

## محاكاة مسارات فيضان وادي المجنين باستخدام برنامج HEC-RAS

عبد الرحمن أحمد الرياني<sup>1</sup>، أحمد ياسين الغريري<sup>2</sup>، أحمد إبراهيم خماج<sup>3</sup>، أحمد محمد الغراري<sup>4</sup>

### ARTICLE INFO

Vol. 7 No. 2 August, 2025

Pages (A1-9)

#### Article history:

Revised form 25 June 2025

Accepted 20 July 2025

#### Authors affiliation

1- Libyan Authority for Scientific  
Research, Technology Science  
Management.

2-University of Al-Qadisiyah- College  
of Arts, Geography department. Russian  
state geological prospecting university  
(MGRU). <https://orcid.org/0000-0001-9471-8424>

3- University of Tripoli, Faculty of  
Agriculture, Department of Soil and  
Water.

4- Libyan Center for Remote Sensing  
and Space Sciences (lcrss).  
[ab.alryani@uot.edu.ly](mailto:ab.alryani@uot.edu.ly)  
[ahmed.yasien@qu.edu.iq](mailto:ahmed.yasien@qu.edu.iq)  
[a.ekhmaj@uot.edu.ly](mailto:a.ekhmaj@uot.edu.ly)  
[a.ghrari@lcrss.ly](mailto:a.ghrari@lcrss.ly)

#### Keywords:

Wadi Al-Megenin, dam collapse,  
flood simulation, HEC-RAS.

### الملخص

تعد الفيضانات الناتجة عن انهيار السدود من أخطر الكوارث الطبيعية التي تهدد الأرواح والبنى التحتية، لا سيما في المناطق الحضرية الواقعة على مسارات ومصبات الأودية. تهدف هذه الدراسة إلى محاكاة للفيضان المتوقع لسيناريو انهيار سد وادي المجنين جنوب العاصمة الليبية طرابلس في حال افتراض امتلاء بحيرته التخزينية إلى 60 مليون متر مكعب، باستخدام برنامج HEC-RAS لتقدير مدى المخاطر الناجمة عنه. وقد أظهرت النتائج أن موجة الفيضان الناتجة عن انهيار السد، قد تصل إلى مناطق حيوية في العاصمة مثل مطار طرابلس الدولي وقصر بن غشير خلال أقل من 24 ساعة، مع ارتفاع مناسب الغمر إلى أكثر من 11 مترًا وسرعة جريان تتجاوز 2 م/ث. كما تبين أن مياه الفيضان ستستمر في التقدم شمالًا لتغمر أجزاء واسعة من المدينة، وصولًا إلى الساحل خلال ثلاثة أيام، متأثرة بانحدار الأرض والعوائق العمرانية. وقد بينت النتائج وفقًا لسيناريو المحاكاة المقترح أنها تتسبب في غرق نحو 25-30% من أحياء العاصمة. تقدم الدراسة بيانات محاكاة دقيقة تدعم جهود إدارة المخاطر وتساعد صُناع القرار في وضع خطط وقائية فعالة لتقليل الخسائر المحتملة.

### Simulation of Flood Paths of Wadi Al-Megenin Using HEC-RAS Software

Abdulrahman Ahmed Alriyani<sup>1</sup>, Ahmad S. Yasien Al-Gurairi<sup>2</sup>,  
Ahmed Ibrahim Ekhamaj<sup>3</sup>, Ahmed Mohamed Algharari<sup>4</sup>

