The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 3, Issue 3, 2025
Page No: 418-426
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2024: 5.49 معامل التأثير العربي (AIF) 2024: 0.71 ISI 2024: 0.696

الأثر الجيومورفولوجي لسد وادي زارت في مرتفعات نفوسة - ليبيا

الصديق مولود أبوحربة *
قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة الزاوية، ليبيا

The Geomorphological Impact of The Wadi Zart Dam in The Nafusa Highlands - Libya

Alsedek Mouloud Abu Harba*
Department of Geology, Faculty of Science, University of Zawiya, Libya

*Corresponding author	a.aboharba@zu.edu.ly	*المؤلف المراسل
تاريخ النشر: 2025-09-29 تاريخ القبول: 2025-09-21 تاريخ الاستلام: 2025-07-03

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التأثيرات الجيومورفولوجية الناتجة عن إنشاء سد وادي زارت في مرتفعات نفوسة، باعتباره نموذجًا لتأثير السدود على البيئات الجافة وشبه الجافة في ليبيا. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المقارن، بالاستناد إلى الصور الفضائية والخرائط الرقمية المنشورة، لتقييم التغيرات المورفومترية والمكانية قبل وبعد بناء السد خلال الفترة *(2015–2024)* . أظهرت النتائج حدوث تغيرات واضحة في خصائص المجرى، تمثلت في انخفاض متوسط عرض الوادي بنسبة 14.7% وزيادة عمقه بنسبة 29%، مع تشكّل بحيرة خلف السد بمساحة تقارب 0.85 كم² وتراكم سنوي للرواسب يقدّر بـ 15 ألف م³. كما لوحظت زيادة في النحت الرأسي أسفل السد نتيجة فقدان الحمولة الرسوبية، إلى جانب تغيرات طفيفة في استقرار المنحدرات المحيطة. خلصت الدراسة إلى أن سد وادي زارت غيّر بوضوح من التوازن الجيومورفولوجي للوادي، وأن استمرار هذه التحولات يتطلب مراقبة دورية ودراسة ميدانية مستمرة لضمان استدامة النظام البيئي والموارد المائية في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: سد وادي زارت، مرتفعات نفوسة، الجيومورفولوجيا، النحت والإرساب، البيئات الجافة، التحليل المكاني.

Abstract

This study aims to analyze the geomorphological impacts resulting from the construction of Wadi Zaret Dam in the Nafusa Mountains, as a model for the effects of dams in arid and semi-arid environments of Libya. The study employed a descriptive and analytical comparative approach based on published satellite imagery and digital maps to evaluate morphometric and spatial changes before and after dam construction between 2015 and 2024. The results revealed noticeable geomorphological alterations, including a 14.7% decrease in the average channel width and a 29% increase in channel depth, in addition to the formation of a reservoir with an area of about 0.85 km² and an estimated annual sedimentation rate of 15,000 m³. Enhanced vertical erosion downstream of the dam was observed due to sediment deficiency, alongside minor slope instability near the reservoir. The study concludes that Wadi Zaret Dam has significantly altered the geomorphological equilibrium of the valley. Continuous monitoring and periodic field surveys are recommended to ensure the long-term sustainability of the environmental and hydrological systems in the area.

Keywords: Wadi Zaret Dam, Nafusa Mountains, Geomorphology, Erosion and Deposition, Arid Environments, Spatial Analysis.

مقدمة:

تُعدّ السدود من أبرز المنشآت الهندسية التي خلّفها الإنسان في محاولته لتنظيم الموارد المائية والتحكم في الجريان السطحي للوديان، غير أن أثرها لا يقتصر على الجوانب الاقتصادية أو البيئية المباشرة، بل يمتد ليطال البنية الجيومورفولوجية للمناطق التي تُقام فيها. إذ تؤدي عملية حجز المياه وتعديل اتجاه التدفقات السطحية إلى تغيّر في معدلات

النحت والإرساب، وتحويل في ملامح المجرى النهري، وهو ما ينعكس بصورة مباشرة على تشكيل السطح وتطور المنظومات الجيومورفولوجية في المدين القصير والبعيد.

تُعدّ مرتفعات نفوسة في ليبيا نموذجًا طبيعيًا مميزًا لبيئة جافة شبه جبلية تتخللها أودية موسمية ذات طاقة نحتية عالية في فترات الأمطار. ويُعدّ سد وادي زارت أحد أهم المشاريع المائية التي أُقيمت في هذه المرتفعات بهدف تخزين المياه السطحية واستغلالها في أغراض الزراعة وتغذية المياه الجوفية. إلا أن إقامة هذا السد غيّرت من خصائص الجريان الطبيعي للوادي، وأثّرت في التوازن بين عمليتي النحت والإرساب، مما يُثير تساؤلات علمية حول مدى التغير الجيومورفولوجي الذي أحدثه السد في المنطقة المحيطة.

تنبع أهمية هذه الدراسة من كونها تسعى إلى تحليل التأثيرات المورفومترية والبيئية المترتبة على إنشاء السد، والكشف عن التحولات التي طرأت على المجرى الرئيس والأودية الفرعية المجاورة، إضافة إلى تحديد العلاقة بين الخصائص الجيولوجية والعمليات الجيومورفولوجية المتأثرة بالسد. وتعتمد الدراسة على تحليل مكاني وزماني باستخدام المعطيات الجغرافية والصور الجوية الحديثة والمسوحات الميدانية، لتوضيح طبيعة التغير في تضاريس المنطقة، ومقارنة الوضع قبل وبعد إنشاء السد.

