Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences Volume (10) Issue (1) 31 July (2026)

ISSN: 2957-3874 (Print)
Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences (JFHS)
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/95
مجلة الفارابي للعلوم الإنسانية تصدرها جامعة الفارابي

تطبيق النمذجة الهيدرولوجية لتحديد المواقع لأنشاء سدود افتراضية لحوض وادي شوارة في محافظة السليمانية

م.د. كلجان خليل مجيد قنبر

جامعة تكريت – كلية التربية للعلوم الانسانية – قسم الجغرافية

Application of Hydrological Modeling and Geographic Information Systems Techniques for Identifying Optimal Locations of Virtual Dams within the Shuwara Basin in Sulaymaniyah Governorate and Assessing Their Environmental Impacts

Dr. Kaljan Khalil Majeed Qanbar
College of Education for Humanities, University of Tikrit – Department of Geography: Kaljan.k.majeed@tu.edu.iq

مستخلص:

يهدف هذا البحث **إلى** تحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية ضمن حوض وادي شوارة في محافظة السليمانية من خلال توظيف مزيج متكامل من تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) وأسلوب التحليل الهرمي(AHP) ، بما يحقق دقة عالية في التحليل المكاني والهيدرولوجي. فقد تم الاعتماد على مرئيات القمر الصناعي Landsat-8 لاستخراج وتحليل معلومات استخدامات الأرض والغطاء الأرضي(LULC) ، لما توفره من دقة طيفية ومكانية مناسبة لدراسة الخصائص السطحية ومتابعة الأنشطة البشرية وتأثيرها على الموارد المائية. كما تم استخدام بيانات الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ١٠متر لتوليد خرائط الانحدار، والارتفاع، واتجاه الانحدار، والتقعر والتحدب، وهي عوامل رئيسة في تحديد المواقع الأنسب لتجميع المياه وخزنها.استخدمت الدراسة منهجية **(AHP) لتحديد** أوزان المؤشرات وأفضليتها النسبية من خلال بناء مصفوفة للمقارنات الثنائية شملت: الارتفاع، والانحدار، واتجاه الانحدار، والتقعر والتحدب، وكثافة الشبكة المائية، ونوع التربة، ونوعية الصخور، والمخاطر الجيولوجية، واستخدامات الأرض، ومجموع الأمطار، ودرجات الحرارة، ومعدلات التبخر. جرى دمج هذه الطبقات داخل بيئة GISلإنتاج خريطة توضح المناطق الأكثر ملاءمة لإقامة السدود الافتراضية، كما تم دعم التحليل بـ(نمذجة هيدرولوجية) لمحاكاة الجريان السطحي وتقدير إمكانات الخزن المائي.أظهرت نتائج التحليل أن التكامل بين مرئيات Landsat-8 وبيانات DEM بدقة ١٠م ومنهجية AHP وفر إطاراً علمياً دقيقاً وشاملاً لتقييم الخصائص المكانية والبيئية للحوض، كما أظهرت الدراسة أن العوامل الجيولوجية والطبوغرافية هي الأكثر تأثيراً في اختيار مواقع السدود لضمان الاستقرار والمتانة، بينما تلعب العوامل المناخية والبيئية دوراً داعماً في تحسين كفاءة التشغيل. كما بينت البيانات أن السد الأول بسعة تخزينية حوالي ١٧٧ مليون متر^3 محدود السعة ومناسب لمجاري صغيرة مع تأثير بيئي معتدل، في حين يتميز السد الثاني بسعة تخزينية تقارب ٦٠١ مليون متر^3 وكفاءة أعلى لكنه يتطلب تصميماً وتحليلاً جيولوجياً متقدماً وإدارة بيئية دقيقة.

الكلمات المفتاحية: النمذجة الهيدرولوجية، نظم المعلومات الجغرافية، التحليل الهرمي، Landsat-8، DEM، السدود الافتراضية، وادي شوارة.

Abstract:

This study aims to identify the optimal locations for virtual dams within the Shuwara Basin in Sulaymaniyah Governorate by employing an integrated approach combining Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS), and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to achieve high accuracy in spatial and hydrological analysis. Landsat-8 satellite imagery was utilized to extract and analyze land use and land cover (LULC) information, providing sufficient spectral and spatial resolution for examining surface characteristics and monitoring human

activities and their impacts on water resources. Additionally, Digital Elevation Model (DEM) data with a spatial resolution of 10 meters was used to generate maps of slope, elevation, flow direction, concavity, and convexity, which are essential factors for identifying suitable sites for water accumulation and storage.The AHP methodology was applied to determine the weights and relative priorities of the indicators through a pairwise comparison matrix, including: elevation, slope, flow direction, concavity and convexity, drainage density, soil type, rock type, geological hazards, land use, annual precipitation, temperature, and evaporation rates. All spatial layers were integrated within a GIS environment to produce a map highlighting the most suitable areas for establishing virtual dams. The analysis was further supported by hydrological modeling to simulate surface runoff and estimate potential water storage capacity.The results demonstrated that the integration of Landsat-8 imagery, 10 m DEM data, and the AHP methodology provides a precise and comprehensive scientific framework for evaluating the spatial and environmental characteristics of the basin, facilitating informed decision-making for sustainable water resource management. The study also showed that geological and topographical factors are the most influential in selecting dam sites to ensure stability and durability, while climatic and environmental factors play a supporting role in improving operational efficiency. The data also indicated that the first dam, with a storage capacity of approximately 177 million m^3, is limited in capacity and suitable for smaller watercourses with a moderate environmental impact, whereas the second dam, with a storage capacity of about 601 million m^3, offers higher efficiency but requires advanced design, detailed geological analysis, and careful environmental management.Keywords: Hydrological Modeling, Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Landsat-8, DEM, Virtual Dams, Shuwara Basin

مقدمة:

تعد الموارد المائية من أهم العناصر الداعمة لاستدامة الحياة والتنمية الاقتصادية والاجتماعية، إذ تشكل محوراً رئيساً في إدارة النظم البيئية وتطوير الأنشطة الزراعية والصناعية والحضرية. ومع تزايد الضغوط البيئية والتغيرات المناخية وتنامي الطلب على المياه، برزت الحاجة إلى تبني أساليب علمية حديثة لإدارة الموارد المائية بطريقة مستدامة وفعالة. ومن بين هذه الأساليب تأتي النمذجة الهيدرولوجية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأدوات تحليلية دقيقة تمكن الباحثين والمخططين من فهم السلوك الديناميكي للأحواض المائية وتحديد المواقع المثلى لإقامة المنشآت المائية، وفي مقدمتها السدود الافتراضية.يعد حوض وادي شوارة في محافظة السليمانية أحد الأحواض التي تتميز بخصائص طبوغرافية ومناخية معقدة، مما يجعله بيئة مناسبة لتطبيق تقنيات النمذجة الهيدرولوجية في دراسة الجريان السطحي وتقييم إمكانات خزن المياه. ويهدف هذا البحث إلى تحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية ضمن الحوض باستخدام أدوات التحليل المكاني في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، بالاعتماد على مجموعة من العوامل المورفومترية والهيدرولوجية مثل الانحدار، واتجاه الجريان، وكثافة التصريف، ونوعية التربة، والخصائص الجيولوجية.تسعى الدراسة إلى تقييم الآثار البيئية المحتملة الناتجة عن إنشاء السدود الافتراضية، من خلال تحليل تأثيرها في الغطاء النباتي، وجودة المياه، واستقرار النظام البيئي المحلي. ويتيح التكامل بين النمذجة الهيدرولوجية وبيانات GIS فهماً أعمق لتوزيع الموارد المائية ومناطق الجريان، ويساعد في اتخاذ قرارات تخطيطية قائمة على أسس علمية دقيقة.إن هذه الدراسة تمثل محاولة علمية لتوظيف التقنيات المكانية والنمذجة الهيدرولوجية في دعم إدارة الموارد المائية ضمن محافظة السليمانية، وتعزيز مفاهيم التخطيط البيئي المستدام، بما يسهم في وضع استراتيجيات فعالة لتقليل مخاطر الفيضانات، وتحقيق التوازن بين التنمية المائية والحفاظ على البيئة الطبيعية.

مشكلة الدراسة:

يعاني حوض وادي شوارة في محافظة السليمانية من تذبذب في كميات الأمطار والجريان السطحي، مما يؤثر على توافر المياه للأغراض الزراعية والبيئية والمجتمعية. كما أن هناك نقصاً في الدراسات العلمية الدقيقة التي تحدد المواقع الأنسب لإنشاء السدود الافتراضية بما يحقق خزن المياه وتقليل مخاطر الفيضانات، مع مراعاة الحفاظ على البيئة الطبيعية وتقليل الآثار السلبية على النظم البيئية. وبالتالي، تظهر الحاجة إلى اعتماد منهجية علمية متكاملة تجمع بين تقنيات الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، وأساليب التحليل المكاني لتقييم العوامل الطبوغرافية والهيدرولوجية والبيئية، وتحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية ضمن الحوض.

فرضية الدراسة:

تفترض الدراسة أنه من الممكن تحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية ضمن حوض وادي شوارة من خلال دمج تقنيات الاستشعار عن بعد وبيانات الارتفاع الرقمي (DEM) مع نظم المعلومات الجغرافية، مع استخدام منهجية التحليل الهرمي (AHP) لتقييم أوزان المؤشرات المختلفة وتحديد

أفضليتها النسبية. كما تفترض الدراسة أن دمج النمذجة الهيدرولوجية مع التحليل المكاني يمكن من محاكاة الجريان السطحي وتقدير إمكانات الخزن المائي بدقة، مع تقليل الآثار البيئية المحتملة الناتجة عن إقامة السدود الافتراضية، بما يضمن تحقيق إدارة مستدامة للموارد المائية ضمن الحوض.

أهداف الدراسة:

١-تحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية ضمن حوض وادي شوارة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وبيانات الارتفاع الرقمي (DEM) ونظم المعلومات الجغرافية.(GIS)

٢-تطبيق منهجية التحليل الهرمي (AHP) لتقييم أوزان المؤشرات المختلفة وتحديد أفضليتها النسبية في اختيار المواقع الأنسب للسدود.

٣-محاكاة الجريان السطحي وتقدير إمكانات الخزن المائي في المواقع المقترحة باستخدام النمذجة الهيدرولوجية.

٤-تقييم الآثار البيئية المحتملة الناتجة عن إنشاء السدود الافتراضية، بما يشمل تأثيرها على الغطاء النباتي، وجودة المياه، والتوازن البيئي للحوض.

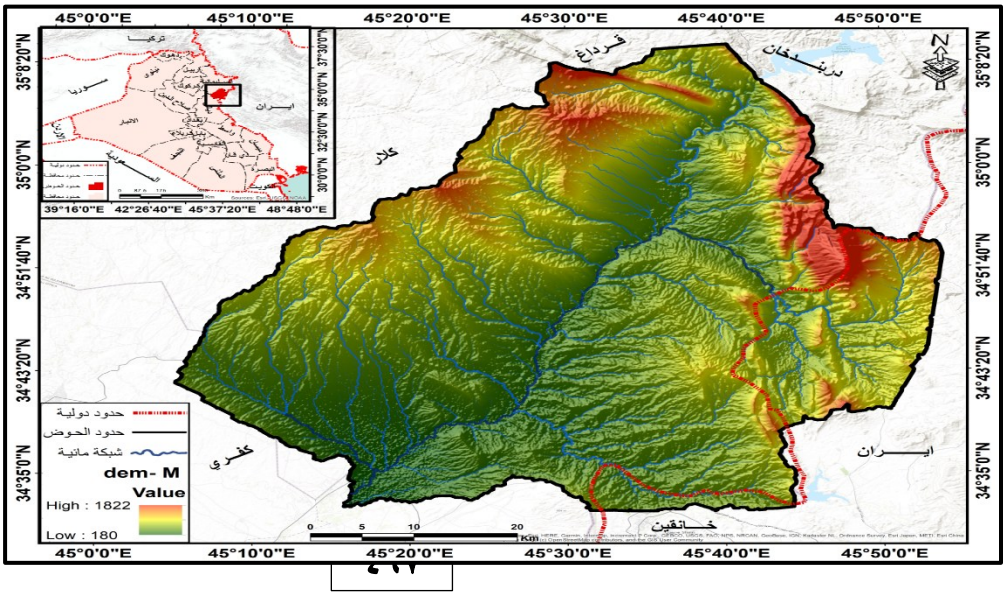
٥-تقديم إطار علمي متكامل يدعم اتخاذ القرارات التخطيطية المستدامة لإدارة الموارد المائية وتقليل مخاطر الفيضانات في حوض وادي شوارة.

منهجية الدراسة:

تم اعتماد مجموعة من المناهج الجغرافية المتكاملة لتحقيق الأهداف البحثية بدقة وموضوعية. فقد تم استخدام **المنهج التحليلي المكاني** لتحليل وتفسير البيانات المكانية المتعلقة بحوض وادي شوارة، بما يشمل التوزيع الطبوغرافي، والانحدار، واتجاه الجريان، والتقعر والتحدب، بهدف تحديد المناطق الأكثر ملاءمة لإقامة السدود الافتراضية. كما تم توظيف **المنهج الوصفي الاستقرائي** لوصف الخصائص الطبيعية والهيدرولوجية والبيئية للحوض واستقراء النتائج من البيانات المكانية والميدانية للوصول إلى استنتاجات دقيقة حول المواقع المناسبة للسدود. بالإضافة إلى ذلك، اعتمدت الدراسة على **المنهج الكمي** لتحليل المؤشرات الهيدرولوجية والبيئية باستخدام بيانات رقمية مثل بيانات الارتفاع الرقمي (DEM)، وكميات الأمطار، ومعدلات التبخر ودرجات الحرارة، ما أتاح إدخالها ضمن نماذج التحليل المكاني والهيدرولوجي بدقة عالية. كما تم استخدام **المنهج المقارن** عبر التحليل الهرمي (AHP) لتحديد أوزان المؤشرات المختلفة وتقييم أفضليتها النسبية من خلال المقارنات الثنائية، الأمر الذي ساهم في ترجيح العوامل المؤثرة في اختيار المواقع المثلى للسدود.

حدود منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي شوارة ضمن الحدود الإدارية لمحافظة السليمانية في إقليم كردستان العراق، يمتد بين خطي طول (٤٥° ٤ ٠٠ – ٤٦° ٠ ٠٠) شرقاً ودائرتي عرض(٣٥° ٨ ٠٠ – ٣٤° ٣٢ ٠٠) شمالاً، مشكلاً أحد الأحواض المائية الرئيسة في المنطقة. ويتوزع الحوض إدارياً بين أقضية (كلار، خانقين، دربندخان، قرداغ، وكفري)، بمساحة إجمالية تبلغ نحو (٣٢٨٢.٦١) كم²، منها (٢٨٣٧.٧٠) كم² تقع داخل حدود العراق و(٤٤٤.٩١) كم² تمتد خارجها. وتتوزع مساحة الحوض ضمن المحافظات على النحو الآتي: خانقين (١٢٠٦.٧٩) كم²، كلار (١٢٣٤.٤٤) كم²، كفري (١٥٠.٤٠) كم²، دربندخان (٢٢٤.٠٥ كم²)، وقرداغ (٢٢.٠١ كم²)يتميز الحوض بتضاريس جبلية ووديان متعددة، ويحتوي على شبكة مائية طبيعية تتكون من عدة جداول تصب في مجرى وادي شوارة الرئيسي، ويظهر الطابع المناخي شبه الجاف مع تذبذب واضح في معدلات الأمطار السنوية ودرجات الحرارة، ما يجعل دراسة المواقع المثلى لإقامة السدود الافتراضية أمراً ضرورياً لتخزين المياه والتحكم في الجريان السطحي.خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد نموذج الارتفاع الرقمي بدقة تميزية ١٠ متر، ومخرجات برنامج ArcGIS.

