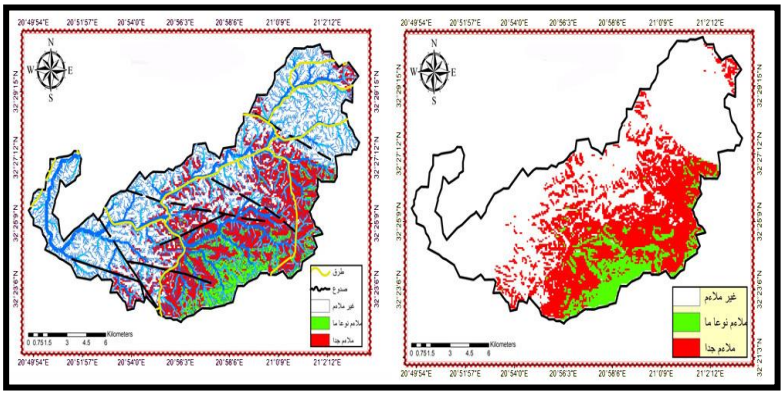
الجدول (9) النسبة المئوية للمساحات حسب درجات الملاءمة.

درجة الملاءمة	المساحة/ كم^2	النسبة%
غير ملائم	49.348439	%97
ملائم نوعًا ما	13.127382	%21
ملائم جدًا	0.022961	%0
	62.49878	%100

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف المعايير.

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

الشكل (7) نماذج الملاءمة النهائية.



المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف المعايير باستخدام برنامج Arc Gis10.8.

– **موقع سد وادي القود القائم حالياً**: يقع سد وادي القود الحالي عند تقاطع دائرة عرض 32°31'26.34" شمالًا وخط طول 20°25'50.46" شرقًا، إلّا أنّ موقعه الجغرافي يُعدّ غير ملائم من الناحية الهيدرولوجية والجيومورفولوجية؛ ويعود ذلك إلى تموضعه على الرتبة النهرية الرئيسية للوادي، مما يجعله عرضة لضغوط هيدروديناميكية عالية ناجمة عن قوة دفع المياه، فضلًا عن الحمل المائي للصخور والجلاميد الكبيرة، مما يزيد من مخاطر تعرضه للانهيار، وعلاوة على ذلك فإنّ موقع السد في منطقة منخفضة داخل الحوض يجعله عرضة لتراكم كميات كبيرة من الإرسابات الطينية، مما يؤدي إلى تقليل كفاءته التشغيلية بمرور الوقت، كما أنّ السد مشيد فوق تكوينات جيولوجية ذات مسامية متوسطة متمثّلة في تكوين الرجمة – عضو بنغازي، مما يؤثر على استقراره البنيوي وقدرته على تخزين المياه بكفاءة، بالإضافة إلى ذلك فإنّ قرب السد من الأراضي الزراعية يشكّل تحديًا إضافيًا، حيث يقع ضمن نطاق الاستخدامات الزراعية، مما يؤدي إلى تأثيرات بيئية سلبية، مثل تدهور جودة التربة أو التأثير على إنتاجية الأراضي المحيطة بسبب التغيرات الهيدرولوجية الناجمة عن إنشاء السد. وبناءً على هذه العوامل يصبح تقييم كفاءة السد من الناحية التصميمية والبيئية أمراً ضرورياً لضمان استدامة الموارد المائية وتقليل المخاطر المرتبطة به.

المواقع المقترحة لإقامة سدود في حوض القود:

– **اختيار مواقع السدود**: بعد بناء الأنموذج الهيكلي، وإنتاج خريطة الملاءمة النهائية، حيث تمّ اختيار ثلاثة مواقع تمّ اقتراحها وفقاً للمعايير سالفة الذكر على النحو الآتي:

– **الموقع الأول:** يقع السد المقترح عند تقاطع خط طول 20.57'99.2 شرقًا ودائرة عرض 32.24'10.6 شمالًا، على ارتفاع 508 مترًا فوق مستوى سطح البحر، ويتموضع على الرتبة النهرية الرابعة، مما يشير إلى استقباله لتدفقات مائية متوسطة، ما يجعله مناسبًا لإنشاء سد يهدف إلى تنظيم الجريان السطحي وتقليل مخاطر السيول.