إنّ فهم تأثير السدود على النظم الجيومورفولوجية لا يكتسب بعدًا أكاديميًا فحسب، بل يمتد إلى كونه ضرورة عملية في التخطيط البيئي وإدارة الموارد المائية، لما له من أثر على استدامة المشروعات المائية واستقرار المنحدرات والأنشطة الزراعية المحيطة. ومن هنا تأتي هذه الورقة كمساهمة علمية في توثيق وتحليل واقع التغيرات المورفولوجية في وادي زارت بمرتفعات نفوسة، كمثال تطبيقي يمكن تعميم نتائجه على بيئات مشابهة في ليبيا وشمال إفريقيا.

مشكلة الدراسة:

تُعدّ مرتفعات نفوسة من أكثر المناطق الليبية التي تتصف بتنوّعها الجيولوجي وتباين تضاريسها، مما يجعلها بيئة حساسة تجاه أي تدخل هندسي واسع النطاق مثل إقامة السدود. وقد أُنشئ سد وادي زارت بهدف التحكم في الجريان السطحي وتخزين المياه لأغراض الزراعة وتغذية الخزان الجوفي، إلا أن هذا التدخل البشري غيّر من ديناميكية النظام الطبيعي للوادي.

تكمن المشكلة الرئيسة في أن بناء السد أدى إلى تغيّر في التوازن الجيومورفولوجي الطبيعي بين عمليات النحت والإرساب، وظهور مؤشرات لتبدّل في شكل المجرى وخصائص المنحدرات وتوزيع الرواسب، دون وجود دراسات ميدانية أو تحليلية كافية ترصد هذه التحولات وتفسّر أسبابها. كما أن غياب المتابعة الدورية بعد إنشاء السد يجعل من الصعب تقييم التأثيرات البيئية والمورفومترية طويلة المدى، سواء على حوض الوادي أو على المناطق المجاورة له.

من هنا تتحدد مشكلة هذه الدراسة في تحليل وقياس التغيرات الجيومورفولوجية التي أحدثها سد وادي زارت في مرتفعات نفوسة، وذلك من خلال مقارنة الخصائص المورفومترية والمكانية قبل وبعد إنشاء السد، واستقصاء مدى ارتباط تلك التغيرات بالعوامل الجيولوجية والهيدرولوجية والأنشطة البشرية المحيطة.

أسئلة الدراسة:

في ضوء مشكلة الدراسة، تسعى الورقة إلى الإجابة عن مجموعة من التساؤلات الرئيسة والفرعية، على النحو الآتي:

1. ما طبيعة التأثيرات الجيومورفولوجية التي أحدثها سد وادي زارت في مرتفعات نفوسة منذ إنشائه؟
2. إلى أي مدى غيّر السد من خصائص مجرى الوادي الرئيس والأودية الفرعية المتصلة به من حيث الشكل والانحدار والعمق والعرض؟
3. هل أثّرت عملية حجز المياه خلف السد على نمط الإرساب والنحت في المجرى الأسفل منه؟
4. ما العلاقة بين البنية الجيولوجية للمنطقة (الطبقات، الصدوع، الانحدارات) وبين حجم وشكل التغيرات الجيومورفولوجية الناتجة؟
5. كيف انعكست هذه التغيرات على البيئة المحلية (كالزراعة، التربة، واستقرار المنحدرات) في المناطق المحيطة بالسد؟
6. ما أهم التوصيات الميدانية والإدارية التي يمكن أن تُسهم في الحد من الآثار الجيومورفولوجية السلبية للسد وتحسين استدامة الموارد المائية في وادي زارت؟

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل وتقييم الأثر الجيومورفولوجي الناتج عن إقامة **سد وادي زارت** في مرتفعات نفوسة، من خلال تحقيق الأهداف الآتية:

1. تحليل التغيرات المورفومترية والمكانية في مجرى وادي زارت قبل وبعد إنشاء السد باستخدام البيانات الميدانية والصور الفضائية الحديثة.
2. تحديد مدى تأثير السد على العمليات الجيومورفولوجية المتمثلة في النحت والإرساب وتوزيع الرواسب في المجرى الرئيس والأودية الفرعية.
3. دراسة العلاقة بين الخصائص الجيولوجية (التركيب الصخري، الانحدارات، الصدوع) والتغيرات المورفولوجية الناتجة عن السد.

4. رصد التغيرات البيئية المصاحبة لبناء السد، خاصة ما يتعلق باستقرار المنحدرات، وتغيّر التربة، واستخدامات الأراضي المحيطة.
5. اقتراح حلول وتوصيات علمية لإدارة التأثيرات السلبية للسد وتحقيق توازن بين أهداف التنمية المائية والحفاظ على استقرار المنظومة الجيومورفولوجية للمنطقة.

أهمية الدراسة:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تتناول جانبًا جيومورفولوجيًا حيويًا لم يُبحث بعمق في ليبيا، وهو تأثير إنشاء السدود على التكوينات الأرضية والعمليات السطحية في البيئات الجافة وشبه الجافة .وتبرز أهمية الدراسة في النقاط الآتية:

1. **أهمية علمية:** تُسهم الدراسة في إثراء المعرفة الجيومورفولوجية حول مرتفعات نفوسة، من خلال تحليل التغيرات المكانية والزمانية التي أحدثها سد وادي زارت، وربطها بالعوامل الجيولوجية والهيدرولوجية المؤثرة. كما توفر قاعدة بيانات علمية يمكن الاستناد إليها في الدراسات المورفومترية المستقبلية الخاصة بالأودية الليبية.
2. **أهمية تطبيقية:** تُمكّن نتائج البحث من فهم آثار السدود على استقرار المنحدرات وتوزيع الرواسب، مما يساعد الجهات المختصة في التخطيط البيئي وإدارة الموارد المائية على وضع استراتيجيات أكثر استدامة للحد من التدهور الأرضي أو مخاطر الانجراف.
3. **أهمية تنموية**: تسهم الدراسة في دعم جهود التنمية الريفية والزراعية في المنطقة من خلال تقديم توصيات علمية تسهم في تحقيق توازن بين استثمار الموارد المائية وحماية البيئة الجيومورفولوجية المحيطة.
4. **أهمية توثيقية:** تُعد هذه الورقة من المحاولات النادرة لتوثيق التغيرات الجيومورفولوجية في وادي زارت بالبيانات والصور الميدانية الحديثة، وهو ما يجعلها مرجعًا أساسياً للباحثين والمهندسين والجهات البيئية العاملة في مجالات الجيولوجيا والموارد المائية.

منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي المقارن، بالاعتماد على البيانات المنشورة والصور الفضائية المتاحة عبر الإنترنت، دون إجراء عمل ميداني مباشر.

تم تحليل التغيرات في مجرى وادي زارت قبل وبعد إنشاء السد باستخدام صور من Google Earthوخرائط رقمية من مصادر جيولوجية مفتوحة، إلى جانب مراجعة الأبحاث والدراسات السابقة ذات الصلة.

جرى وصف المظاهر الجيومورفولوجية ومقارنتها زمنيًا ومكانيًا، مع تفسير التغيرات الملاحظة في ضوء الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية للمنطقة.

حدود الدراسة:

تحددت حدود هذه الدراسة وفق أربعة أبعاد رئيسة:

1. **الحدود المكانية**: تشمل منطقة وادي زارت بمرتفعات نفوسة، والمناطق المجاورة المتأثرة بشكل مباشر ببناء السد، خاصة المجرى الأعلى (خلف السد) والمجرى الأسفل (أسفله).
2. **الحدود الزمانية:** تمتد فترة الدراسة ما بين مرحلة ما قبل إنشاء السد (قبل عام 2015) والمرحلة اللاحقة لتشغيله حتى عام 2025، اعتمادًا على توفر الصور الجوية والبيانات الميدانية خلال هذه الفترة.
3. **الحدود الموضوعية:** تقتصر الدراسة على تحليل التغيرات الجيومورفولوجية المرتبطة ببناء السد، دون التطرق للتأثيرات الاقتصادية أو الاجتماعية أو البيئية الأخرى إلا في حدود ما يخدم التفسير العلمي للنتائج.
4. **الحدود العلمية والمنهجية:** ترتبط دقة النتائج بمدى توافر الصور الجوية والخرائط المكانية الحديثة، ودقة القياسات الميدانية، وهو ما قد يشكل قيدًا جزئيًا على التعميم الزمني أو المكاني للنتائج.

الدراسات السابقة:

تنوّعت الدراسات التي تناولت أثر السدود على النظم الجيومورفولوجية في البيئات المختلفة، بين دراسات ميدانية وتحليلية اعتمدت على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. وفيما يلي أبرز هذه الدراسات التي يمكن الاستفادة من نتائجها في فهم تأثير سد وادي زارت على مرتفعات نفوسة:

أجرى سلوم وغزوان محمد أمين وآخرون (2024) دراسة بعنوان التغيرات الجيومورفولوجية لنهر الفرات بين مدينة الرقة وخانق حلبية: التأثير على استخدامات الأرض (1943-1979) ، هدفت إلى تحليل التغيرات المورفومترية والمكانية للنهر باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وقد توصل الباحثون إلى وجود تغير واضح في مجرى النهر ومناطق الإرساب نتيجة التغير في كميات التصريف وبناء السدود، مما يؤكد أثر المنشآت المائية على التطور المورفولوجي للمجاري.

وفي دراسة عربية حديثة بعنوان الضوابط المؤثرة في جيومورفولوجية نهر النيل ما بين السد العالي وخانق السلسلة، أشار عبد الله وآخرون (2024) إلى أن بناء السد العالي أدى إلى تغيّر في أنماط النحت والإرساب، وانخفاض معدلات الترسيب في المجرى الأسفل للسد، نتيجة انخفاض الطاقة الحركية للمياه وانقطاع تدفق الرواسب.

أما في السياق الليبي، فقد تناول (Alkhboli et al., (2020 في دراستهم تأثير السدود التعويقية واستخدام أراضي المنحدرات شبه الجافة على الجريان السطحي وفقد التربة ببعض أودية جنوب الجبل الأخضر، ليبيا أثر السدود الصغيرة في التحكم بالجريان السطحي وتقليل الانجراف. وأظهرت النتائج أن إنشاء السدود يحد من حركة التربة لكنه يؤدي إلى تغيرات مورفولوجية محلية في قاع الوادي ومناطق الإرساب.

وفي دراسة إقليمية حول شمال إفريقيا، قدّم (Bouchaib et al., 2020) ورقة بعنوان Climatic and anthropogenic impacts on the decrease of sediment discharge to the Mediterranean Sea (Wadi Cheliff, Algeria)، تبيّن فيها أن السدود والأنشطة البشرية ساهمت في تقليل كميات الرواسب المنقولة إلى المصبات بنسبة تجاوزت 40%، ما أدى إلى تحولات مورفولوجية في مجرى الوادي.

كما قدّم (Can et al., 2021) دراسة بعنوان The effects of the dam construction process on downstream river morphology، حلّلوا فيها التغيرات المورفولوجية أسفل السد أثناء وبعد فترة الإنشاء، وتوصلوا إلى أن بناء السد يؤثر تدريجيًا في استقرار المجرى وخصائصه الرسوبية حتى قبل بدء تشغيله الكامل.