مواد وطرق العمل

تستخدم الدراسة مجموعة من المؤشرات البيئية والجيومورفولوجية والمناخية، التي تعد أساسية لتحديد المواقع الملائمة لإنشاء السدود الافتراضية في منطقة الدراسة. وتعتمد هذه المؤشرات على التحليل الدقيق للخصائص الطبيعية للطبوغرافيا، والجيولوجيا، والهيدرولوجيا، والمناخ والبيئية، حيث يسهم كل مؤشر في تقييم مدى ملاءمة الموقع من حيث الأمان الإنشائي، والقدرة على تخزين المياه، وتقليل المخاطر المحتملة مثل الانزلاقات الأرضية أو التسرب المائي.وتتم معالجة البيانات المستمدة من المصادر الموثوقة، سواء كانت أرشيفية لمحطات الرصد أو خرائط جيومكانية رقمية، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والنماذج التحليلية، مع توزيع أوزان محددة لكل مؤشر وفق أهميته النسبية، بما يسمح بتوليد قيمة صافية لكل موقع تعكس درجة ملاءمته لإنشاء السدود الافتراضية. وتتضمن المؤشرات الاتية:

١- المؤشرات الجيولوجية:

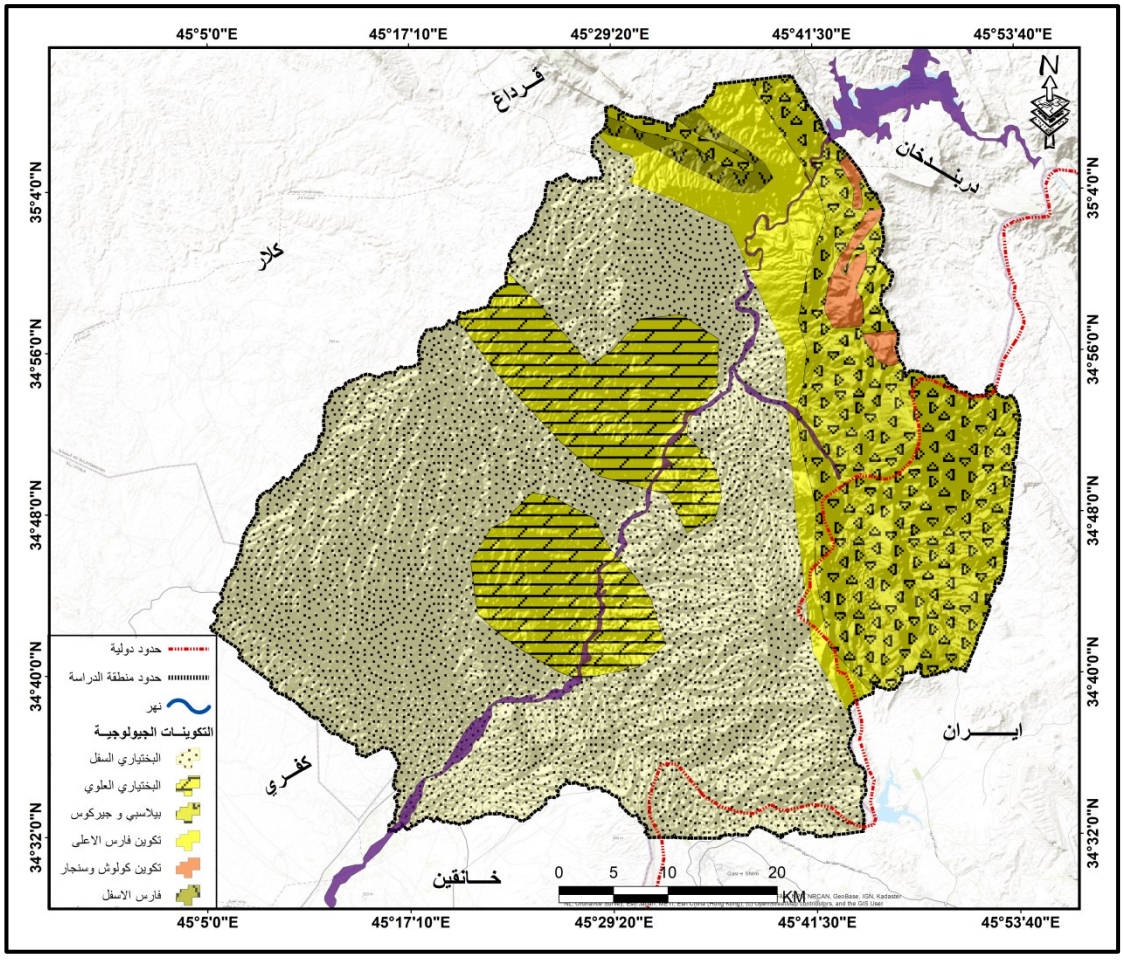
١-١ التكوين الجيولوجي:

يتبين من الجدول (١) والخريطة (٢) أن تكوين البختياري السفلي يمثل النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ بلغت ١٩١٧ كم² أي ما يعادل ٥٨.٣٩٪ من المساحة الكلية. يتميز هذا التكوين بانتشاره الواسع وتكوينه من صخور الكونغلوميرات والحجر الرملي والطفلة، وهي رواسب نهرية – دلتاوية تعود إلى عصور البليوسين (Alavi, 2004). هذه الصخور تمتاز بنفاذيتها العالية وتفاوت تماسكها، ما يجعلها أقل ملاءمة لخزن المياه خلف السدود دون معالجات هندسية كتبطين الخزان، لكنها ملائمة لإنشاء سدود تغذية جوفية أو سدود صغيرة لتصريف الفيضانات الموسمية (Karim,2023).أما تكوين البختياري العلوي فيغطي مساحة ٤٦٦ كم² بنسبة ١٤.١٩٪، ويتكون من كونغلوميرات خشن الحبيبات ذات أصل نهري حديث. ورغم قوته الميكانيكية نسبياً، إلا أن نفاذيته العالية تجعله أكثر ملاءمة للمناطق الجبلية أو مجاري الأودية التي تحتاج إلى سدود صغيرة لتقليل جريان السيول وليس لخزن كميات كبيرة من المياه. في المقابل، يمثل تكوين بيلاسبي وجيركوس مساحة واسعة نسبياً بلغت ٦١٥ كم² بنسبة ١٨.٧٣٪، وهو يتميز بتتابع من البيئات القارية – الدلتاوية (جيركوس) ثم البحرية الضحلة (بيلاسبي)، مع صخور من الطين الأحمر، والرمل، والكونغلوميرات، والحجر الجيري الدولوميتي. هذه التكوينات تعد متوسطة الملاءمة لبناء السدود، إذ تمتلك صخورها الكربوناتية قدرة جيدة على دعم المنشآت الهندسية إذا كانت خالية من الفجوات الكارستية.بينما يغطي تكوين فارس الأعلى والأسفل مساحة محدودة تبلغ معاً نحو ٢٤٨ كم² بنسبة تقارب ٧.٥٦٪، ويتكون من مارل، طفلة، حجر رملي، وجبس في بيئات سبخية – قارية. هذه الصخور ضعيفة ميكانيكياً وسريعة الذوبان (خاصة الجبسية منها)، مما يجعلها غير ملائمة لإنشاء السدود لعدم استقرارها عند التشبع بالمياه(Karim,2023). أما تكوين كولوش وسنجار فيمثل أقدم التتابعات، بعمر الباليوسين–الإيوسين الأسفل وبمساحة ٣٧ كم² فقط (١.١٣٪)، ويتكون من الطفلة والمارل والحجر الجيري النقي المحتوي على حفريات نيموليتية. هذه التكوينات ذات أصل بحري عميق إلى ضحل وتتميز بصلابة نسبية في الأجزاء الجيرية، ما يجعلها ملائمة موضعياً لإقامة سدود في حال خلوها من التشققات والانكسارات(Ahmad,2015).جدول (١) مساحة ونسب المئوية للتكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة

ين	العمر الجيولوجي	نوع الصخور	البيئة الترسيبية	المساحة كم²	%
لوش وسنجار	الباليوسين – الإيوسين الأسفل	طفلة داكنة، مارل، حجر جيري نقي يحتوي على حفريات (نيموليت)	بحرية عميقة (كولوش) ثم بحرية ضحلة (سنجار)	37	1.13
لسبي وجيركوس	الإيوسين الأوسط – الأعلى	طين أحمر، رمل، كونغلوميرات (جيركوس)، حجر جيري دولوميتي وشرت (بيلاسبي)	قارية – دلتاوية (جيركوس)، ثم بحرية ضحلة (بيلاسبي)	615	18.73
س الأسفل	الميوسين الأوسط	مارل، طفلة، حجر رملي، وجبس	سبخية – قارية (Sabkha–Continental)	36	1.10
س الأعلى	الميوسين الأعلى	طفلة، مارل، جص، حجر جيري طيني	سبخية – قارية	212	6.46
ختياري السفلي	البليوسين	كونغلوميرات، حجر رملي، طفلة	نهرية – دلتاوية	1917	58.39

		(Fluvial–Deltaic)			
ختياري العلوي	البليوسين الأعلى – البليستوسين	كونغلوميرات خشن الحبيبات	نهرية حديثة (Recent Fluvial)	466	14.19
				3283	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٢).خريطة (٢) التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد خريطة الجيولوجية للمنطقة الشمالية من العراق بمقياس رسم ١:٥٠٠٠٠٠، ومخرجات برنامج ArcGIS.

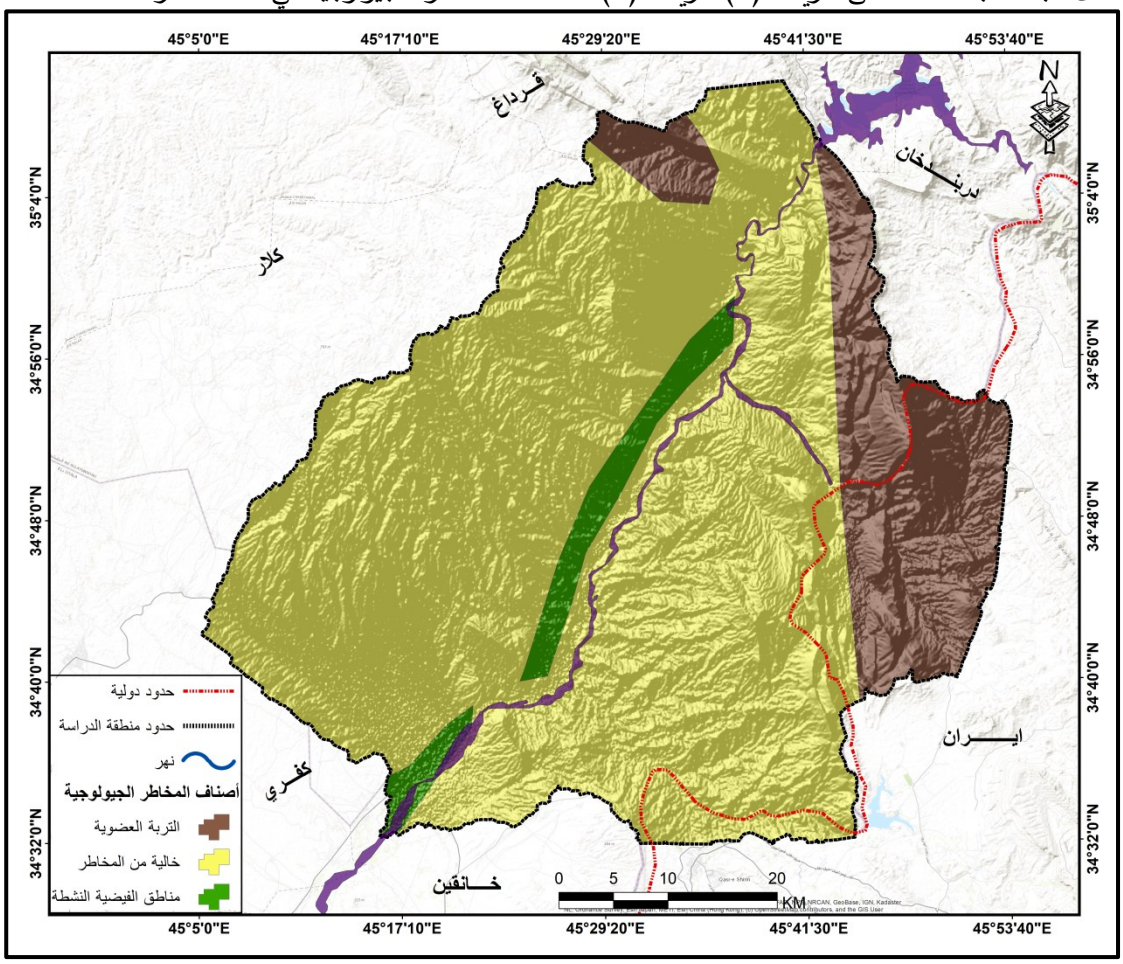
١-٢ المخاطر الجيولوجية:

يتضح من البيانات الجدول(٢) وخريطة (٣) أن المناطق الخالية من المخاطر الجيولوجية تشكل النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ بلغت ٢٦٤٣.٢٣ كم² أي ما يعادل ٨٠.٥٢٪ من المساحة الكلية، وهو مؤشر إيجابي يدل على ملاءمة أغلب أجزاء الحوض من الناحية الجيولوجية لإقامة السدود، نظراً لاستقرارها البنيوي وانخفاض احتمالية تعرضها للانهيارات أو التصدعات (هادي، ٢٠١٧)أما المناطق ذات التربة العضوية فتغطي مساحة قدرها ٥١٦.٦٢ كم² أي بنسبة ١٥.٧٤٪ من مساحة الحوض، وتعد هذه المناطق أقل ملاءمة لإقامة السدود بسبب ضعف تماسك التربة وقابليتها للانضغاط وفقدان الاستقرار عند التشبع بالماء، مما يتطلب معالجة هندسية خاصة قبل تنفيذ أي مشروع إنشائي فيها.في حين أن المناطق الفيضية النشطة تشكل النسبة الأقل، إذ بلغت ١٢٢.٧٥ كم² بنسبة ٣.٧٤٪ فقط، إلا أن وجودها يعد عاملاً حرجاً في تحديد مواقع السدود، لأنها عرضة لتقلبات جريان المياه وتغير مسارات الأودية خلال الفترات المطرية الغزيرة، مما قد يزيد من مخاطر الفيضانات أو تآكل ضفاف الخزانات.جدول (٢) أصناف ومساحات المخاطر الجيولوجية في منطقة الدراسة

المخاطر الجيولوجية	المساحة كم²	%
خالية من المخاطر الجيولوجية	2643.23	80.52
التربة العضوية	516.62	15.74

مناطق الفيضية النشطة	122.75	3.74
المجموع	3282.61	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٣).خريطة (٣) أصناف المخاطر الجيولوجية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد خريطة المخاطر الجيولوجية في العراق بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠٠، ومخرجات برنامج ArcGIS.