Floods resulting from dam collapses are among the most dangerous natural disasters that threaten lives and infrastructure, especially in urban areas located along the paths and estuaries of valleys. This study aims to simulate the expected flooding in a scenario where the Wadi Al-Megenin Dam, south of the Libyan capital, Tripoli, collapses. This study assumes that its storage reservoir is filled to 60 million cubic meters. The study used the HEC-RAS program to estimate the extent of the resulting risks. The results showed that the flood wave resulting from the dam collapse could reach vital areas in the capital, such as Tripoli International Airport and Qasr Bin Ghashir, in less than 24 hours, with flood levels rising to more than 11 meters and a flow velocity exceeding 2 m/s. It also showed that floodwaters would continue to advance north, submerging large parts of the city, reaching the coast within three days, affected by the slope of the land and urban obstructions. The results, according to the proposed simulation scenario, indicated that approximately 25-30% of the capital's neighborhoods would be submerged. The study provides accurate simulation data that supports risk management efforts and helps decision-makers develop effective preventive plans to reduce potential losses.

© 2025

Content on this article is an open  
access licensed under creative  
commons CC BY-NC 4.0.



## المقدمة

تُعد فيضانات الأنهار والأودية من أخطر الكوارث الطبيعية التي واجهتها المجتمعات البشرية. نظراً لتكرار حدوثها السنوي في العديد من الأنهار وحتى في الوديان ذات الجريان الموسمي، قبل أن يتمكن الإنسان من التحكم بما عبر إنشاء السدود. تسبب الفيضانات في أضرار جسيمة تطل الأفراد والبني التحتية والممتلكات، كما إن لها تأثيرات مباشرة وغير مباشرة على الاقتصاديات المحلية والوطنية وعلى الاستقرار البيئي للمناطق المهددة بخطرها (Sousa, 1965; Ibrahim et al., 2017; Romali, Yusop & Ismail, 2018; Primo et al., 2021; Al-Gurairy & Al-Shammari, 2023; Mohamed et al., 2024; Al-Gurairy et al., 2023). تنشأ الفيضانات نتيجة لظواهر غزيرة خلال فترة زمنية قصيرة، مما يؤدي إلى تدفق مائي ضخم وسريع يفوق قدرة الأنظمة الهيدرولوجية على تصريف تلك الكميات، مسبباً في خروج المياه عن مجاريها الطبيعية وغمر المناطق السكنية والزراعية والصناعية، كما قد تحدث نتيجة خطأ أو إهمال بشري (Abdelkareem, 2017; Al-Gurairy, 2024).