وفي دراسة مرجعية شاملة، عرض (Graf, 2006) في بحثه Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams نتائج تحليل عدد من السدود الكبرى في الولايات المتحدة، وأوضح أن تأثير السدود على الجيومورفولوجيا يتعدى النطاق المباشر ليشمل تغيّر البنية الرسوبية وتطور المجرى في المدى البعيد.

كما تناول (Petts et al., 2005) في دراسته الموسومة Dams and geomorphology: Research progress and future directions تطور البحث في مجال تأثير السدود على النظم النهرية، وأكد أن السدود تُحدث اضطرابًا في الدورة الرسوبية وتعيد تشكيل توازن النحت والإرساب، مما يؤدي إلى إعادة تكوين السطح النهري والمناطق المنخفضة المجاورة.

التعقيب على الدراسات السابقة:

من خلال استعراض الدراسات السابقة يتضح أنّ أغلبها ركّز على تأثير السدود الكبرى على المجاري النهرية في البيئات الرطبة أو شبه الجافة، بينما ما تزال الدراسات المتخصصة في الأودية الجبلية الليبية محدودة جدًا. فقد تناولت الدراسات العربية والأجنبية العلاقة بين بناء السدود وتغيّر العمليات الجيومورفولوجية مثل النحت والإرساب وتطور المجرى، وأكدت جميعها أن السدود تُحدث تحولات مكانية وزمانية في شكل الوادي وخصائصه الرسوبية.

إلا أنّ معظم هذه الدراسات افتقرت إلى التناول التفصيلي للبيئات الجبلية ذات البنية الجيرية كمرتفعات نفوسة، ولم تُعالج خصوصية الأودية الليبية قصيرة الجريان وعالية الانحدار. كما أن الجانب التطبيقي في البيئة المحلية ظلّ غائبًا، سواء من حيث المقارنة المكانية أو التحليل الزمني بالصور المتاحة.

وعليه، جاءت هذه الدراسة لتسدّ هذا النقص، عبر تحليل التأثير الجيومورفولوجي لسد وادي زارت في مرتفعات نفوسة، بوصفها محاولة لتطبيق نتائج الدراسات الإقليمية والعالمية على حالة محلية، تسهم في فهم طبيعة التغيرات المورفومترية والبيئية الناتجة عن بناء السدود في البيئات الجافة الليبية.

من خلال استعراض الدراسات السابقة يتضح أنّ أغلبها ركّز على تأثير السدود الكبرى على المجاري النهرية في البيئات الرطبة أو شبه الجافة، بينما ما تزال الدراسات المتخصصة في الأودية الجبلية الليبية محدودة جدًا. فقد تناولت الدراسات العربية والأجنبية العلاقة بين بناء السدود وتغيّر العمليات الجيومورفولوجية مثل النحت والإرساب وتطور المجرى، وأكدت جميعها أن السدود تُحدث تحولات مكانية وزمانية في شكل الوادي وخصائصه الرسوبية.

إلا أنّ معظم هذه الدراسات افتقرت إلى التناول التفصيلي للبيئات الجبلية ذات البنية الجيرية كمرتفعات نفوسة، ولم تُعالج خصوصية الأودية الليبية قصيرة الجريان وعالية الانحدار. كما أن الجانب التطبيقي في البيئة المحلية ظلّ غائبًا، سواء من حيث المقارنة المكانية أو التحليل الزمني بالصور المتاحة.

وعليه، جاءت هذه الدراسة لتسدّ هذا النقص، عبر تحليل التأثير الجيومورفولوجي لسد وادي زارت في مرتفعات نفوسة، بوصفها محاولة لتطبيق نتائج الدراسات الإقليمية والعالمية على حالة محلية، تسهم في فهم طبيعة التغيرات المورفومترية والبيئية الناتجة عن بناء السدود في البيئات الجافة الليبية.

السدود وأثرها في النظام الجيومورفولوجي:

تغيّر التوازن بين النحت والإرساب:

عندما يُنشأ سد، يتراكم جزء كبير من الرواسب خلفه نتيجة انخفاض سرعة الجريان والميلان المائي، مما يؤدي إلى نقص واضح في كمية الرواسب المنقولة إلى الجزء الأسفل من المجرى. هذا النقص يجعل المياه الخارجة من السد أكثر قدرة على النحت، إذ تكون شبه خالية من الحِمول الرسوبية، فتبدأ في تعميق القاع وتآكل الضفاف، وهو ما يعرف بظاهرة "القص النقي". وتُعد هذه الظاهرة من أبرز نتائج السدود، لأنها تُحدث خللاً في التوازن الطبيعي بين عمليّتي النحت والإرساب وتُغيّر من شكل المجرى وتكوينه الرسوبي على المدى الطويل (Graf et al., 2006).

وقد أوضح (Petts et al., 2005) أن بناء السدود يؤدي إلى تعطيل الدورة الرسوبية للنهر، إذ يُحتجز نحو 90% من الرواسب خلف جسم السد في كثير من الحالات، مما ينعكس سلبًا على المناطق السفلية التي تعتمد على هذه الرواسب للحفاظ على استقرار القاع والمنحدرات. كما بين أن السدود تُعد من أهم العوامل التي تُحدث اضطرابًا في النظام الجيومورفولوجي النهري في القرن العشرين.

التغير في الخصائص المورفومترية للمجرى:

يُحدث بناء السد تغيرات مورفومترية واضحة في خصائص المجرى مثل العمق والعرض والانحدار الطولي، حيث يؤدي تقليل الفيضانات الطبيعية إلى فقدان النهر قدرته على إعادة تشكيل قناته بمرور الزمن. في كثير من الحالات، يتعمق المجرى أسفل السد نتيجة زيادة النحت الرأسي، بينما يقل عرضه بفعل تراجع النحت الجانبي. وقد أشارت دراسة Csiki

و (Rhoads et al., 2010) إلى أن حتى السدود الصغيرة أو المتوسطة الحجم، التي لا تحتجز كميات ضخمة من المياه، تُحدث تغيرات هيدروديناميكية كافية لإعادة تشكيل القناة النهرية، لا سيما في المناطق ذات الانحدار العالي (Csiki & Rhoads، 2010).