– **الموقع الثاني:** يقع السد المقترح عند تقاطع خط طول 20.57'21.12 شرقًا ودائرة عرض32.22'90.57 شمالًا، على ارتفاع 579 مترًا فوق مستوى سطح البحر، ويتسم هذا الموقع بوقوعه أيضًا ضمن نطاق الرتبة النهرية الرابعة، مما يوفر ظروفًا ملائمة لتخزين المياه والحد من تأثيرات الفيضانات، مع إمكانية الاستفادة منه في تغذية المياه الجوفية.

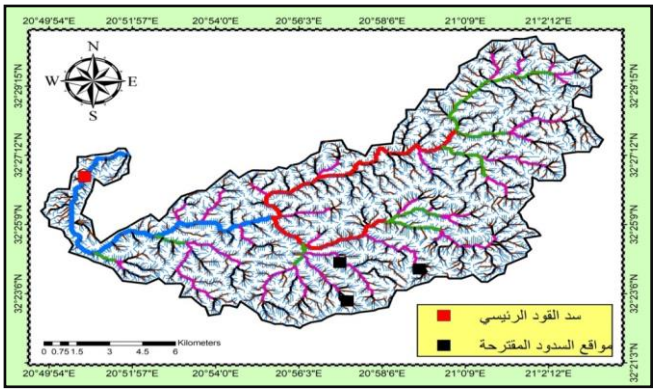
– **الموقع الثالث:** يقع السد المقترح عند تقاطع خط طول 20.58'52.59 شرقًا ودائرة عرض 32.23'47.54 شمالًا، على ارتفاع 571 مترًا فوق مستوى سطح البحر، ويختلف هذا الموقع عن سابقيه بتموضعه على الرتبة النهرية الثالثة، مما يعني انخفاض حجم التصريف المائي مقارنة بالموقعين الأول والثاني ومع ذلك، ويكون هذا الموقع ملائمًا لإنشاء سد يخدم أغراض تخزين المياه للاستخدام الزراعي وتقليل معدلات التعرية.

الجدول (10) المواقع المقترحة لإقامة السدود في حوض القود

الموقع	دائرة العرض	خط الطول	الرتبة النهرية	الارتفاع/ متر
الأول	32.24'10.6 شمالا	20.57'99.2 شرقا	4	508
الثاني	32.22'90.57 شمالا	20.57'21.12 شرقا	4	579
الثالث	32.23'47.54 شمالا	20.58'52.59 شرقا	3	571

المصدر: عمل الباحث اعتمادًا على أنموذج الملاءمة المكانية.

الشكل (8) مواقع السدود المقترحة.



المصدر: عمل الباحث اعتمادًا على أنموذج الملاءمة المكانية، باستخدام برنامج Arc Gis10.8

https://doi.org/10.5281/zenodo.21983743

النتائج:

1. أظهرت الدراسة أنّه ليس هناك معايير أساسية وواضحة لدى الجهات المختصة بتنفيذ مشاريع السدود يمكن الاعتماد عليها في اختيار المواقع المناسبة لإنشاء السدود.

2. إنّ سد وادي القود القائم حاليًا غير ملائم من حيث موضعه، وغير خاضع لمعايير إنشاء السدود.

3. إنّ المواضع ذات الملاءمة العالية، والتي تتوفر فيها المعايير المطلوبة لبناء السد هي الأقل مساحة حيث غطت مساحة قدرها 0.022961 كم^2، بنسبة 1%، من المساحة الإجمالية للحوض.