١-٣ نوع الصخور:

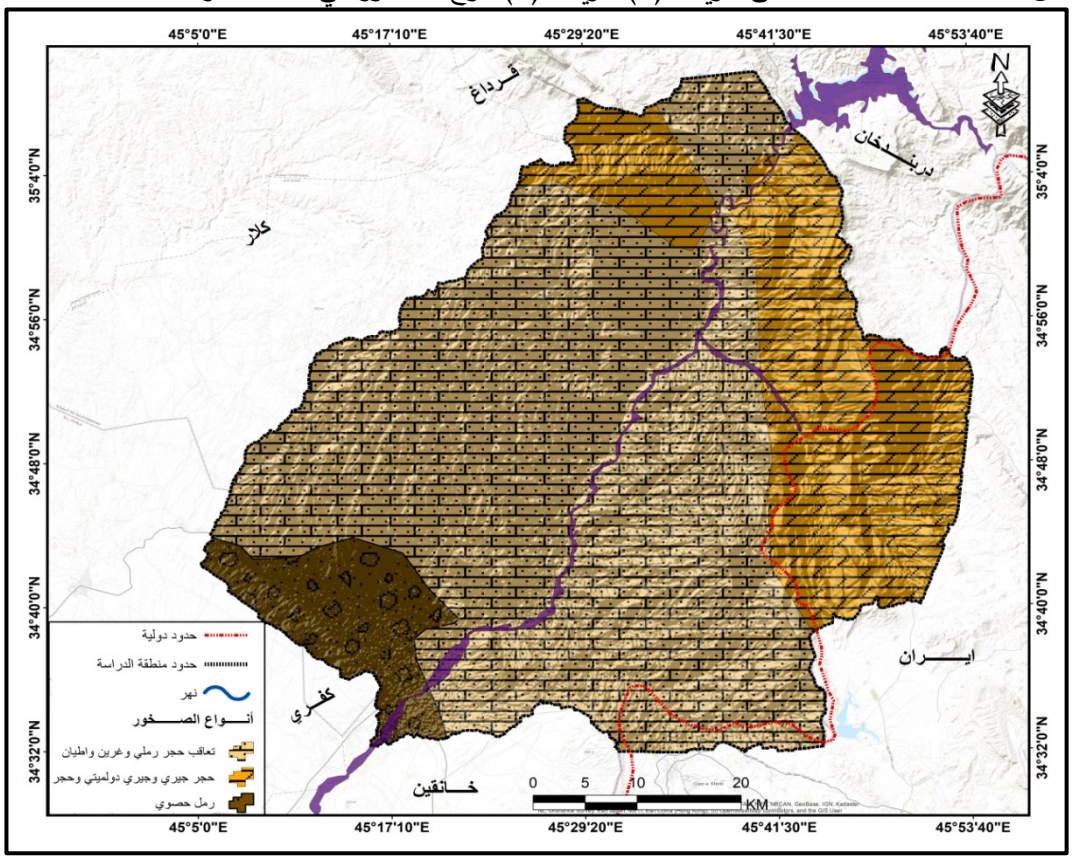
يتبين من الجدول (٣) والخريطة (٤) أن تعاقب الصخور الرملية والغرين والاطيان يغطي المساحة الأكبر من الحوض، إذ بلغت ٢٢٢٨.٧٣ كم² بنسبة ٦٧.٩٠٪ من إجمالي المساحة. هذا النوع من الصخور يتميز بتفاوت نفاذيته ومقاومته للتعرية، وغالباً ما يكون أقل استقراراً عند تشبعه بالمياه، ما قد يؤدي إلى حدوث تسربات مائية أو انزلاقات أرضية في حال عدم تدعيم أساسات السدود. لذا فإن اختيار مواقع السدود ضمن هذه التكوينات يتطلب دراسة تفصيلية لخصائص النفاذية والاستقرار الميكانيكي للتربة والصخور.أما الصخور الجيرية والدولومايتية (حجر جيري، حجر جيري دولوميتي، دولومايت، حجر جيري طيني وطباشيري) فتغطي مساحة ٨١٠.٧٥ كم² أي ما نسبته ٢٤.٧٠٪ من مساحة الحوض. ورغم صلابتها النسبية ومتانتها البنيوية، إلا أن تعرضها لعمليات الإذابة الكارستية قد يؤدي إلى تشكل فجوات وشقوق تحت سطحية، مما يشكل خطراً على سلامة السد إذا لم تتخذ إجراءات هندسية مناسبة لمعالجة الفجوات الكارستية أو اختيار مواقع ذات استقرار جيولوجي أعلى. في المقابل، تشكل الصخور الرملية الحصوية مساحة ٢٤٣.١٣ كم² أي بنسبة ٧.٤١٪ فقط، وتمتاز بنفاذية عالية وقدرة محدودة على حجز المياه، الأمر الذي يجعلها أقل ملاءمة لتشييد السدود، لكنها قد تكون مناسبة كمناطق تغذية للمياه الجوفية أو كمواقع مساندة ضمن حوض الخزن. وبناءً على ذلك، يعد الحوض جيولوجياً متنوع البنية الصخرية، إلا أن المناطق ذات الصخور الجيرية الصلبة بعد التحقق من خلوها من الكهوف الكارستية تعد الأكثر ملاءمة لإقامة السدود، بينما تتطلب المناطق المكونة من تعاقبات الطين والغرين تحليلاً تفصيلياً قبل اعتمادها مواقع خزن مائي رئيسية.

جدول (٣) مساحة والنسبة المئوية لأنواع الصخور في منطقة الدراسة

نوع الصخور	المساحة كم²	%

رمل حصوي	243.13	7.41
تعاقب حجر رملي وغرين واطيان	2228.73	67.90
حجر جيري وحجر جيري دولوميتي ودولومايت وحجر جيري طيني وطباشيري	810.75	24.70
المجموع	3282.61	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٤).خريطة (٤) أنواع الصخور في منطقة الدراسة



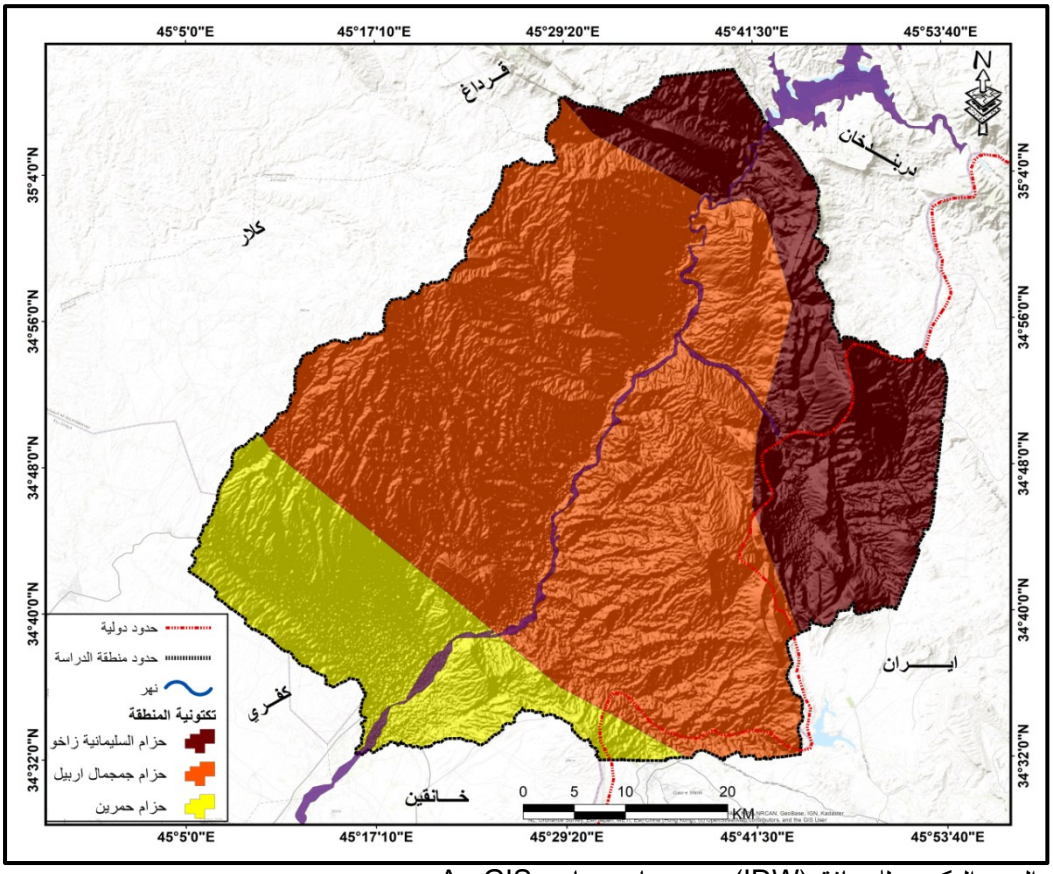
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد خريطة العراق البنيوية بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠٠، ومخرجات برنامج ArcGIS.

١-٤ التكتونية:

يتضح من الجدول (٤) والخريطة (٥) أن الجزء الأكبر من مساحة الحوض يقع ضمن الرصيف غير المستقر – نطاق الطيات الواطئة (حزام جمجمال–أربيل) بمساحة ٢٠٤٢.٩١ كم² أي ما نسبته ٦٢.٢٣٪ من إجمالي مساحة الحوض. ويتميز هذا النطاق بوجود تراكيب طبوغرافية ناتجة عن الطيات والانكسارات ذات النشاط التكتوني المنخفض نسبياً مقارنة بالنطاقات الجبلية العالية، مما يجعله ملائماً نسبياً لإقامة السدود بشرط أن تكون المواقع بعيدة عن خطوط الصدوع النشطة أو مناطق الضعف البنيوي.أما الرصيف غير المستقر – نطاق الطيات الواطئة (حزام حمرين) فيغطي مساحة ٥٦٠.١٦ كم² أي بنسبة ١٧.٠٦٪ من مساحة الحوض. ويمتاز هذا النطاق بوجود تراكيب طبوغرافية متوسطة التعقيد ونشاط تكتوني معتدل، إذ يمكن استغلاله لإقامة منشآت مائية بشرط إجراء مسوحات جيولوجية تفصيلية لتحديد مدى استقرار الأساسات وإمكانية حدوث حركات أرضية محلية. في حين يشغل الرصيف غير المستقر – نطاق الطيات العالية (حزام السليمانية–زاخو) مساحة ٦٧٩.٥٤ كم² أي بنسبة ٢٠.٧٠٪، ويعد هذا النطاق الأكثر نشاطاً تكتونياً ضمن الحوض، إذ يتميز بكثرة الطيات والصدوع الحادة والانحدارات الشديدة، مما يحد من ملاءمته لإنشاء السدود بسبب احتمالية تعرضها للأخطار الزلزالية أو الانزلاقات الصخرية. وعليه، يمكن القول إن الظروف التكتونية العامة للحوض تميل إلى الاستقرار النسبي في النطاقات الواطئة (جمجمال–أربيل وحمرين)، وهي الأكثر ملاءمة لإقامة السدود، في حين ينبغي تجنب النطاقات العالية (السليمانية–زاخو) أو إجراء تقييم تفصيلي للبنية الجيولوجية قبل تنفيذ أي مشروع إنشائي فيها.جدول (٤) مساحة والنسبة المئوية لكتونية في منطقة الدراسة

التكتونية		المساحة كم٢	%
رصيف غير مستقر نطاق الطيات الواطئة	حزام جمجمال اربيل	2042.91	62.23
رصيف غير مستقر نطاق الطيات الواطئة	حزام حمرين	560.16	17.06
رصيف غير مستقر نطاق الطيات العالية	حزام السليمانية زاخو	679.54	20.70
المجموع		3282.61	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٥).خريطة (٥) تكتونية منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة أداة الوزن العكسي للمسافة (IDW)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢- المؤشرات الطبوغرافية:

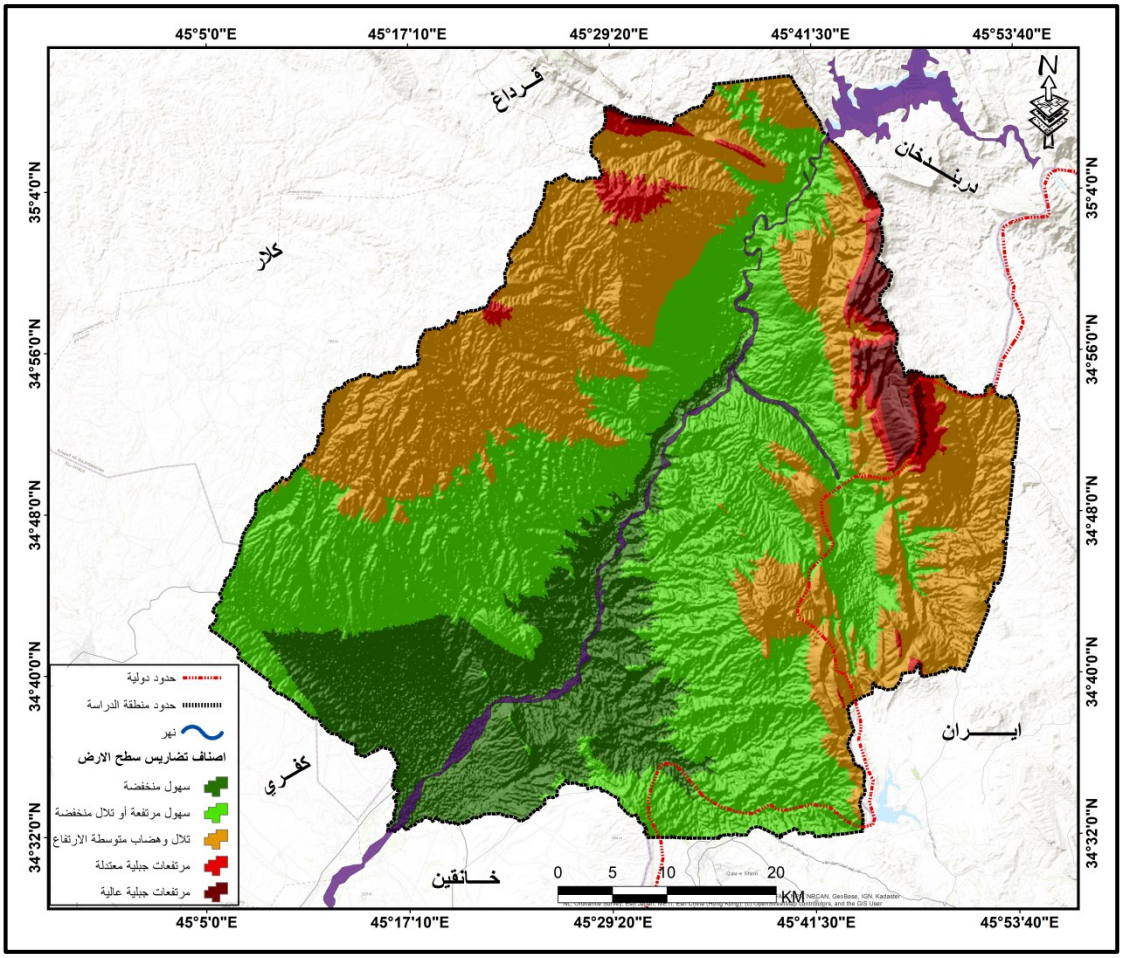
٢-١ الارتفاعات:

يتبين من بيانات الجدول (٥) والخريطة (٦) أن السهول المرتفعة أو التلال المنخفضة تشغل النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ بلغت ١٤٤٧.٢٥ كم² بنسبة ٤٤.١٠٪ من إجمالي المساحة. وتتميز هذه المناطق بانحدارات معتدلة واستقرار جيومورفولوجي نسبي، ما يجعلها أنسب المواقع لإقامة السدود من حيث سهولة إنشاء المنشآت الإنشائية وتوفر الأحواض الطبيعية لتجميع المياه. تليها التلال والهضاب متوسطة الارتفاع بمساحة ١٠٨٨.٨٨ كم² بنسبة ٣٣.١٨٪، وهي مناطق انتقالية بين السهول والمرتفعات. ورغم وجود بعض الانحدارات فيها، إلا أنها ملائمة لإنشاء سدود متوسطة الحجم، خصوصاً في الأودية المتجهة نحو السهول، حيث يمكن استغلال الفوارق الطبوغرافية لتجميع المياه بكفاءة. أما السهول المنخفضة فتغطي مساحة ٥٩٩.٣٧ كم² أي بنسبة ١٨.٢٦٪، وتعد مناطق استقبال وتصريف وليست مواقع مثالية لبناء سدود، لكنها مهمة في تحديد مناطق انتشار الفيضانات أو مناطق الخزن المائي السطحي بعد إنشاء السدود في المناطق الأعلى.في حين تشكل المرتفعات الجبلية المعتدلة والعالية مساحات محدودة بلغت معاً نحو ١٤٦.٣٦ كم² بنسبة لا تتجاوز ٤.٤٦٪ من مساحة الحوض، وهي مناطق شديدة الانحدار وغير مناسبة لإقامة سدود كبيرة بسبب طبيعتها التضريسية المعقدة وصعوبة تنفيذ المنشآت الهندسية فيها، إلا أنها تمثل مصادر تغذية رئيسية للمياه السطحية والجوفية. يظهر التحليل اعلاه أن المناطق ذات الارتفاعات المتوسطة والمنخفضة تمثل الأنسب لإقامة السدود المقترحة، نظراً لتوافر الظروف الطبوغرافية والجيومورفولوجية الملائمة، بينما تعد المناطق الجبلية العالية غير ملائمة إنشائياً، ويمكن استغلالها فقط كمناطق تغذية مائية للأحواض السفلى.