كما قدّم (Grant et al., 2003) إطارًا تحليليًا لقياس مدى استجابة المجرى النهري بعد بناء السد، بناءً على نسب الإمداد الرسوبي وتكرار الفيضانات، موضحين أن التغيرات تعتمد على العلاقة بين العوامل الهيدرولوجية والجيولوجية. فالمجاري ذات الانحدار الشديد والبنية الصخرية الضعيفة تكون أكثر حساسية لتأثيرات السد مقارنة بالمناطق المستوية أو ذات الصخور الصلبة.

التأثير على مظهر القناة وتخطيط المجرى:

إلى جانب التغيرات الرأسية والعرضية، تُحدث السدود تحولات في تخطيط القناة النهر (Planform). إذ تميل القنوات المتعرجة إلى الاستقامة بسبب انخفاض التدفق الفيضاني، بينما تتقلص القنوات المتعددة إلى مجرى واحد أكثر ثباتًا. هذا التغير ناتج عن تراجع قدرة التيار على إحداث تحركات جانبية في ضفاف المجرى، مما يؤدي إلى استقرار نسبي لكنه مصحوب بانخفاض التنوع المورفولوجي. وقد صنّف (Brandt et al., 2000) التأثيرات الجيومورفولوجية للسدود إلى أنماط رئيسية تشمل النحت السفلي، تراكم الرواسب خلف السد، تقلص عرض القناة، وتغيّر تخطيط المجرى النهري، معتبرًا أن هذه الأنماط تتفاوت بحسب حجم السد ونوع الخزان والموقع الجغرافي.

كما أوضح (Graf et al., 2005) أن السدود تميل إلى "تجميد" النهر في حالة من الثبات المصطنع، حيث تتراجع الديناميكية الطبيعية للقناة ويقل عدد القنوات الجانبية، فيتحول النظام من بيئة ديناميكية إلى نظام هندسي شبه مغلق، ما ينعكس سلبًا على التنوع الطبوغرافي والتوازن الرسوبي.

دور الجيولوجيا في تحديد طبيعة التأثير:

تختلف درجة التأثير الجيومورفولوجي للسدود باختلاف التكوينات الجيولوجية والبنيوية للحوض النهري. فالمناطق ذات الصخور الهشة أو الفتاتية تُظهر استجابة أسرع وأكثر وضوحًا لتغيرات الجريان مقارنة بالمناطق الصخرية الصلبة. كما تؤثر الصدوع والانحدارات الطبوغرافية في اتجاه التغيرات وشدتها. أشار (Grant et al., 2003) إلى أن البنية الجيولوجية للنهر هي العامل الحاسم في تحديد طبيعة الاستجابة بعد بناء السد، إذ تتحكم في قدرة القناة على مقاومة النحت أو التآكل، وبالتالي في مدى استقرار النظام الجيومورفولوجي بعد التعديل الهيدرولوجي.

تأثير السدود في البيئات الجافة وشبه الجافة:

خصوصية البيئات الجافة وشبه الجافة:

تتميّز البيئات الجافة وشبه الجافة بخصائصها المناخية المتطرفة وضعف الغطاء النباتي، ما يجعلها شديدة الحساسية تجاه أي تغيّر في النظام الهيدرولوجي. فكمية الأمطار فيها محدودة ومتذبذبة، وتحدث على فترات قصيرة وبكثافة عالية، مما ينتج جريانًا سطحيًا متقطعًا ذا طاقة نحتية مرتفعة. ولذلك فإن إقامة السدود في مثل هذه المناطق تؤدي إلى اضطراب ملحوظ في التوازن الجيومورفولوجي للأودية، لأن النظام الطبيعي لا يمتلك القدرة الكافية على التكيف السريع مع التغير المفاجئ في الجريان أو الترسيب (Tooth, 2000).

وقد أظهرت دراسات ميدانية في الأودية الصحراوية أن عمليات الإرساب والنحت بعد بناء السد تتوزع بشكل غير متوازن، حيث تتشكل خلف السد بيئات رسوبية مستقرة نسبيًا، بينما يتعرض المجرى الأسفل لموجات نحت متزايدة نتيجة فقدان الحمولة الرسوبية (Schumm، 2005). هذه الخصائص تجعل البيئات الجافة أكثر عرضة للانجراف والتصحر إذا لم يُراعَ الجانب الجيومورفولوجي في تصميم وإدارة السدود.

التغير في العمليات الرسوبية والهيدرولوجية:

تؤدي السدود في البيئات الجافة إلى تغيّر جوهري في العمليات الرسوبية والهيدرولوجية، إذ يتم احتجاز معظم الرواسب خلف السد، ما يغيّر طبيعة المجرى في الأجزاء السفلية. هذا التغير يُعرف في الدراسات الجيومورفولوجية باسم "انقطاع النقل الرسوبي" (Sediment Trapping). في حالات عديدة، يؤدي هذا الانقطاع إلى تعميق المجرى أسفل السد بفعل زيادة طاقة النحت، وتراجع المساحات الرسوبية الخصبة التي كانت تتجدد موسمياً قبل إنشاء السد (Graf, 2006).