ومع تفاقم ظاهرة التغير المناخي، أصبحت هذه الفيضانات أكثر تكراراً وشدّة، إذ تشير التقارير إلى أن نحو 45% من سكان العالم قد تأثروا بالفيضانات خلال العقود الأخيرة، مما أسفر عن مصرع آلاف الضحايا وخسائر مادية هائلة (CRED, 2022). ونتيجة لزيادة تواتر الظواهر الجوية المتطرفة، مثل العواصف المطرية والأعاصير، برزت الحاجة إلى تطوير استراتيجيات أكثر كفاءة لإدارة الموارد المائية والتخطيط الحضري، بهدف التخفيف من مخاطر الفيضانات المفاجئة والحد من آثارها المدمرة (Wingfield et al, 2019). تؤدي بعض العوامل الجيومورفولوجية والجيوولوجية والهيدرولوجية مجتمعة دوراً رئيساً في تفاقم الفيضانات، حيث يؤثر انحدر التضاريس، ومستوى تشبع التربة، وكثافة الغطاء النباتي على معدل الجريان السطحي وكمية المياه المتدفقة (Saaty, 2013). وفي مواجهة هذه التحديات، لجأت العديد من الدول إلى بناء السدود الخرسانية والتراصة كإجراء وقائي لحماية المدن والقرى من الفيضانات، إضافة إلى دورها المحوري في تخزين المياه لأغراض الري والاستهلاك البشري والصناعي. على الرغم من أهمية إنشاء السدود على مجاري الأنهار والأودية إلا أنها قد تسبب الضرر الكبير على النظام البيئي - الحيوي وتوازنها الذي كان قائماً قبل إنشائها عموماً، فهي قد تسبب في إحداث خطراً كبيراً على المجتمعات البشرية، لأسباب تتعلق باحتمالية انهيارها وفشلها لأسباب مختلفة (طبيعية أو بشرية)، مما يؤدي إلى عواقب كارثية للمدن والمنشآت الاقتصادية الواقعة على ضفاف مجاري الأنهار أو الأودية، بالخصوص تلك الواقعة منها عند مصباتها. فعلى سبيل المثال تسبب انهيار سد ماريانا بالبرازيل في إحداث تسونامي طيني - مائي نتيجة تفريغ 55 - 62 مليون م<sup>3</sup> من المياه والمخلفات التعدينية، حيث أصاب هذا التسونامي منطقة بيتو رودريغز بأضرار فادحة، كما تسبب بتحميل ثمر دوسي وعلى طول مجراه لمسافة 663.2 كم، ومن ثمّ عند مصبه في الاطلسي بمخلفات سامة كان لها تأثيرات خطيرة جداً على نحو أكثر من مليون إنسان (Fernandes et al., 2016; Al-Gurairy et al., 2024). عموماً، تتباين عمليات اختيار السدود لأسباب مختلفة (طبيعية أو بشرية) متمثلة في (الفشل في تصميم الإنشاءات، إهمال الصيانة، الاختيارات والإنزلاقات الأرضية، الظروف الجوية القاسية مثل العواصف، التخريب المتعمد، وكذلك الزلازل وهو السبب الأكثر خطورة واحتمالاً) (Costa & Schuster, 1988; Foster, Fell & Spannagle, 2000; Dincergok, 2007; Yi, X., 2011; Zhong, Chen, Deng & Mei, 2019; Eldeeb et al., 2023; Al-Gurairy et al., 2024). تشير الإحصاءات الرسمية عالمياً إلى انهيار 18 سداً بين عامي 1900 و 1970، و 17 سداً بين عامي 1970 و 2000 و 25 سداً بعد عام 2000 (Haltas, 2000).

## المواد والطرق

## منطقة الدراسة

يوصف سد وادي المجينين إنشائياً بأنه سد ترابي وتم الانتهاء من إنشائه عام 1972م. يقع السد في منطقة الجوارنية، الواقعة في الجزء الشمالي الغربي من ليبيا، بين خطي طول (13° 14' 51" و 13° 15' 09") شرقاً، ودائرتي عرض (32° 17' 14" و 32° 18' 01") شمالاً، كما موضح بالشكل (1). حيث يبعد السد نحو 75 كيلومتراً جنوب طرابلس، ويبلغ ارتفاعه نحو 38 متر، وقد شُيّد السد على مجرى وادي المجينين، الذي حجزت مياهه المتدفقة من أعالي جبل نفوسة ويمتد مجرى الوادي من الجنوب إلى الشمال، منحدرًا من المرتفعات الشمالية لسلسلة جبل نفوسة، ليعبر سهل الجفارة قبل أن يصب في البحر المتوسط. يبلغ طول المجرى الرئيسي من السد إلى البحر بنحو (83) كيلومتر (حدد باستخدام برنامج Arc map).

يبلغ أعلى ارتفاع للمنطقة عند السد 315 متراً، في حين يصل أقل ارتفاع عند البحر باتجاه الشمال إلى نحو 17 متراً. وتتميز المنطقة بمتوسط هطول أمطار سنوي 250 ملم، على بُعد ستة كيلومترات جنوبي موقع السد، تلتقي أربعة روافد رئيسية تغذي الوادي، وهي: وادي الحمام، ووادي الحاسي، ووادي بئر الوعر، ووادي قذاف الدم، إضافةً إلى وادي الزعتر، على النحو الموضح بالشكل (1). ولأجل إحكام حجز المياه أنشئ سدان ثانويان أحدهما ركامي والآخر