جدول(٥) مساحة والنسبة المئوية لارتفاعات في منطقة الدراسة

الارتفاع (متر)	المساحة كم٢	%
تلال وهضاب متوسطة الارتفاع	1088.88	33.18
سهول مرتفعة أو تلال منخفضة	1447.25	44.10
سهول منخفضة	599.37	18.26
مرتفعات جبلية عالية	63.34	1.93
مرتفعات جبلية معتدلة	83.02	2.53
المجموع	3281.87	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٦).خريطة (٦) أصناف التضاريس الأرضية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ١٠ متر، ومخرجات برنامج ArcGIS.

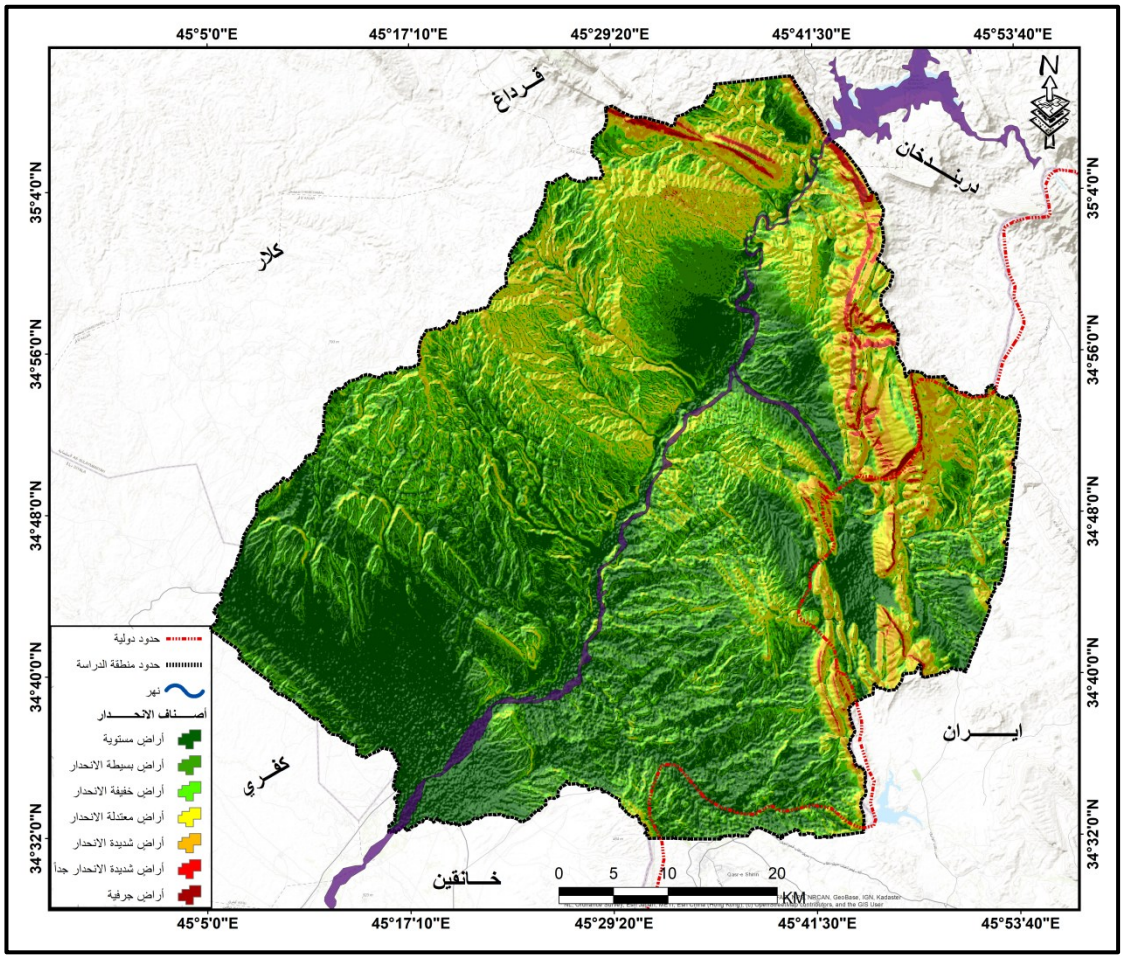
٢-٢ الانحدار:

يتضح من الجدول (٦) والخريطة (٧) أن الأراضي المستوية (٠-٢٪) تشغل النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ بلغت ١١٣٠.٧٧ كم٢ بنسبة ٣٤.٦٨٪ من إجمالي المساحة. وتمثل هذه المناطق السهول الفيضية والأودية الواسعة التي تعد ملائمة من حيث الاستقرار السطحي وسهولة تنفيذ الأعمال الهندسية، لكنها ليست مثالية لبناء جسم السد نفسه، بل تعتبر مناسبة كمنطقة خزن مائي خلف السد نظراً لاتساعها وانخفاضها الطبوغرافي.أما الأراضي البسيطة الانحدار (٢-٥٪) فتغطي مساحة ٨٣٩.٩٤ كم٢ بنسبة ٢٥.٧٦٪، وهي الأكثر ملاءمة لإنشاء السدود من الناحية المورفومترية، إذ توفر توازناً بين الانحدار الكافي لتصريف المياه والقدرة على بناء منشآت مستقرة هندسياً، خصوصاً على الأودية الرئيسة. تليها الأراضي الخفيفة إلى المعتدلة الانحدار (٥-١٨٪) بمساحة إجمالية تقارب ١٠٧٦.٩٢ كم٢ بنسبة ٣٣.٠٤٪، وتمثل مناطق انتقالية بين السهول والمرتفعات. هذه المناطق يمكن استغلالها لإقامة سدود متوسطة الحجم بشرط دراسة استقرارية المنحدرات وتثبيت التربة في المناطق الحساسة للتعرية والانزلاق.أما

الأراضي الشديدة الانحدار (١٨–٣٠٪) فتشغل ١٦٧.٤٦ كم² بنسبة ٥.١٤٪، وهي مناطق ذات مخاطر جيومورفولوجية عالية مثل الانزلاقات والانجراف، ما يجعلها غير مناسبة لبناء السدود الكبيرة، ويمكن استغلالها فقط لمشروعات صغيرة أو سدود تحويلية محدودة.في حين تشكل الأراضي الشديدة جداً والجرفية أكبر من(٣٠٪) مساحة محدودة جداً بلغت معاً نحو ٤٥.١٧ كم² بنسبة ١.٣٨٪، وهي مناطق جبلية حادة الانحدار غير صالحة إطلاقاً لإقامة السدود بسبب مخاطر الانهيارات وصعوبة الإنشاء.وبناءً على ذلك، يستنتج أن نحو ٦٠٪ من مساحة الحوض (الانحدارات بين ٠–٥٪) تعد الأكثر ملاءمة لإقامة السدود والخزانات المائية، في حين تتطلب المناطق الأعلى انحداراً دراسة تفصيلية لتقييم المخاطر الجيومورفولوجية قبل اعتمادها ضمن المشاريع الإنشائية.جدول (٦) مساحة والنسبة المئوية لأصناف الانحدار في منطقة الدراسة

درجة الانحدار	نوع انحدار الأرض	المساحة كم²	%
0 – 2	أراضٍ مستوية	1130.77	34.68
2 – 5	أراضٍ بسيطة الانحدار	839.94	25.76
5 – 10	أراضٍ خفيفة الانحدار	529.96	16.26
10 – 18	أراضٍ معتدلة الانحدار	546.96	16.78
18 – 30	أراضٍ شديدة الانحدار	167.46	5.14
30 – 45	أراضٍ شديدة الانحدار جداً	33.28	1.02
> 45	أراضٍ جرفية (منحدرات حادة)	11.89	0.36
المجموع		3260.27	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٧).خريطة (٧) انحدار سطح الارض في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ١٠ متر، ومخرجات برنامج ArcGIS.

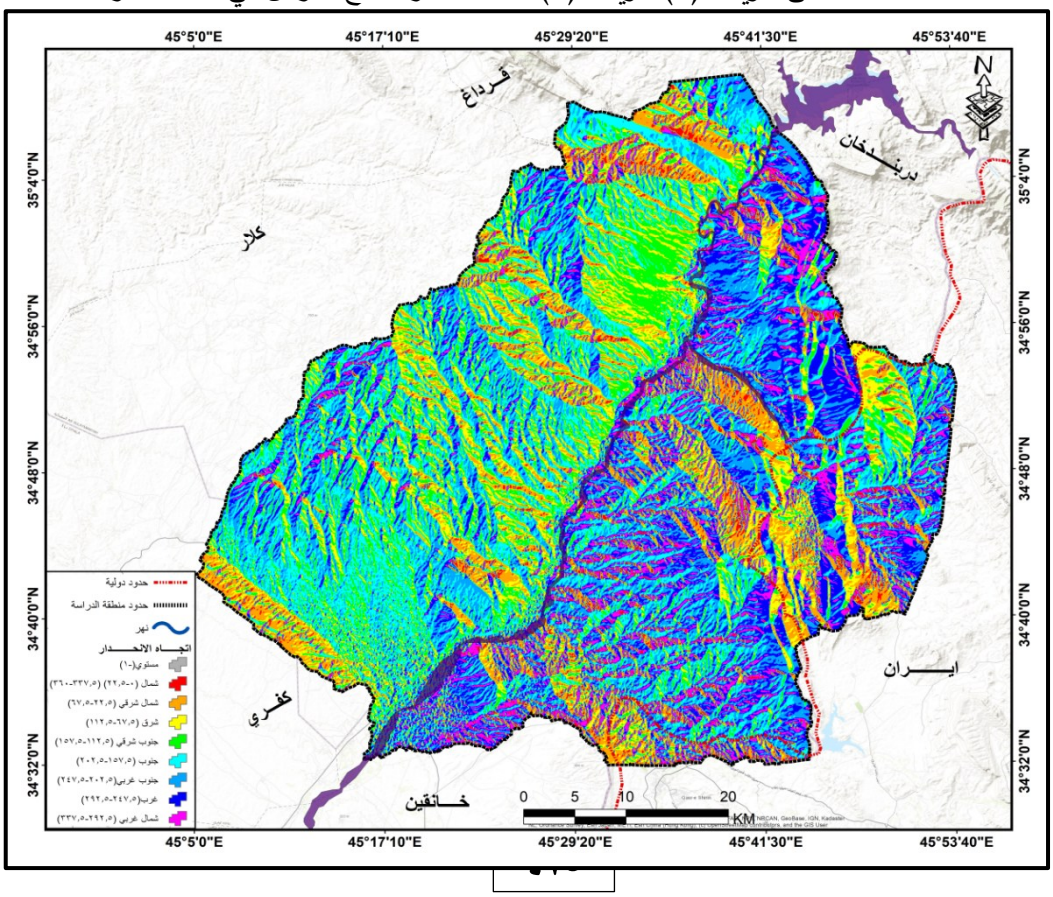
٢-٣ اتجاه الانحدار:

يتضح من الجدول (٧) والخريطة (٨) يمثل الاتجاه الشمالي النسبة الأعلى بمساحة ٥٠٦.٥٦ كم² (١٥.٥٤٪)، تليه الاتجاهات الجنوبية والجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية، مما يشير إلى أن معظم مساحات الحوض تميل إلى انحدار معتدل نحو الشمال والجنوب ومشتقاتهما. هذه الانحدارات تعد مناسبة لتصريف المياه الطبيعية نحو الأحواض الرئيسية، ويمكن استغلالها لتحديد المواقع المثلى للسدود بحيث تتلقى المياه من مجاري متعددة بكفاءة.أما المناطق المستوية تمثل نحو ٧.٧١٪ فقط من مساحة الحوض، وهي مفيدة كمناطق تجميع مياه خلف السدود، لكنها لا توفر الانحدار الكافي لتصريف المياه ذاتياً. في حين أن الاتجاهات الأخرى مثل الشمال الشرقي، الشرق، الغرب والشمال الغربي تتراوح نسبتها بين ٨–١١٪، وتشكل مسارات فرعية للجريان المائي يمكن الاستفادة منها في تصميم الأحواض الثانوية أو قنوات التجميع المائي التي تغذي السدود الرئيسية. بناءً على ذلك، يظهر أن الحوض يتمتع بتنوع في اتجاهات الانحدار يسمح بتخطيط السدود بطريقة فعالة لتجميع المياه والسيطرة على الجريان السطحي، مع التركيز على المواقع التي تمتاز بانحدار متسق نحو الأحواض الأساسية لتقليل مخاطر الفيضانات وزيادة كفاءة التخزين المائي.