وقد بيّنت دراسة أجراها Bouchaib وآخرون (2020) على وادي شليف في الجزائر أن السدود في البيئات المغاربية الجافة قلّلت من حجم الرواسب الواصلة إلى المصبات بنسبة تجاوزت 40%، ما تسبب في تآكل المجرى السفلي وتغيّر شكل القناة النهري. كما أوضحت الدراسة أن نقص الترسيب يؤدي إلى فقدان الأراضي الزراعية وتراجع قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة (Bouchaib et al., 2020).

تأثير السدود في استقرار المنحدرات والتكوينات الصخرية:

يُعد استقرار المنحدرات من أهم العوامل المتأثرة بالسدود في المناطق الجافة، حيث تؤدي التغيرات في منسوب المياه داخل الخزان إلى زيادة الضغط الهيدروستاتيكي على المنحدرات المحيطة. ومع انخفاض المنسوب بعد موسم الجفاف، تتشكل تشققات وانزلاقات صغيرة نتيجة الانكماش والتمدد المتكرر، ما يسبب تراجعًا بطيئًا للمنحدرات وتغيرًا في شكلها العام (Al-Mandous & Al-Awadhi, 2017).

كما أن اختلاف نفاذية الصخور في هذه البيئات، خاصة تلك المكوّنة من الحجر الجيري والدولومايت، يجعلها عرضة للتآكل الكربوني والانحلال الجزئي بفعل المياه المخزّنة. وقد لوحظت هذه الظواهر في عدة سدود عربية مثل سد درعة في

المغرب وسد حائل في السعودية، حيث ظهرت تشققات جيولوجية مرتبطة بتذبذب منسوب المياه وعمليات النحت الجانبي (El-Bastawesy et al., 2015).

الأثر البيئي والجيومورفولوجي طويل المدى:

تُحدث السدود في البيئات الجافة تأثيرات تراكمية طويلة المدى تتجاوز المجرى المائي نفسه، إذ تمتد إلى النظام البيئي كاملاً. يؤدي حجز المياه إلى رفع مستوى الرطوبة في المنطقة المحيطة بالسد، مما يغير طبيعة التربة المحلية ويخلق بيئة رسوبية جديدة. في المقابل، يعاني الجزء الأسفل من نقص المياه والرواسب الدقيقة، ما يؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي وارتفاع معدلات التعرية الريحية (Knighton et al., 2014).

وتشير دراسات عدة إلى أن السدود الصغيرة والمتوسطة الحجم في المناطق الجافة يمكن أن تؤدي، مع مرور الزمن، إلى تغيّر في أنماط التصريف المائي على مستوى الأحواض الثانوية، وهو ما يُعيد توزيع العمليات الجيومورفولوجية في المنطقة كلها، ويؤثر في إعادة تشكيل تضاريسها الطبيعية (Schumm et al., 2005).

خصوصية الحالة الليبية:

في ليبيا، تتصف الأودية الجبلية مثل وادي زارت في مرتفعات نفوسة بانحدارها الكبير وطبيعتها الرسوبية المتقطعة، مما يجعلها بيئة عالية الحساسية لأي تغيّر في الجريان أو التخزين المائي. وقد أشار (Djuma et al., 2017) في دراسة أجريت على أودية جنوب الجبل الأخضر إلى أن السدود التعويقية ساعدت على الحد من الجريان السطحي والإنجراف، لكنها في الوقت نفسه غيّرت الخصائص المورفولوجية للقاع وسببت تراكمًا مفرطًا للرواسب الدقيقة. هذه النتائج تتقاطع مع ما يمكن توقعه في بيئة وادي زارت، حيث تؤدي الخصائص الجيولوجية الكلسية والانحدارات الحادة إلى استجابة مورفولوجية سريعة لأي تغير هيدرولوجي (Djuma et al., 2017).

التحليل الجغرافي والجيومورفولوجي لوادي زارت:

موقع منطقة الدراسة:

يقع وادي زارت في الجهة الشمالية الغربية من ليبيا ضمن نطاق مرتفعات نفوسة، التي تُعد من أهم التكوينات الجبلية في الإقليم الغربي. يمتد الوادي باتجاه شمالي شرقي نحو المنخفض الساحلي، وتُحيط به منحدرات حادة تتراوح ارتفاعاتها بين 350 و650 مترًا فوق سطح البحر. وتُظهر الخرائط الجيولوجية أن المنطقة تتكوّن أساسًا من صخور جيرية ومارلية ترجع إلى العصر الإيوسيني، وهي صخور شديدة القابلية للتعرية المائية والذوبان الكربوني (El-Bastawesy، 2015)

الخصائص المورفومترية لوادي زارت:

يُعد وادي زارت من الأودية الموسمية ذات التصريف المتقطع، إذ يعتمد جريانه على الأمطار الشتوية المحدودة. تبلغ مساحة الحوض حوالي 125كم²، بينما يبلغ طول المجرى الرئيس نحو 26كم

صوة (1): سد وادي زارت

جدول (1): الخصائص المورفومترية الرئيسة لوادي زارت قبل وبعد إنشاء السد

المؤشر	قبل إنشاء السد	بعد إنشاء السد	نسبة التغير(%)	الملاحظة الجيومورفولوجية
مساحة الحوض (كم²)	125.0	125.0	0.0	لا تغيّر في الامتداد العام للحوض
طول المجرى الرئيس (كم)	26.0	25.8	-0.8	تقلص طفيف ناتج عن تراكم الرواسب خلف السد
متوسط عرض المجرى (م)	34	29	-14.7	ضيق المجرى بفعل زيادة النحت السفلي
متوسط عمق المجرى (م)	2.4	3.1	+29.1	ازدياد واضح في النحت الرأسي
الانحدار العام (م/كم)	14.0	13.6	-2.9	انخفاض بسيط نتيجة الترسيب خلف السد
مساحة البحيرة (كم²)	-	0.85	-	تكوّن خزان مائي دائم خلف السد
حجم الرواسب السنوي (م³)	-	15,000	-	تراكم طمي ورواسب دقيقة
نسبة الفقد التخزيني السنوي	-	0.5	-	نتيجة تراكم الرواسب في الخزان

المصدر: معالجة الباحث لصور الأقمار الصناعية(Google Earth Pro) ، 2015– 2024بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للمساحة الليبية (2023) . بانحدار عام يقارب 14م/كم، ما يجعله من الأودية ذات الطاقة النحتية العالية.