تكوينات قصر الحاح التي تعود إلى عصر الهولوسين، وهي تكوينات جيولوجية تتمثل برواسب من الحصى المتماسك وغير المتماسك، مع تداخلات من القشرة الجيرية، فضلاً عن وجود كتبان وغطاءات رملية، إلى جانب تجمعات من الكتل الصخرية، الجلاميد، والحصى. كذلك، تظهر تكوينات تعود إلى العصر الطباشيري العلوي (Upper Cretaceous) في نفس الجزء الجنوبي، حيث تضم تكوين تغرنة، تكوين نالوت وتكوين سيدي الصيد، وهي تكوينات يغلب عليها الحجر الجيري الدولوميتي، وتتخللها طبقات من رمل الكوارتز والكوارتزيت، والتي تتميز بنفاذية عالية. أما قاع وادي الجبسين، فيغطيه تكوين أبو شيبه العائد إلى العصر الثلاثي العلوي، ويتكوّن من الحجر الرملي والصلصال مع تداخلات طفيفة من المواد الجيرية (الخريطة الجيولوجية – لوحة طرابلس، 1993).

من الناحية الجيومورفولوجية، تؤدي الخصائص المرتبطة بمظهر سطح الأرض المتمثلة في درجة الانحدار والارتفاع عن مستوى سطح البحر دوراً مهماً في تحديد مستويات التعرض لمخاطر الفيضانات الناشئة عن الأودية (الحداد والزردومي، 2024). تتصف تضاريس حوض وادي الجبسين في العموم، بانحدار تدريجي نحو الشمال والذي تتعاظم حدته عند الحواف الشمالية من الحوض. في حين معظم الأجزاء الشمالية من منطقة السد فيمكن وصف تضاريسها بأنها ذات انحدار بسيط وتدرجي وتكاد تكون مستوية نحو الشمال (خماج والمنتصر، 2015). كما أن الوادي يخترق التكوينات الصخرية في المنطقة ضمن مناطق الضعف الجيولوجي لصخورها. يأخذ مجرى الوادي مسارات متعرجة مشكلة أقواس ضخمة تعكس نقاط الضعف في التكوينات الجيولوجية، والتي تمكن الوادي من شق مجراه خلالها كونها الأضعف من غيرها. إن الجزء الواقع شمالي السد يمتاز بأنه مغطى بالرواسب الحديثة المتمثلة في الرواسب المائية والريحية المكونة للعديد من الكتبان الرملية.

#### استعمالات وتصنيف الأراضي في المنطقة

يوضح الشكل (3) خارطة الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة. تنتشر في المناطق شمالي السد المراعي الطبيعية مشكلة غطاء نباتي ضعيف مكون من نباتات صحراوية. وكما هو الحال في المناطق الجافة وشبه الجافة فإن توزيع الغطاء النباتي يعتمد بدرجة كبيرة على كثافة وتوزيع الأمطار. نتيجة للقرب النسبي لمستويات المياه الجوفية من سطح الأرض، فإن انتشار الزراعات المروية يكاد يسود في المناطق الشمالية لمنطقتي سوق الخميس امسحيل وقصر بن غشير وباتجاه مدينة طرابلس شمالاً. كما تسود الانشاءات العمرانية وشبكات الطرق على نحو مكثف في مدينة طرابلس وحدودها الجنوبية. ولقد أشار (الحداد والزردومي، 2024) إلى أن كثافة الطرق تزيد من مخاطر الفيضانات، حيث تكون المياه أكثر عرضة للجريان عبر الطرق في حالة حدوث عاصفة مطرية شديدة.

يلاحظ من خلال الشكل (3) ضعف كثافة الغطاء النباتي المنتشر ضمن المنطقة، والممثل في أغلبه من الحشائش أو نباتات المحاصيل الزراعية التي لا يمكنها العمل على إبطاء سرعة موجة الفيضان حتى في حال انتشارها الواسع خارج قناة مجرى الوادي. ولا يخفى فإن عامل الفرق الكبير في درجة انحدار سطح الأرض للمنطقة من جنوبها إلى شمالها والناشئ عن اختلاف الارتفاع عن مستوى سطح البحر والتي يبلغ 315 متر عند جسم السد حتى أقل من 17 متر عند شمال طرابلس. إن انحدار السطح ونوعية وكثافة النبات المنتشر في المنطقة يعطي دلالة محتملة على أنها لا تشكل عائقاً أمام تقدم وحركة موجة الفيضان المتوقع حدوثه في حال حدوث فشل أو اختار السد.