جدول (٧) مساحة والنسبة المئوية لاتجاه الانحدار في منطقة الدراسة

اتجاه الانحدار	المساحة كم²	%
مستوية	251.52	7.71
شمال	506.56	15.54
الشمال الشرقي	285.51	8.76
شرق	333.09	10.22
الجنوب الشرقي	380.86	11.68
الجنوب	453.84	13.92
الجنوب الغربي	418.53	12.84
الغرب	359.43	11.02
الشمال الغربي	271.00	8.31
المجموع	3260.33	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٨).خريطة (٨) اتجاه انحدار سطح الارض في منطقة الدراسة



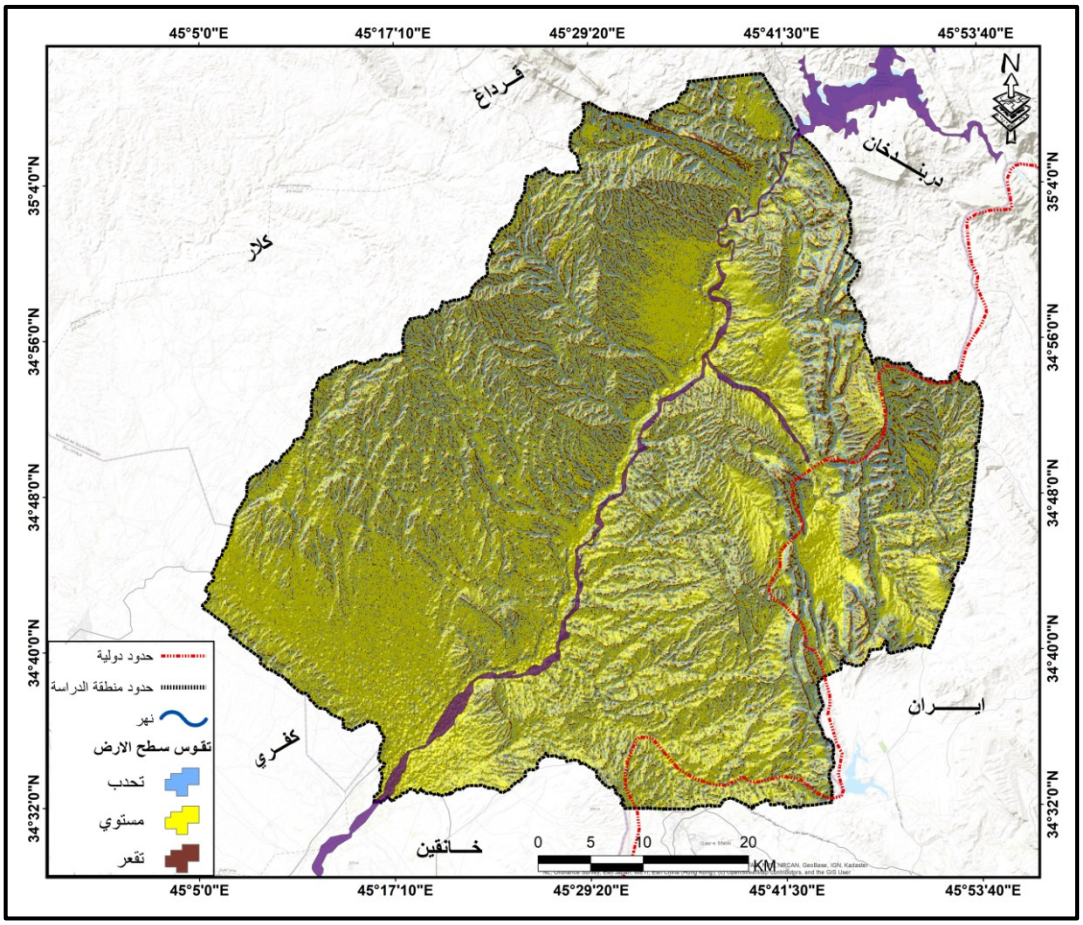
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ١٠ متر، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢-٤ تقوس سطح الارض:

يتبين من الجدول (٨) والخريطة (٩) يشكل السطح المستوي النسبة الأكبر من مساحة الحوض بمقدار ١٤٥٤.٥٩ كم² أي ٤٤.٣٢٪، وهو مثالي لإنشاء أحواض تخزين مياه خلف السدود، إذ يتيح توزيع المياه بشكل متساوٍ ويقلل من سرعة الجريان السطحي، مما يقلل من مخاطر التعرية والانجراف.أما المناطق المقعرة فتغطي مساحة ١٠١٤.٩٤ كم² بنسبة ٣٠.٩٣٪، وهي غالباً منخفضات طبيعية أو أحواض صغيرة تعمل على تجميع المياه بشكل طبيعي، ما يجعلها ملائمة كمواقع لخزانات فرعية أو لتعزيز قدرة السدود على التجميع خلال مواسم الأمطار الغزيرة. في حين تمثل المناطق المحدبة (تحدب) نحو ٨١٢.٢٢ كم² أي ٢٤.٧٥٪، وهي مناطق مرتفعة نسبياً أو قمم صغيرة، وتتميز بتصريف سريع للمياه نحو الأحواض المنخفضة. على الرغم من أنها غير مناسبة مباشرة لخزن المياه خلف السدود، إلا أن هذه المناطق تغذي الشبكة المائية وتؤدي دوراً أساسياً في توجيه الجريان إلى مواقع التخزين المناسبة. وبناءً على ذلك، فإن توزيع تقوس سطح الأرض يشير إلى أن الأحواض المستوية والمقعرة توفر أفضل المواقع لإنشاء السدود ومخازن المياه، بينما المناطق المحدبة تعد مناطق تغذية طبيعية للأحواض المنخفضة، مما يساعد في تحسين فعالية تصميم السدود والتحكم في الجريان السطحي.جدول (٨) مساحة والنسبة المئوية لأراضي لتقوس سطح الارض في منطقة الدراسة

تصنيف تقوس سطح الارض	المساحة كم٢	%
تحدب	812.22	24.75
مستوي	1454.59	44.32
مقعر	1014.94	30.93
المجموع	3281.74	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (٩).خريطة (٩) تقوس سطح الارض في منطقة الدراسة



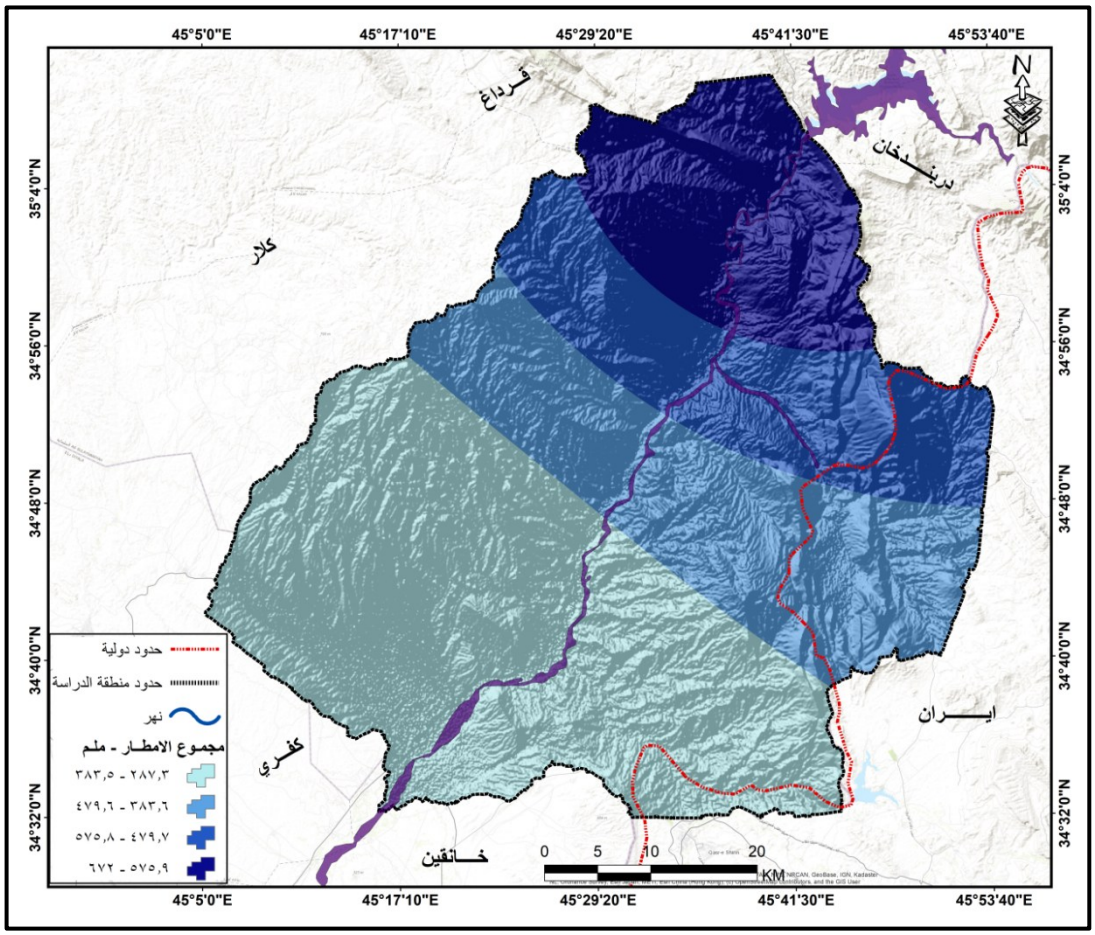
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ١٠ متر، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٣- المؤشرات المناخية:

٣-١ الامطار:

تعد الأمطار من العوامل الأساسية في تحديد المواقع الملائمة لإنشاء السدود، إذ تمثل المصدر الرئيس لتغذية الموارد المائية السطحية. ويظهر من خلال التحليل المكاني لخريطة (١٠) في منطقة الدراسة وجود أربع فئات من معدلات الهطول تتراوح بين (٢٨٧.٣ – ٦٧٢ ملم/سنة)، تعكس تدرجاً من الجنوب نحو الشمال. فالمناطق ذات الأمطار المنخفضة (٢٨٧.٣ – ٣٨٣.٥ ملم) تعد **الأقل ملاءمة** لإنشاء السدود الكبيرة، ويمكن استخدامها فقط لمشاريع حصاد المياه الصغيرة. أما المناطق متوسطة الأمطار (٣٨٣.٦ – ٤٧٩.٦ ملم) فتعد **متوسطة الملاءمة**، وتصلح لإنشاء سدود متوسطة الحجم في حال توافرت ظروف جيولوجية وطبوغرافية مناسبة. بينما تعد المناطق ذات الأمطار الغزيرة (٤٧٩.٧ – ٥٧٥.٨ ملم) **الأكثر ملاءمة** لإنشاء السدود الكبيرة، نظراً لوفرة الهطول واستمراريته. وتأتي الفئة الأعلى مطراً (٥٧٥.٩ – ٦٧٢ ملم) في المرتفعات الشمالية كأفضل المواقع لإنشاء السدود الكبرى، رغم حاجتها إلى دراسة جيومورفولوجية دقيقة لتجنب الانزلاقات أو المشكلات التكتونية. وبشكل عام، تزداد ملاءمة المواقع مع زيادة كمية الأمطار وتوفر الشروط الجيولوجية والطبوغرافية المساندة.

خريطة (١٠) مجموع الامطار ملم في منطقة الدراسة



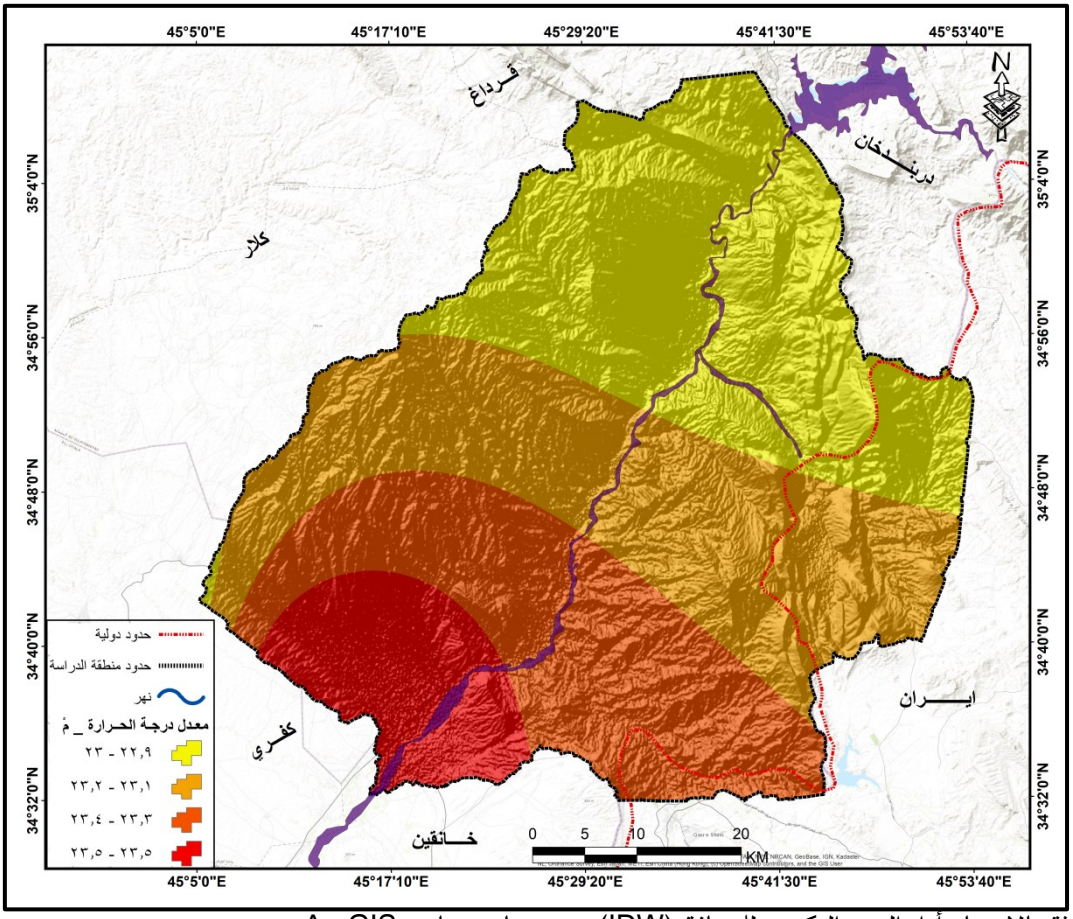
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد أداة الوزن العكسي للمسافة (IDW)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٣-٢ درجة الحرارة:

تعد درجة الحرارة من العوامل المناخية المهمة التي تؤثر في تحديد المواقع الملائمة لإنشاء السدود، لما لها من دور مباشر في معدلات التبخر وفقدان المياه من الخزانات. ويظهر من خلال التحليل المكاني لخريطة (١١) في منطقة الدراسة وجود أربع فئات تتراوح بين (٢٢.٩ – ٢٣.٥ م°). تعد الفئة الأولى (٢٢.٩ – ٢٣ م° **الأكثر ملاءمة** لإنشاء السدود، إذ تتميز بدرجات حرارة منخفضة نسبياً تقلل من معدلات التبخر وتحافظ على كميات المياه المخزونة. أما الفئة الثانية (٢٣.١ – ٢٣.٢) مْ فهي **ملائمة بدرجة متوسطة**، حيث تكون معدلات التبخر معتدلة. وتأتي الفئة الثالثة (٢٣.٣ – ٢٣.٤) مْ **أقل ملاءمة** نتيجة ارتفاع الحرارة النسبي وما يسببه من فقدان مائي أعلى. في حين تعد الفئة الرابعة (٢٣.٥)مْ **الأقل ملاءمة**

لبناء السدود الكبيرة، إذ ترتفع فيها معدلات التبخر بشكل واضح مما يقلل من كفاءة التخزين المائي. وبذلك، تزداد ملاءمة المواقع لإنشاء السدود كلما انخفضت درجات الحرارة وتراجعت معدلات الفقد بالتبخر.