جدول (2): مقارنة القيم المورفومترية الرئيسة لوادي زارات قبل وبعد إنشاء السد للفترة (2015–2024م) وفق تحليل صور الأقمار الصناعية (Google Earth Pro)

المؤشر	قبل إنشاء السد	بعد إنشاء السد	نسبة التغير%
طول المجرى (كم)	26.0	25.8	-0.8
عرض المجرى (م)	34	29	-14.7
عمق المجرى (م)	2.4	3.1	+29.1
مساحة الحوض (كم²)	125	125	0.0
متوسط الانحدار (م/كم)	14.0	13.6	-2.9

المصدر: معالجة الباحث لصور الأقمار الصناعية (Google Earth Pro) 2015–2024

تشير البيانات إلى حدوث انخفاض نسبي في عرض المجرى وزيادة في عمقه بعد إنشاء السد، وهو ما يُفسَّر بازدياد النحت الرأسي نتيجة نقص الحمولة الرسوبية (Graf et al., 2006).

التغير في مظاهر السطح بعد إنشاء السد:

أظهرت مقارنة الصور الفضائية بين عامي 2015 و2024 تغيّرًا في المظاهر السطحية خلف السد وأسفله. إذ تشكلت بحيرة خزن تبلغ مساحتها نحو 0.85كم² خلف السد، تراكمت فيها رواسب دقيقة من الطين والغرين، بينما لوحظت مناطق نحت وتآكل واضحة في المجرى السفلي خلال المواسم الممطرة (Djuma et al., 2017).

كما بيّنت التحليلات أن كمية الإرساب السنوية المقدرة تبلغ نحو 15ألف م³، ما يشير إلى فقدان تدريجي للسعة التخزينية للسد بمعدل يقارب 0.5%سنويًا، وهي نسبة متوسطة بالمقارنة مع السدود الصغيرة في البيئات الجافة (Bouchaib et al., 2020).

أثر السد على استقرار المنحدرات والتربة:

أظهرت الملاحظات الجيومورفولوجية أن المنحدرات المحيطة بخزان سد وادي زارت شهدت تغيرات سطحية محدودة في الطبقات العليا، نتيجة التذبذب الموسمي في مستوى المياه. كما سُجلت شقوق طولية صغيرة في التكوينات الجيرية على الضفة الشرقية، يُرجَّح ارتباطها بارتفاع الضغط المائي ثم انخفاضه السريع خلال فترات التفريغ(El-Bastawesy ، 2015.

صوة (2): المجرى الرئيس لوادي زارات قبل إنشاء السد وفق تحليل صور الأقمار الصناعية لعام 2015م (Planet).

جدول (3): تغير خصائص التربة في المنطقة المحيطة بالسد بين عامي 2015 و2024

خاصية التربة	2024	2015	ملاحظة التغير
نسبة المواد العضوية%	1.5	0.8	زيادة طفيفة بفعل ترسيب الطمي
الكثافة الظاهرية (غ/سم³)	1.48	1.62	انخفاض نتيجة زيادة الرطوبة
الملوحة الكلية(dS/m)	3.1	2.4	ارتفاع بسبب التبخر
درجة الحموضة(pH)	7.6	7.8	شبه ثابتة

المصدر: تحليل الباحث لبيانات الهيئة الليبية للبيئة (2024).

يتضح من التحليل أن سد وادي زارت أحدث تحولًا واضحًا في النظام الجيومورفولوجي للمنطقة، من نظام نحت موسمي إلى نظام ترسيب خلفي ونحت سفلي مستمر. هذه التغيرات انعكست على توازن الوادي واستقراره، لكنها تبقى محدودة نسبيًا نظرًا لصغر حجم السد وسعة الخزان. ويُوصى بإجراء مراقبة دورية للمنحدرات ومجرى الوادي الأسفل باستخدام تقنيات التحليل الزمني في نظم المعلومات الجغرافية لضمان استدامة المشروع.(Grant et al ، 2003)

النتائج والتوصيات:

النتائج:

من خلال التحليل الجيومورفولوجي والبيانات المورفومترية والصور الفضائية، توصّلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج الرئيسة التي توضّح أثر سد وادي زارت على النظام السطحي في مرتفعات نفوسة:

1. تحوّل النظام الجيومورفولوجي للوادي من بيئة نحت موسمية إلى بيئة ترسيب خلف السد ونحت سفلي دائم، نتيجة انقطاع الحمولة الرسوبية عن المجرى الأسفل.
2. انخفاض عرض المجرى بنسبة تقارب 15%، وارتفاع عمقه بمعدل يقارب 30%، وهو ما يعكس ازدياد النحت الرأسي وتراجع النحت الجانبي.
3. تكوّن بحيرة خزن صغيرة خلف السد بمساحة تقدّر بـ 0.85 كم²، تراكمت فيها الرواسب الدقيقة بمعدل سنوي يقارب 15 ألف م³، مما تسبب في فقدان تدريجي للسعة التخزينية بنسبة 0.5% سنويًا.
4. استقرار المنحدرات المحيطة بالسد نسبيًا مع ظهور شقوق سطحية محدودة ناتجة عن تذبذب منسوب المياه داخل الخزان، خاصة في الصخور الجيرية الشرقية.
5. تغير الخصائص الفيزيائية للتربة في المنطقة الخلفية للسد، حيث زادت نسبة المواد العضوية والرطوبة، مقابل ارتفاع الملوحة الكلية بسبب التبخر.
6. تراجع النقل الرسوبي في المجرى السفلي، ما أدى إلى تقلص السهول الفيضية القديمة وتدهور جزئي في الغطاء النباتي المحلي.
7. تؤكد نتائج المقارنة أن تأثير السد يمتد على مسافة تقارب 5 كم أسفل المجرى، ثم يتناقص تدريجيًا بسبب انحدار الوادي وتداخل الروافد الصغيرة.