4. أظهر تحليل المرئية الفضائية Land Sat7 باستخدام مؤشر الاختلاف في الكتلة الخضرية NDVI تصنيف الغطاء النباتي بالحوض إلى أربعة أصناف (كثيف، متوسط، ضعيف، ضعيف جداً)، حيث بلغت المساحة التي يغطيها النبات الكثيف 17.2 كم^2، بنسبة مئوية 11% من مساحة الحوض الإجمالية.

التوصيات:

1. عدم اقتصار دراسة السدود على جهة فنية من دون أخرى، إذ ينبغي أنْ تشارك كل الجهات الفنية والإدارية كل في مجال اختصاصه في عمل الدراسات الخاصة بالسدود واختيار مواقعها.

2. استحداث نظام لحفظ المعلومات والبيانات الخاصة بمشاريع السدود والحواجز المائية (باستخدام الحاسوب) ليتم الرجوع إليه عند الحاجة.

3. إعادة تقييم جميع السدود القائمة وفقًا للمعايير الهندسية والجغرافية الحديثة، والعمل على تطوير إطار شامل لاختيار مواقع السدود المستقبلية بما يحقق كفاءة أعلى واستدامة طويلة الأمد.

4. توظيف تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة التغيرات البيئية لتوفير قاعدة بيانات يمكن الاعتماد عليها في دراسات أخرى.

5. على الجهات ذات العلاقة بتنفيذ مشاريع السدود دراسة النظام المقترح والأخذ به لتسهيل اختيار مواقع السدود، وتحديد نوع السد المناسب بأقل وقت وجهد وكلفة ممكنة.

المصادر والمراجع:

- الجنيد، أ. م. ف. (2001). معايير أساسية لاختيار مواقع مناسبة لإنشاء السدود الصغيرة في اليمن [رسالة دكتوراه غير منشورة]. قسم الهندسة المدنية، جامعة الملك سعود.

– داود، ج.، وآخرون. (2017). تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير. الملتقى الوطني الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل.

– زيدان، ح.، & جبار، د. (2011). اختيار مواقع لإنشاء سدود صغيرة في منخفض الكعرة باستخدام تقنيات التحسس النائي والتحليل المكاني. مجلة الهندسة، 17 (4).

– لشهب، س. ر. ح. (2023). جيومورفولوجية حوض وادي اللولب، بالجبل الأخضر شمال شرق ليبيا. المجلة الليبية العالمية، (67). كلية التربية المرج.

– لشهب، س.، وآخرون. (2021). كشف التغير في الغطاء الأرضي باستخدام الصور الجوية ونظم المعلومات الجغرافية في نطاق منطقة البياضة بالجبل الأخضر شرق ليبيا. المجلة الليبية العالمية، (50). كلية التربية المرج.

– الكيلاني، ر. ج.، & برقان، م. ع. (2020). اختيار أولي لمواقع السدود باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد لحصاد مياه الأمطار الجارية (حوض وادي دراجا كحالة دراسية، جنوب الضفة الغربية، فلسطين). مجلة البحوث الجغرافية، (22). جامعة النجاح الوطنية.

– مركز البحوث الصناعية. (1973). خريطة ليبيا الجيولوجية: الكتيب التفسيري، لوحة البيضاء 1:50.000. طرابلس، ليبيا.

– مركز البحوث الصناعية. (1974). خريطة ليبيا الجيولوجية: الكتيب التفسيري، لوحة بنغازي 1:25.000. طرابلس، ليبيا.

– El-Hawat, A. S., & Abdulsamad, E. O. (2004). The geology and archaeology of Cyrenaica (Vol. 1, pp. PR01–B15). Florence, Italy, August 20–28.

– Selkhozprom Export, USSR. (1980). Soil ecological expedition: Soil studies in the Eastern zone of the Socialist People's Libyan Arab Jamahiriya. Secretariat for Agricultural Reclamation and Land Development, Tripoli.