خريطة (١١) معدل درجة الحرارة مْ في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد أداة الوزن العكسي للمسافة (IDW)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

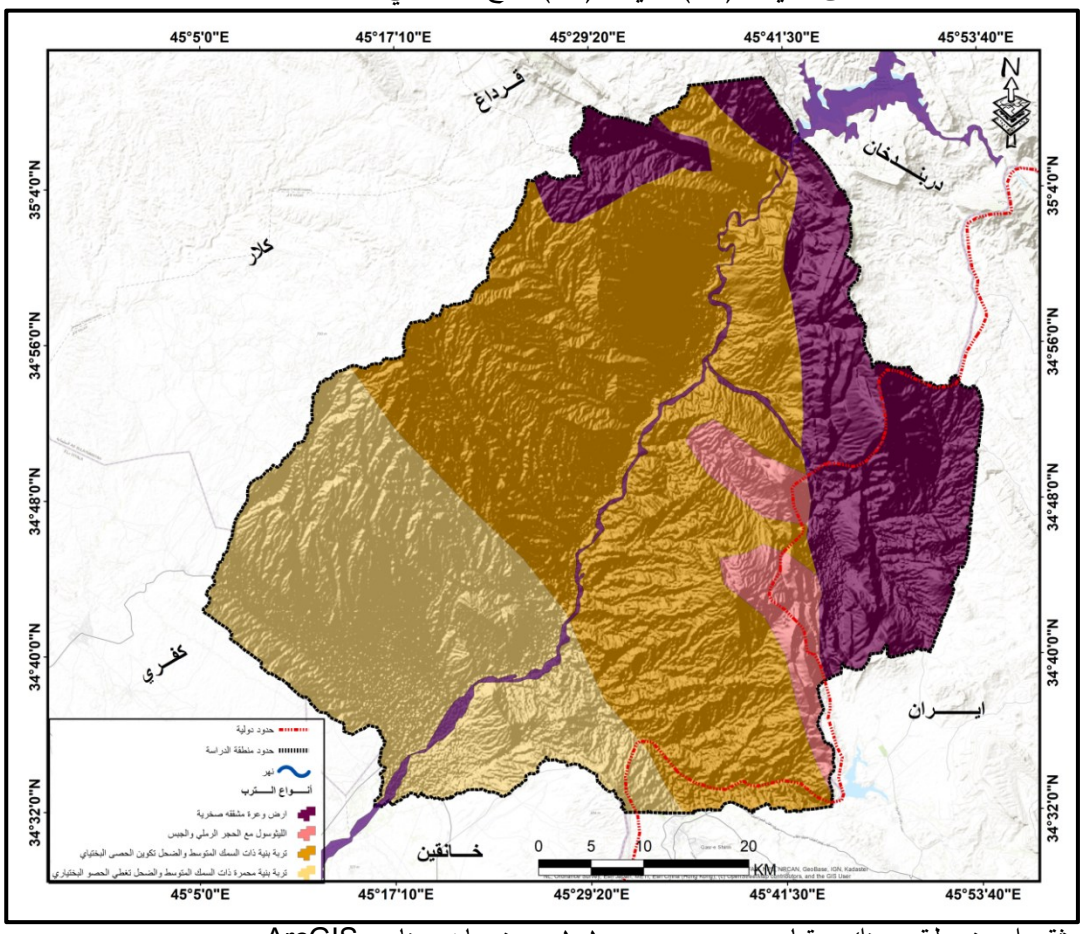
٤- المؤشرات البيئية:

٤-١ الترب:

يتضح من بينات الجدول (٩) والخريطة (١٢) أن التربة البنية ذات السمك المتوسط والضحل التي تغطي تكوين الحصى البختياري تشكل النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ بلغت ١٥٧٢.٥٦ كم² بنسبة ٤٧.٩١٪. وتمتاز هذه التربة بتركيبها المتوسط من حيث القوام والنفاذية، إلا أن وجود طبقة حصوية في الأسفل يقلل من قدرتها على الاحتفاظ بالمياه، مما يجعلها أقل ملاءمة كمناطق خزن مائي مباشر، لكنها مناسبة كمناطق دعم لبناء جسم السدود بفضل استقرارها النسبي ومقاومتها للتعرية. تليها التربة البنية المحمرة ذات السمك المتوسط والضحل التي تغطي الحصى البختياري بمساحة ٩١٥.٦٥ كم² بنسبة ٢٧.٨٩٪. وتتميز هذه التربة بأنها أكثر تماسكا وغنية بأكاسيد الحديد، مما يمنحها قدرة أعلى على مقاومة الانجراف، وتعد ملائمة نسبياً لإقامة منشآت السدود الصغيرة والمتوسطة، خاصة في المناطق التي تكون فيها الأساسات مستقرة وغير مشبعة بالمياه أما الأراضي الوعرة المتشققة الصخرية فتمتد على مساحة ٦٤٦.٢١ كم² بنسبة ١٩.٦٩٪، وهي مناطق صخرية قاسية ذات انحدارات عالية وشقوق سطحية، مما يجعلها غير مناسبة لإقامة سدود خزن كبيرة بسبب ضعف قدرة الصخور المتشققة على منع التسرب، لكنها قد تكون مواقع محتملة لسدود تحويلية صغيرة أو منشآت تغذية جوفية. في حين تشكل تربة الليثوسول المختلطة بالحجر الرملي والجبس مساحة ١٤٨.١٨ كم² بنسبة ٤.٥١٪ من الحوض. وهذه التربة ضعيفة التماسك وسريعة الذوبان (بسبب وجود الجبس)، ما يجعلها أكثر المناطق هشاشة جيولوجياً وغير ملائمة لإنشاء السدود بسبب مخاطر الانهيار والتسرب المائي العالي.وبناءً على ذلك، يمكن القول إن أنواع الترب السائدة في الحوض ذات طبيعة شبه مستقرة إلى ضعيفة من حيث الخواص الهندسية. وتعد الترب البنية والمحمرة فوق تكوينات البختياري هي الأكثر ملاءمة لإنشاء السدود المقترحة، شريطة تنفيذ اختبارات هندسية ميدانية لتحديد عمق الأساسات ونفاذية الطبقات الحصوية قبل التصميم النهائي.جدول(٩) مساحة نسبة المئوية لأنواع الترب في منطقة الدراسة

الترب	المساحة كم٢	%
تربة بنية ذات السمك المتوسط والضحل تكوين الحصى البختياي	1572.56	47.91
تربة بنية محمرة ذات السمك المتوسط والضحل تغطي الحصو البختياري	915.65	27.89
ارض وعرة مشققه صخرية	646.21	19.69
الليثوسول مع الحجر الرملي والجبس	148.18	4.51
المجموع	3282.61	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (١٢).خريطة (١٢) أنواع الترب في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة على خريطة بيورنك بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠٠، ومخرجات برنامج ArcGIS.

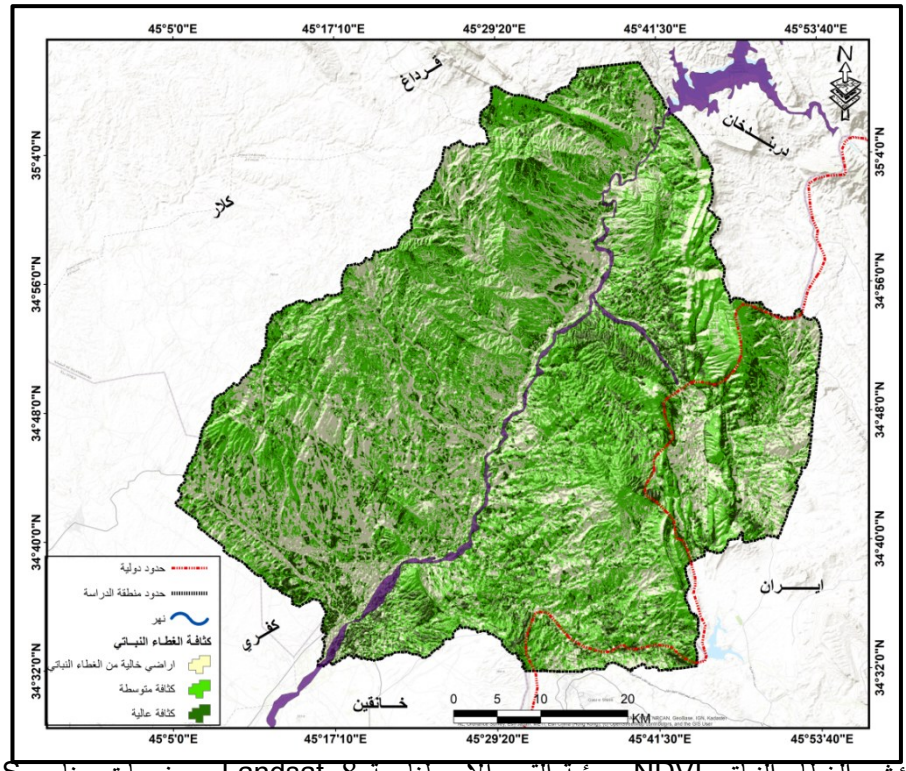
٤-٢ كثافة الغطاء النباتي:

يتضح من الجدول (١٠) والخريطة (١٣) أن الأراضي الخالية من الغطاء النباتي تشغل المساحة الأكبر من الحوض، إذ بلغت ٢٠٥٤.٩٤ كم² بنسبة ٦٢.٦٠٪ من إجمالي المساحة. هذه النسبة العالية تدل على أن الحوض يتميز بغطاء نباتي ضعيف، ما يعكس تعرضه للتعرية السطحية والانجراف المائي، خصوصاً في مواسم الأمطار الغزيرة. ورغم أن غياب الغطاء النباتي قد يسهل تنفيذ المشاريع الهندسية، إلا أنه يعد عامل خطر بيئي لأنه يزيد من معدلات الطمي والرواسب في خزانات السدود، مما يقلل من عمرها التشغيلي وفاعليتها على المدى البعيد.أما المناطق ذات الكثافة النباتية المتوسطة فتغطي مساحة ١٠٢٨.٢٣ كم² بنسبة ٣١.٣٣٪، وهي تمثل مناطق ذات توازن بيئي نسبي، حيث يساهم الغطاء النباتي فيها في تثبيت التربة وتقليل الانجراف، مما يجعلها أنسب من الناحية البيئية والهيدرولوجية لإنشاء السدود، خاصة إذا كانت قريبة من مجاري الأودية الرئيسة التي تستقبل الجريان السطحي من المناطق العليا.في حين تشكل المناطق ذات الكثافة النباتية العالية مساحة ١٩٩.٢٨ كم² بنسبة ٦.٠٧٪ فقط، وهي غالباً تتركز في المناطق الجبلية أو السفوح الرطبة. ورغم أن هذه المناطق تتميز باستقرار تربوي وانحدارات محدودة للتعرية، إلا أن كثافة الغطاء النباتي العالية قد تجعل عمليات الحفر والإنشاء أكثر تعقيداً، لكنها في المقابل تحافظ على استدامة النظام البيئي المحيط بالسدود. وبناءً على ذلك، يمكن القول إن الغطاء النباتي في الحوض ضعيف إجمالاً، مما يتطلب إجراءات بيئية مرافقة لمشروعات السدود مثل إعادة التشجير وإنشاء أحزمة

خضراء حول أحواض الخزن للحد من التعرية والرواسب. كما تعد المناطق ذات الكثافة النباتية المتوسطة الأكثر توازناً وملاءمة من حيث الاستقرار البيئي والهيدرولوجي لإقامة السدود المقترحة.جدول (١٠) مساحة والنسبة المئوية لكثافة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة

كثافة الغطاء النباتي	المساحة كم^2	%
اراضي خالية من الغطاء النباتي	2054.94	62.60
كثافة متوسطة	1028.23	31.33
كثافة عالية	199.28	6.07
المجموع	3282.44	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (١٣).خريطة (١٣) أصناف كثافة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة على مؤشر الغطاء النباتي NDVI ومرئية القمر الاصطناعية Landsat-8، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٥- المؤشرات الهيدرولوجية:

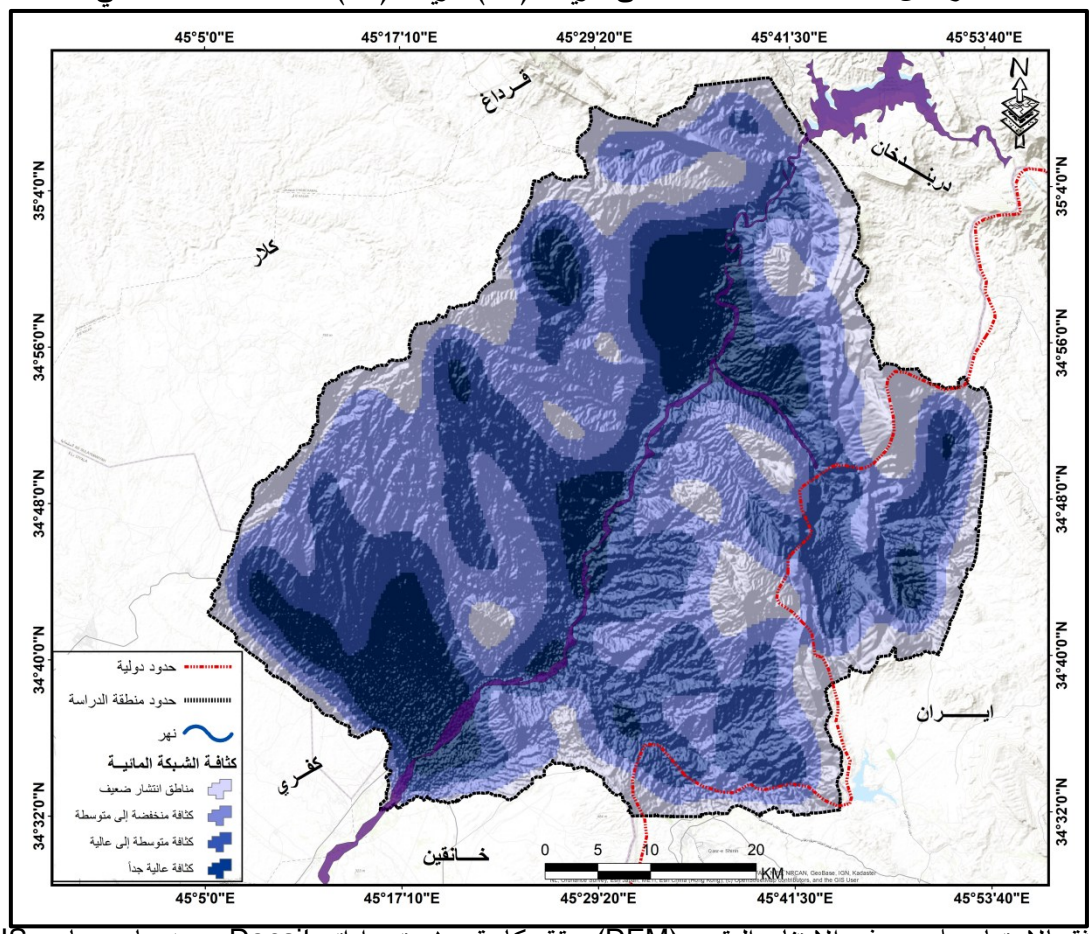
٥-١ كثافة الشبكة المائية:

يتبين من الجدول (١١) والخريطة (١٤) أن المناطق ذات الكثافة المنخفضة إلى المتوسطة تشغل النسبة الأكبر من مساحة الحوض، إذ بلغت ١١٣٦.٧٣ كم^2 بنسبة ٣٤.٦٤٪، تليها المناطق ذات الكثافة المتوسطة إلى العالية بمساحة ١٠٦٨.٣١ كم^2 بنسبة ٣٢.٥٥٪. يشير هذا التوزيع إلى أن الحوض يتميز بانتشار متوازن نسبياً للمجاري المائية، ما يعكس كفاءة تصريف مائي متوسطة ووجود فرص جيدة لتجميع المياه السطحية في مواقع محددة ضمن الأحواض الفرعية، وهي خصائص ملائمة لإنشاء السدود والخزانات المائية أما المناطق ذات الكثافة العالية جداً فتغطي مساحة ٤٦٥.٧٦ كم^2 بنسبة ١٤.١٩٪، وهي تمثل الأجزاء العليا من الحوض أو المناطق الجبلية ذات الانحدارات الشديدة، حيث تتشكل العديد من المجاري الصغيرة المتقاربة نتيجة الجريان السطحي السريع. ورغم أن هذه المناطق تعد مصادر رئيسة لتغذية الأودية، إلا أنها غير مناسبة مباشرة لبناء السدود الكبيرة بسبب المخاطر الجيومورفولوجية وارتفاع معدلات الانجراف، لكنها مهمة لتحديد مناطق تغذية السدود الواقعة في الأجزاء المنخفضة. في المقابل، تشكل المناطق ذات الانتشار الضعيف أو النادر للشبكة المائية مساحة ٦١٠.٩٠ كم^2 بنسبة ١٨.٦٢٪، وهي غالباً مناطق مستوية أو شبه قاحلة ذات تصريف مائي محدود. هذه المناطق لا تمثل مواقع مثالية للسدود لضعف التغذية المائية فيها، لكنها قد تصلح كمناطق خزن مؤقت أو لتجميع مياه السيول في المواسم الممطرة.يظهر التحليل أن حوالي ثلثي مساحة الحوض (٦٧٪) تتصف بكثافة مائية منخفضة إلى عالية معتدلة، مما يوفر إمكانيات جيدة لاختيار مواقع مثالية للسدود المقترحة، خاصة في المناطق الوسطى التي تجمع بين انحدارات معتدلة وشبكة

تصريف متوسطة الكثافة، وهي الشروط المثلى من الناحية الهيدرولوجية والهندسية.جدول (١١) مساحة ونسبة المئوية لكثافة الشبكة المائية في منطقة الدراسة