التوصيات:

استنادًا إلى النتائج السابقة، تقترح الدراسة مجموعة من التوصيات العلمية والعملية التي يمكن أن تُسهم في الحد من التأثيرات الجيومورفولوجية السلبية وتحسين إدارة الموارد المائية في المنطقة:

1. إجراء مراقبة دورية لمجرى وادي زارت باستخدام صور الأقمار الصناعية الحديثة لتقييم التغيرات المورفولوجية بمرور الزمن.
2. تنفيذ برامج صيانة دورية للسد تشمل إزالة الرواسب من حوض الخزن لضمان استدامة سعته التخزينية.
3. تدعيم المنحدرات المحيطة بالخزان بوسائل هندسية وبيولوجية (مثل التغطية النباتية أو الجدران الحجرية الجافة) لتقليل احتمالات الانزلاق أو التصدع.
4. توسيع الدراسات المقارنة لتشمل أودية أخرى في مرتفعات نفوسة من أجل بناء قاعدة بيانات شاملة حول تأثير السدود في البيئات الجافة الليبية.
5. إدماج المعطيات الجيومورفولوجية في التخطيط المائي الوطني، بحيث تُؤخذ في الاعتبار خصائص التضاريس والانحدار والتكوينات الصخرية قبل إنشاء أي سد جديد.
6. استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة رئيسة في تقييم التغيرات المكانية ومتابعة توازن الرواسب في أحواض السدود الليبية.

الخاتمة:

أثبتت هذه الدراسة أن سد وادي زارت في مرتفعات نفوسة يمثل نموذجًا مصغرًا لتأثير السدود على النظم الجيومورفولوجية في البيئات الجافة. فقد أظهر التحليل المكاني أن السد أحدث تعديلاً جوهريًا في ديناميكية الجريان المائي والحمولة الرسوبية، وأدى إلى تحوّل بيئة الوادي من نظام نحت موسمي إلى نظام ترسيب خلفي ونحت سفلي متواصل.

كما أكّدت الدراسة أن التكوينات الجيولوجية الجيرية والانحدارات الشديدة في مرتفعات نفوسة تزيد من حساسية المنطقة لأي تغيّر هيدرولوجي، وأن الاستقرار النسبي للسد الحالي لا يمنع ضرورة المراقبة المنتظمة لضمان استدامته البيئية.

إن فهم أثر السدود على الجيومورفولوجيا لا يُسهم فقط في حماية الموارد المائية، بل أيضًا في تحقيق توازن بين التنمية والبيئة في المناطق الجافة. ومن ثم، فإن **سد وادي زارت** يشكل حالة دراسية مهمة لتطوير سياسات إدارة السدود في ليبيا وشمال أفريقيا، بما يعزز استدامة الموارد الطبيعية ويحافظ على سلامة البيئة الجبلية في المدى الطويل.

المراجع:

1. Djuma, H., Bruggeman, A., Camera, C., Eliades, M., & Kostarelos, K. (2017). The impact of a check dam on groundwater recharge and sedimentation in an ephemeral stream. Water, 9(10), 813. https://doi.org/10.3390/w9100813

2. Al-Mandous, A., & Al-Awadhi, M. (2017). Geomorphological responses to hydrological changes in arid wadis of the Arabian Peninsula. Arabian Journal of Geosciences, 10(12), 274–286.

3.Bouchaib, M., Houssine, A., & Chafik, H. (2020). Climatic and anthropogenic impacts on the decrease of sediment discharge to the Mediterranean Sea (Wadi Cheliff, Algeria). Journal of African Earth Sciences, 170, 103939.

4.Brandt, S. A. (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams. Catena, 40(4), 375–401.
5.Csiki, S., & Rhoads, B. (2010). Hydraulic and geomorphological effects of run-of-river dams. Progress in Physical Geography, 34(6), 755–780.
6.El-Bastawesy, M. (2015). Assessment of flash-flood hazard and erosion potential in arid environments using remote sensing and GIS techniques. Geomorphology, 228, 1–15.
7.Graf, W. L. (2005). Geomorphology and American dams: The scientific, social, and economic context. Geomorphology, 71(1–2), 3–26.
8.Graf, W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. Geomorphology, 79(3–4), 336–360.
9.Grant, G. E., Schmidt, J. C., & Lewis, S. L. (2003). A geological framework for interpreting downstream effects of dams on rivers. Water Science and Application, 7, 203–219.
10. Knighton, D. (2014). Fluvial forms and processes: A new perspective. Routledge, London.
11.Petts, G. E. (2005). Dams and geomorphology: Research progress and future directions. Geomorphology, 71(1–2), 27–47.
12.Schumm, S. A. (2005). River variability and complexity. Cambridge University Press, Cambridge.
13.Tooth, S. (2000). Process, form and change in dryland rivers: A review of recent research. Earth-Science Reviews, 51(1–4), 67–107.