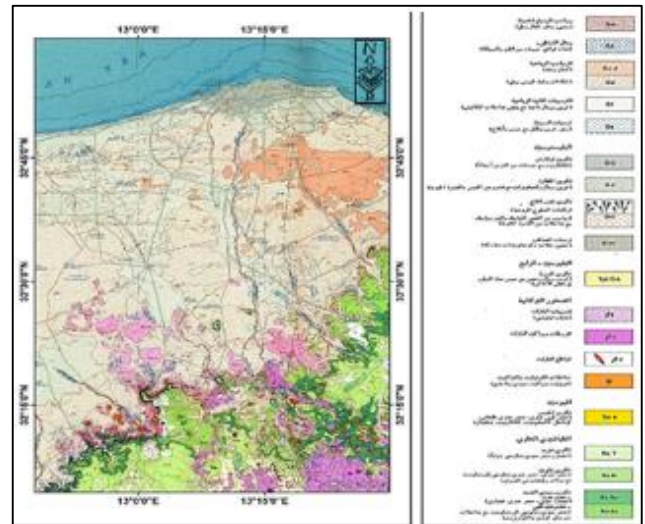
خرساني على منخفضين في الاتجاه الشمالي والاتجاه الشرقي بالنسبة للسد الرئيسي. وقد كان وادي الجبسين مصدر خطر شديد على منطقة قصر بن غشير ومدينة طرابلس قبل إنشاء تلك السدود، والتي حققت بانشائها فوائد عديدة منها: حماية تلك المناطق من أخطار الفيضانات وتغذية الخزانات الجوفية بالمنطقة واستغلال المياه المحجوزة أمام السد في الأغراض الزراعية (الإدارة العامة للسدود ومياه الوديان، 1978).



الشكل (1): الموقع العام لمنطقة الدراسة.

#### جيولوجية و جيومورفولوجية منطقة الدراسة

تشير الدراسات الجيولوجية إلى أن معظم التكوينات الصخرية الظاهرة في منطقة الدراسة تعود إلى الزمنين الثلاثي والرباعي. ويلاحظ أن الجزء الشمالي من المنطقة يتبع تكوينات تعود إلى عصري البليستوسين والهولوسين (Pleistocene & Holocene)، حيث ينكشف على السطح تكوين قرقارش، الذي يتكون أساساً من صخر الكالكارينيت، مع عدسات متفرقة من الغرين وعلى النحو الموضح بالشكل (2).



الشكل (2): جيولوجية منطقة الدراسة (لوحة طرابلس).

أما الجزء الأوسط من المنطقة، فتسود تكوينات الجفارة، التي تتألف من غطاءات رملية، وغرين، وكنجلوميرات، بالإضافة إلى وجود قشور من الجبس والقشرة الجيرية. في الجزء الجنوبي، تبرز

السدود، ويمثل أحد الأدوات التي طورها فيلق المهندسون بالجيش الأمريكي (USACE 2014; USACE 2010). فيما تم استخدام برنامج Arc GIS كتطبيق داعم ومكمل للعمل بوجود التطبيق الرئيس HEC-RAS.