انوع كثافة الشبكة المائية	المساحة كم٢	%
مناطق انتشار ضعيف أو نادر للظاهرة	610.90	18.62
كثافة منخفضة إلى متوسطة	1136.73	34.64
كثافة متوسطة إلى عالية	1068.31	32.55
كثافة عالية جداً	465.76	14.19
المجموع	3281.70	100

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة (١٤).خريطة (١٤) كثافة الشبكة المائية في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة مكانية ١٠ متر واداة Density، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢- **الأهمية النسبية للطبقات في اختيار مواقع إنشاء السدود:**في هذه المرحلة، وبعد تحديد الطبقات وتصنيفها وفق درجات ملاءمتها لإنشاء السدود، تم تحديد أفضلية الطبقات من خلال حساب الأوزان النسبية للعوامل المكانية المؤثرة باستخدام طريقة التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process – AHP)، وهي من أكثر الأساليب العلمية دقة في تقييم أهمية العوامل وتحديد تأثير كل منها في القرار المكاني(Minatour Yasser, 2013). تعتمد هذه الطريقة على المقارنات الثنائية بين المعايير لتحديد الأهمية النسبية لكل طبقة وفق مقياس (Saaty, 1980) الذي تتراوح فيه القيم بين (١) للأهمية المتساوية و(٩) للأهمية القصوى.، كما في الشكل (١) بعد ذلك تم بناء مصفوفة المقارنات البينية بين جميع الطبقات جدول (١٢) واستخراج الأوزان النهائية لكل معيار، تلتها عملية حساب نسبة الاتساق (Consistency Ratio – CR) للتحقق من منطقية ودقة المقارنات، إذ تم اعتماد القيم التي كانت نسبة الاتساق فيها أقل من (٠.١)، لضمان موثوقية النتائج ودقتها العلمية في تحديد تأثير كل طبقة على ملاءمة المواقع المقترحة لإقامة السدود(Karakuş ,2022) ، جدول (١٣).شكل (١) تحديد الاوزان النسبية في برنامج (AHP)

	AHP priorities
	Name of Criteria
1	التكوينات الجيولوجية
2	المخاطر الجيولوجية
3	انواع الصخور
4	التكتونية
5	الارتفاع
6	الانحدار
7	اتجاه الانحدار
8	تقوس سطح الارض
9	الامطار
10	درجة الحرارة
11	التربة
12	كثافة الغطاء النباتي
13	كثافة الشبكة المائية

max. 45 character ea.

OK

	A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?
1	التكوينات الجيولوجية	المخاطر الجيولوجية	1	6
2	التكوينات الجيولوجية	انواع الصخور	1	5
3	التكوينات الجيولوجية	التكتونية	1	6
4	التكوينات الجيولوجية	الارتفاع	1	6
5	التكوينات الجيولوجية	الانحدار	1	7
6	التكوينات الجيولوجية	اتجاه الانحدار	1	5
7	التكوينات الجيولوجية	تقوس سطح الارض	1	7
8	التكوينات الجيولوجية	الامطار	1	7
9	التكوينات الجيولوجية	درجة الحرارة	1	5
10	التكوينات الجيولوجية	التربة	1	6
11	التكوينات الجيولوجية	كثافة الغطاء النباتي	1	6
12	التكوينات الجيولوجية	كثافة الشبكة المائية	1	7
13	المخاطر الجيولوجية	انواع الصخور	1	6
14	المخاطر الجيولوجية	التكتونية	1	1
15	المخاطر الجيولوجية	الارتفاع	1	6
16	المخاطر الجيولوجية	الانحدار	1	6
17	المخاطر الجيولوجية	اتجاه الانحدار	1	5
18	المخاطر الجيولوجية	تقوس سطح الارض	1	7
19	المخاطر الجيولوجية	الامطار	1	7
20	المخاطر الجيولوجية	درجة الحرارة	1	1
21	المخاطر الجيولوجية	التربة	1	6
22	المخاطر الجيولوجية	كثافة الغطاء النباتي	1	6
23	المخاطر الجيولوجية	كثافة الشبكة المائية	1	6

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج التحليل الهرمي (AHP).جدول (١٢) مصفوفة المقارنة الزوجية لمؤشرات الدراسة

التكوينات	المخاطر	انواع الصخور	التكتونية	الانحدار	الارتفاع	الامطار	اتجاه الانحدار	تقوس السطح	التربة	درجة الحرارة	الغطاء النباتي	كثافة الشبكة
1	1	0.71	0.64	0.86	0.57	0.71	0.36	0.36	0.29	0.21	0.21	0.21
1	1	0.71	0.64	0.86	0.57	0.71	0.36	0.36	0.29	0.21	0.21	0.21
1.4	1.4	1	0.9	1.2	0.8	1	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
1.56	1.56	1.11	1	1.33	0.89	1.11	0.56	0.56	0.44	0.33	0.33	0.33
1.17	1.17	0.83	0.75	1	0.67	0.83	0.42	0.42	0.33	0.25	0.25	0.25
1.75	1.75	1.25	1.13	1.50	1	1.25	0.63	0.63	0.5	0.38	0.38	0.38
1.40	1.40	1	0.90	1.20	0.80	1	0.5	0.5	0.4	0.30	0.30	0.30
2.80	2.80	2	1.80	2.40	1.60	2	1	1	0.8	0.60	0.60	0.60
2.80	2.80	2	1.80	2.40	1.60	2	1	1	0.8	0.60	0.60	0.60
3.50	3.50	2.5	2.25	3	2	2.5	1.25	1.25	1	0.75	0.75	0.75
4.67	4.67	3.33	3	4	2.67	3.33	1.67	1.67	1.33	1	1	1
4.67	4.67	3.33	3	4	2.67	3.33	1.67	1.67	1.33	1	1	1

1	1	1	1.33	1.67	1.67	3.33	2.67	4	3	3.33	4.67	4.67	

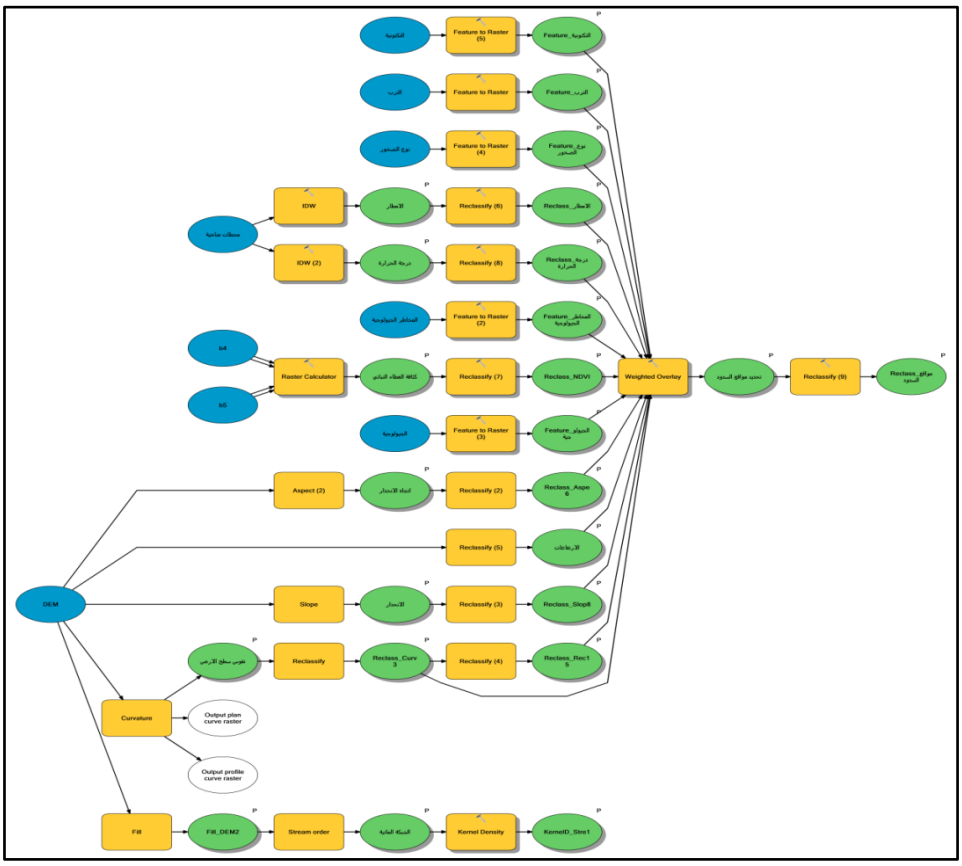
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج التحليل الهرمي (AHP).جدول (١٢) الوزن النسبي لمؤشرات الدراسة

ت	العامل	الوزن النسبي %	سبب الأفضلية
1	التكوينات الجيولوجية	14	أساس الاستقرار البنيوي للسد ومتانته.
2	المخاطر الجيولوجية	14	تحدد أمان الموقع وتقليل احتمالية الانزلاقات أو الفشل.
3	أنواع الصخور	10	تتحكم في النفاذية والمتانة اللازمة لبناء السد.
4	التكتونية	9	تؤثر على وجود فوالق أو طيات قد تهدد الاستقرار.
5	الانحدار	12	يحدد تكوين الحوض الملائم لتجميع المياه.
6	الارتفاع	8	يؤثر على حجم الخزان وطاقة الوضع للمياه.
7	الأمطار	10	توفر المياه اللازمة لتغذية السد.
8	اتجاه الانحدار	5	يؤثر على مسار الجريان السطحي، تأثير متوسط.
9	تقوس سطح الأرض	5	يحدد شكل الحوض الطبيعي، تأثير متوسط.
10	التربة	4	تؤثر في التسرب وثبات السد، دور ثانوي.
11	درجة الحرارة	3	تؤثر على التبخر، تأثير محدود على الإنشاء.
12	الغطاء النباتي	3	يقلل الانجراف وفقد المياه، تأثير ثانوي.
13	كثافة الشبكة المائية	3	مكمل للعوامل الهيدرولوجية، تأثير محدود.
المجموع		100	–

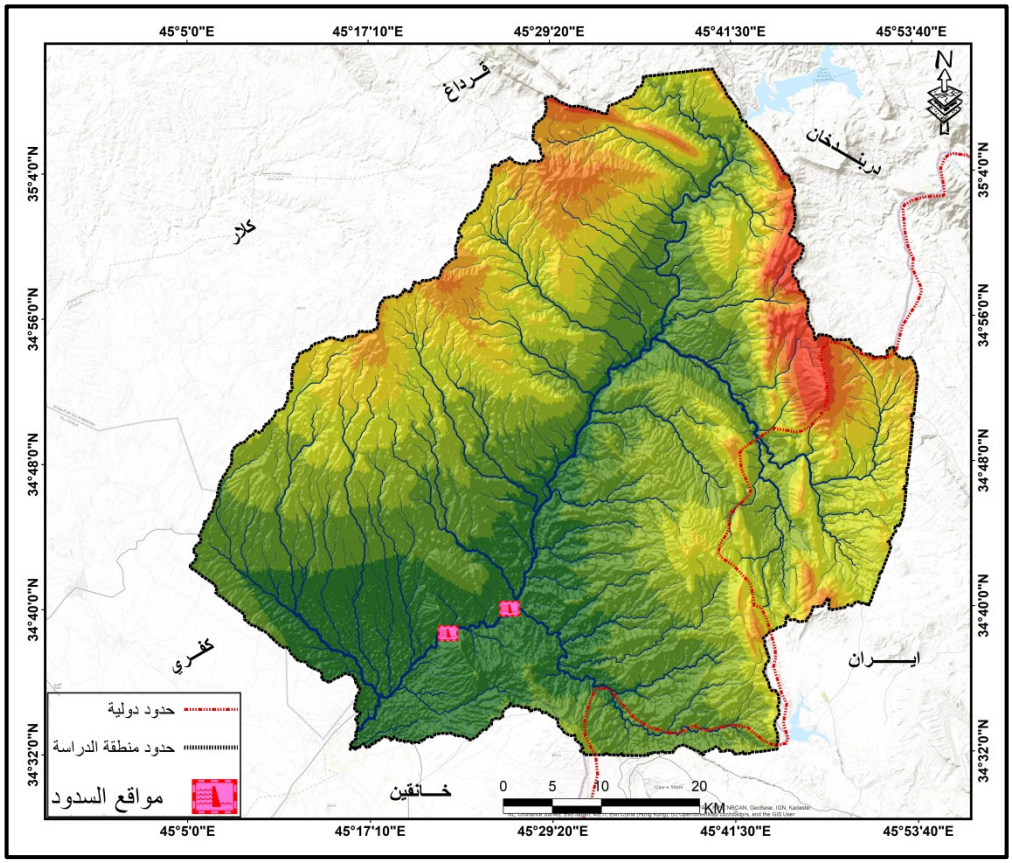
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج التحليل الهرمي (AHP).

٣- نمذجة المؤشرات لتحديد المواقع المقترحة لإنشاء السدود:

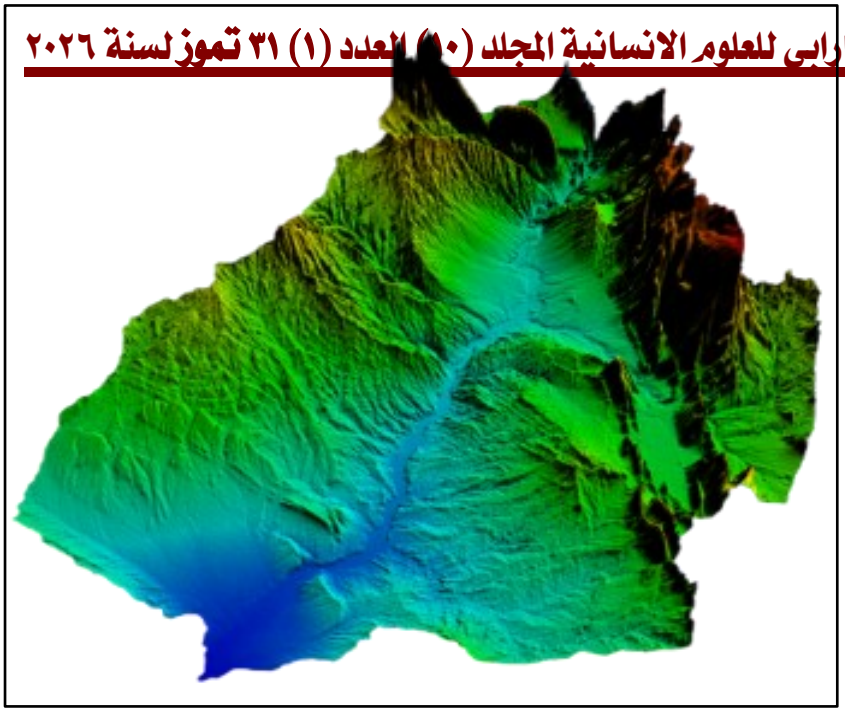
بعد تحديد المعايير وتصنيفها وتقدير أوزانها النسبية، تم بناء نموذج تحديد مواقع الملائمة لاقامة السدود المقترحة باستخدام ArcGIS عبر أداة Model Builder، التي تسمح بتنفيذ العمليات المكانية المتتابعة بشكل آلي ومنظم، وتحويل المشكلات المكانية المعقدة إلى خطوات تحليلية متسلسلة ضمن التخطيط البياني لمراحل العمل (Flowchart)، بدءاً من إدخال البيانات وحتى استخراج النتائج النهائية(Nagi Zomrawi & Khalid Alkhuzai , 2022. شكل (٢).شملت المرحلة الأولى التحليل التركيبي (Overlay Analysis) بإدخال الطبقات المكانية الأساسية، مثل التكوينات الجيولوجية، المخاطر الجيولوجية، أنواع الصخور، البنية التكتونية، الانحدار، الارتفاع، كمية الأمطار، اتجاه الانحدار، تقوس سطح الأرض (التحدب والتقعر)، نوع التربة، درجة الحرارة، الغطاء النباتي، وكثافة الشبكة المائية. وقد تم استخدام أدوات مثل Reclassify لإعادة تصنيف الطبقات، حسب اهمتها النسبية. شكل (٢).ثم تم تطبيق Weighted Overlay لدمج الطبقات وفق الأوزان النسبية لكل معيار، مع إعطاء أهمية أكبر لتكوينات الجيولوجية والمخاطر الجيولوجية الأكثر تأثيراً على استقرار وأمان السد، تليها عوامل الانحدار والأمطار وأنواع الصخور، في حين تؤدي التربة ودرجة الحرارة والغطاء النباتي وكثافة الشبكة المائية دوراً ثانوياً أو محدوداً.في المرحلة الثانية، تم استخراج المناطق ذات الملاءمة العالية (High Suitability Zones) باستخدام أدوات التحليل المكاني لتحديد المساحات المثالية لإنشاء السدود، مع مراعاة الخصائص الطبوغرافية والجيولوجية، أما المرحلة الثالثة، فشملت تحويل النتائج من النظام الشبكي (Raster) إلى النظام الخطي (Vector) باستخدام أداة Raster to Polygon، لتثبيت النتائج وإتاحة التعامل الميداني معها، وبالتالي الحصول على نموذج متكامل يمثل المخرجات النهائية لتحديد أنسب المواقع للسدود في منطقة الدراسة. خريطة (١٥).شكل (٢) نمذجة اختيار المواقع المثلى لأنشاء السدود الافتراضية



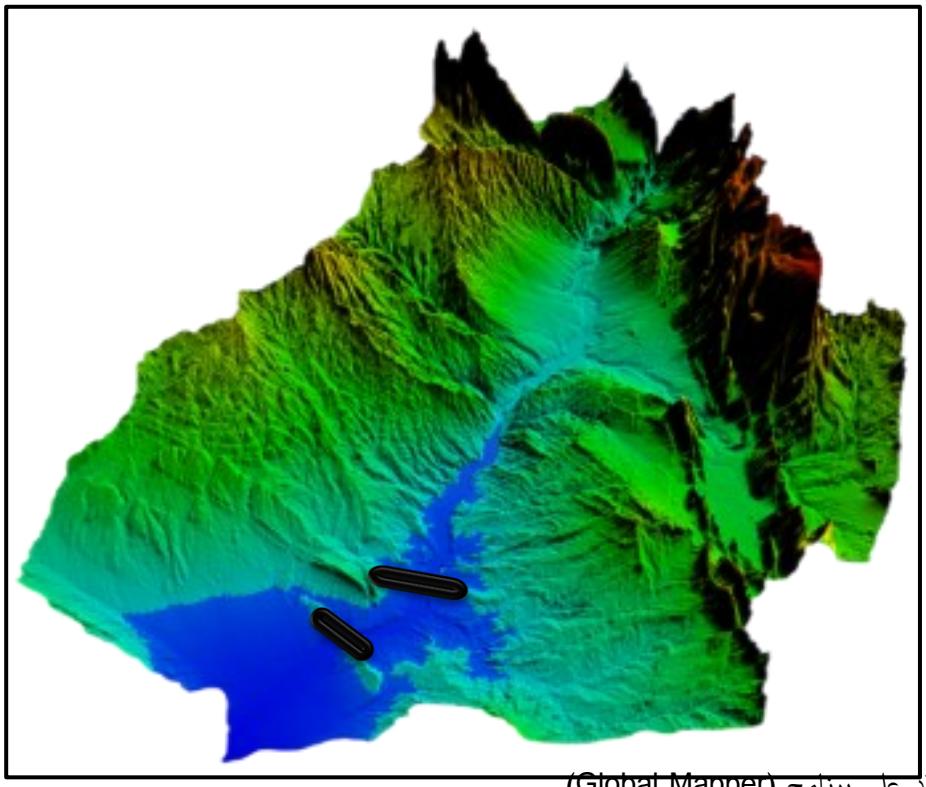
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على Model Builder، ومخرجات ArcGIS.خريطة (١٥) مواقع السدود الافتراضية



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على جدول (١٢) واداة Weighted Overlay، ومخرجات برنامج ArcGIS.شكل (٣) نموذج ثلاثي لأبعاد لمنطقة الدراسة



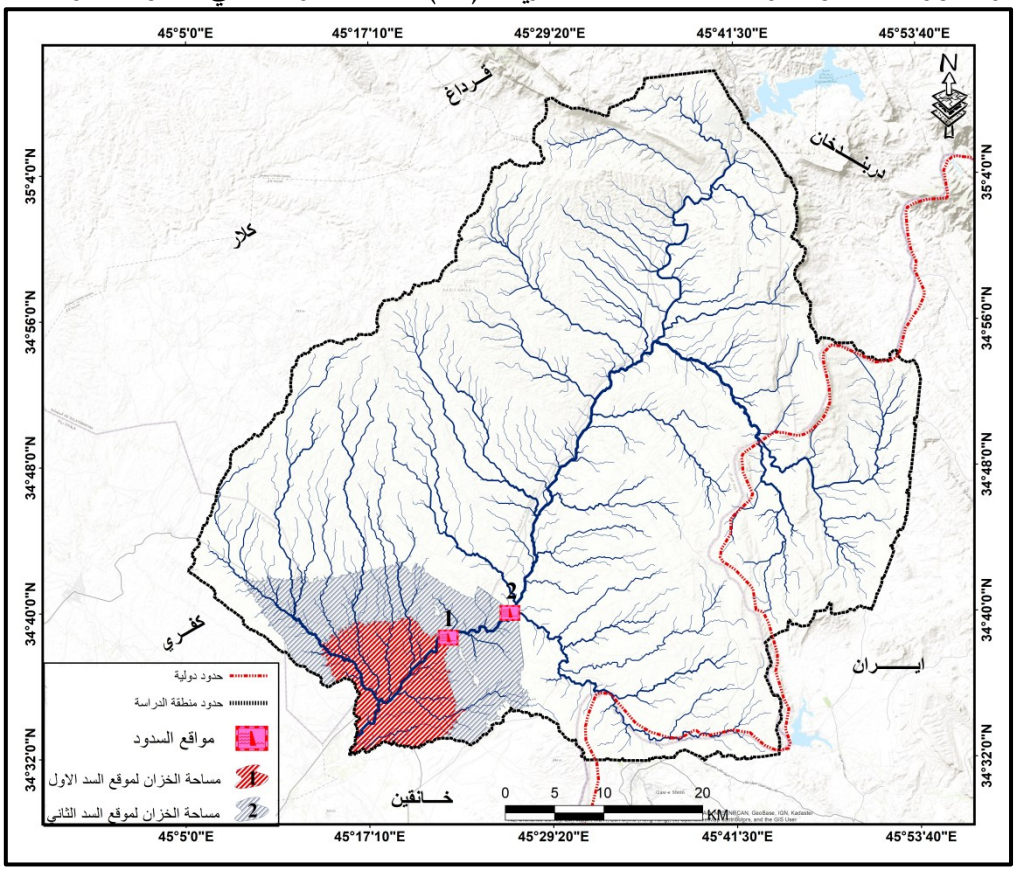
المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج (Global Mapper).شكل (٤) نموذج ثلاثي الابعاد للمواقع المقترحة لأنشاء السدود



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج (Global Mapper).

يتضح من خلال تحليل خريطة (١٦) والجدول (١٣) أن السد الأول، الذي يبلغ ارتفاعه ٢٨ متراً مع متوسط ارتفاع فعلي ١٣.٥ متراً وطول ١٥ متراً، يغطي مساحة حوض تبلغ ١٣١.١٩ كم²، ويستوعب نحو ١٧٧,٠٠٩,٦٣٤ متر³ من المياه. تعكس هذه الأبعاد أن السد الأول مهيأ لاستيعاب مجاري مائية أصغر نسبياً، ويوفر قدرة محدودة على التحكم في الجريان السطحي والفيضانات الموسمية، مع تأثير بيئي معتدل على المناطق المحيطة. كما يتميز هذا السد بسهولة التصميم والتنفيذ مقارنة بالسدود الأكبر، ويتطلب صيانة أقل ويعرض لمخاطر إنشائية أقل، لكنه يظل محدود الاستخدام في مشاريع الري الواسع أو توليد الطاقة الكهرومائية.أما السد الثاني، فيتميز بارتفاع أعلى يصل إلى ٣٥ متراً، ومتوسط ارتفاع فعلي ١٧.٥ متراً، وطول أكبر يبلغ ٢٢ متراً، مع حوض واسع تبلغ مساحته ٣٤٣.٢٤ كم² وقدرة استيعابية ضخمة تصل إلى ٦٠٠,٦٢١,٧١٢ متر³، أي أكثر من ثلاثة أضعاف السد الأول. يعكس هذا الانتقال زيادة كبيرة في القدرة التخزينية، مما يجعل السد الثاني أكثر كفاءة في تنظيم الفيضانات وتأمين مياه الري لمناطق أوسع، وكذلك توفير احتياطيات مائية في حالات الجفاف. ومع ذلك، تتطلب هذه الأبعاد الكبيرة تصميماً إنشائياً متيناً وتحليلاً دقيقاً

للجيولوجيا والتربة لتفادي مخاطر الانزلاقات أو الفشل الهيكلي، كما يزيد تأثيره البيئي على الغطاء النباتي والحياة المائية والمجتمعات المحيطة، ويتطلب خططاً متقدمة لإدارة الموارد المائية والتأثيرات البيئية المصاحبة.خريطة (١٦) مساحة الخزان المائي للسدود المقترحة



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على جدول (١٢) واداة Weighted Overlay، ومخرجات برنامج ArcGIS.

جدول (١٣) بيانات السدود المقترحة في منطقة الدراسة

السدود	ارتفاع السد_متر الجدار الاسمنتي	متوسط الارتفاع _ متر	طول السد _ متر	المساحة _ كم٢	حجم المياه التي يستوعبها السد م٣
١	٢٨	١٣.٥	١٥	١٣١.١٩	١٧٧٠٠٩٦٣٤
٢	٣٥	١٧.٥	٢٢	٣٤٣.٢٤	٦٠٠٦٢١٧١٢

المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على برنامج ArcGIS.

الاستنتاجات:

١- أظهرت الدراسة أن دمج النمذجة الهيدرولوجية مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) واستخدام نموذج تحليلي متكامل عبر Model Builder في ArcGIS مكن من تحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية بدقة عالية، ضمن سير عمل أوتوماتيكي يقلل الأخطاء ويوحد خطوات التحليل ويتيح إمكانية إعادة تطبيق النموذج في دراسات مستقبلية مماثلة.

٢- أظهر التحليل المتعدد المعايير (AHP و Weighted Overlay) داخل بيئة (GIS) فعالية عالية في تحديد الأوزان النسبية للعوامل الجيولوجية والطبوغرافية والهيدرولوجية والبيئية المؤثرة في اختيار مواقع السدود الافتراضية، مما مكن من تصنيف المنطقة إلى ثلاث درجات من الملاءمة.

٣- تشير نتائج تحليل المؤشرات إلى أن العوامل الجيولوجية والطبوغرافية، مثل التكوينات الجيولوجية، المخاطر الجيولوجية، أنواع الصخور، التكتونية، الانحدار، والارتفاع، تمثل العناصر الأكثر تأثيراً في تحديد المواقع الملائمة لإنشاء السدود الافتراضية، حيث تضمن استقرار السد ومتانته وتشكيل حوض مناسب لتخزين المياه. في المقابل، تلعب العوامل المناخية والبيئية مثل الأمطار، درجة الحرارة، الغطاء النباتي، وكثافة الشبكة المائية دوراً داعماً في تحسين كفاءة تشغيل السد وتحقيق تغذية مستمرة للمياه، إلا أن تأثيرها يكون أقل مباشرة على الأمان الإنشائي مقارنة بالعوامل الجيولوجية والطبوغرافية.

٤- بينت نتائج الدراسة أن بيانات السدود تشير إلى أن السد الأول محدود السعة ومناسب لمجاري مائية صغيرة مع تأثير بيئي معتدل وصيانة أقل، بينما السد الثاني يتمتع بسعة تخزينية كبيرة وكفاءة أعلى في تنظيم الفيضانات وتأمين مياه الري الواسع، لكنه يتطلب تصميماً متيناً وتحليلاً جيولوجياً دقيقاً وإدارة بيئية متقدمة.

التوصيات:

١-توسيع نطاق استخدام النمذجة الهيدرولوجية لتشمل محاكاة تدفقات المياه السطحية في فترات مختلفة من السنة (الجافة والرطبة)، وذلك لزيادة دقة تحديد المواقع المثلى للسدود.

٢-دمج أكثر من نموذج هيدرولوجي (مثل HEC-HMS وSWAT) للتحقق المتبادل من النتائج وتحسين موثوقية التقديرات الخاصة بالجريان السطحي وحجم الخزن المحتمل.

٣-الاعتماد على بيانات استشعار عن بعد حديثة عالية الدقة (مثل Sentinel-2 أو PlanetScope) لتحديث خرائط استخدامات الأرض والغطاء النباتي، مما يساعد في تقييم الأثر البيئي بدقة أكبر.

٤-تطبيق التحليل المكاني متعدد المعايير (MCDA) ضمن بيئة GIS لدمج العوامل الجيومورفولوجية والمناخية والبيئية في تحديد المواقع المثلى للسدود الافتراضية.

٥- تحليل الجدوى الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للمواقع المقترحة للسدود باستخدام تقنيات التحليل المكاني المتكامل (Integrated Spatial Analysis)، لتقدير المنافع والمخاطر المحتملة قبل التنفيذ الميداني.

٦-إجراء دراسات ميدانية تفصيلية بعد إنشاء السدود التجريبية الصغيرة (Pilot Dams) لمقارنة نتائج النمذجة النظرية مع الأداء الواقعي للسدود ومراقبة سلوك الجريان الفعلي.

المصادر:

Alavi, M. (2004). Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and Its Foreland Evolution. American Journal of Science, 304(1), 1–20. https://doi.org/10.2475/ajs.304.1.1

Karim, K. H. (2023). Geology of Iraq: Basic Principles Description of Stratigraphy, Tectonics and Boundary Conditions of Some Rock Units in Iraq and Kurdistan during Cretaceous and Tertiary. https://www.researchgate.net/publication/375411292_Geology_of_Iraqi_Kurdistan_Updated_1-11-2023

Ahmad, K. H. (2015). Facies Changes Between Kolosh and Sinjar Formations Along Zagros Fold-Thrust Belt in Iraqi Kurdistan Region. Journal of Geography and Geology, 8(1), 1–12.

هادي، أزهار سلمان ، النمذجة المكانية للمخاطر الجيومورفولوجية في حوض باريا‌ولة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مجلة ديالى للبحوث الإنسانية، ٢٠١٧، DOI: 10.57592/djhr.v1i74.697

Minatour Yasser, et al , (2013), Earth Dam Site Selection Using the Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study in the West of Iran, Arabian Journal of Geosciences, DOI: 10.1007/s12517-012-0602-x

Karakuş .C.B. , (2022), GIS-Multi Criteria Decision Analysis-Based Land Suitability Assessment for Dam Site Selection, International Journal of Environmental Science and Technology, Volume 19, pages 12561–12580, (2022) , https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-04323-4

Nagi Zomrawi & Khalid Alkhuzai , (2022), DIGITAL ELEVATION MODEL ANALYSIS FOR DAM SITE SELECTION USING GIS, World Journal of Engineering Research and Technology , wjert, 2022, Vol. 8, Issue 2, 73-85. DOI:10.33774/coe-2022-gmnb9-v2