#### مرحلة الإعداد والمحاكاة

#### تجهيز نموذج الارتفاعات الرقمي برنامج Arc GIS

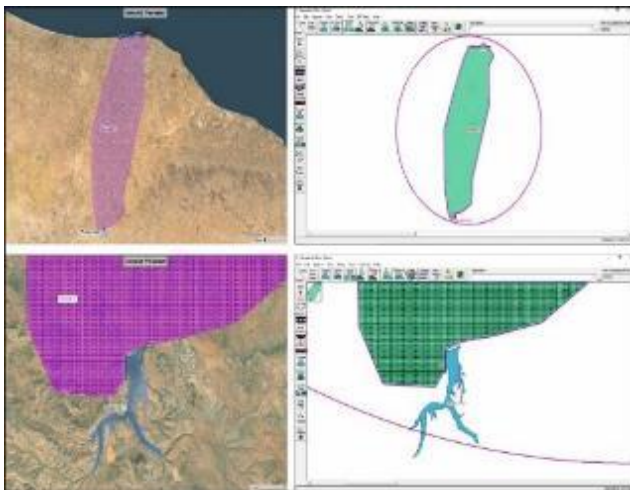
يتطلب عمل الحسابات النمذجية في مناطق التدفق ثنائية الأبعاد إنشاء نموذج التضاريس للمنطقة في RAS Mapper، الأمر الذي يتطلب مبدئياً تثبيت ملف (Reference - 13N - WGS 84)، ومن ثم يتم تحويل نموذج DEM ذي الدقة 30 متراً إلى شبكة مثلثية غير منتظمة. عموماً فقد تم تمثيل منطقة الجريان ثنائي الأبعاد لبحيرة سد وادي المجينين وللمنطقة الممتدة جنوبي السد وحتى سواحل مدينة طرابلس على البحر المتوسط، بحجم خلية 50 متر × 50 متر، كذلك تم إدراج قيم معامل خشونة السطح فيما بعد.

#### تجهيز نموذج الارتفاعات الرقمي برنامج Arc GIS

تم ربط ملف الارتفاعات الرقمي DEM للمنطقة والموضح بالشكل (4) مع ملف المرجع الجيوديسي للمنطقة وضمن بيئة تطبيق HEC-RAS لأجل البدء بعمل النمذجة وسيناريو محاكاة انخيار السد.

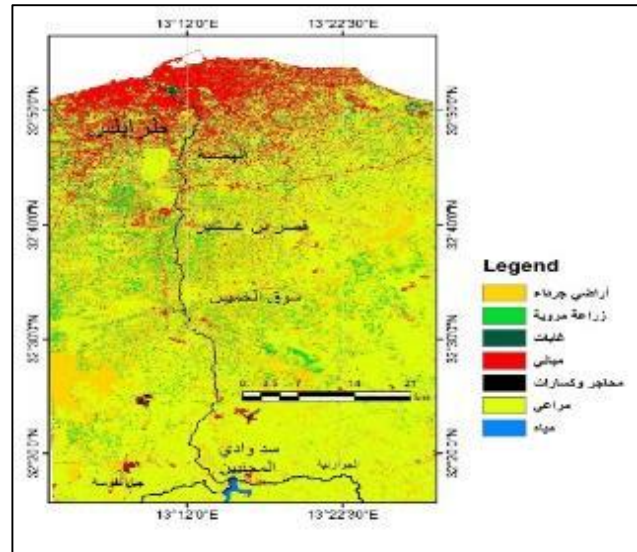
#### النمذجة والمحاكاة باستخدام تطبيق HEC-RAS

بعد تجهيز البيانات المختلفة وتثبيتها لأجل استخدامها في بيئة برنامج المحاكاة، تم العمل على إنشاء المشروع وتحديد منطقة السد مع بحيرة التخزين (Storage Area) ضمن بيئة البرنامج ثنائية الأبعاد (2D Flow)، وكذلك تحديد المنطقة التي ستعرض لموجة فيضان انخيار وفشل السد (Perimeters Area) باستخدام أداة (geometry editor) لأجل إنشاء البيانات الجيومترية الأساسية التي ستقوم عليها سيناريوهات المحاكاة، وذلك على النحو الموضح في الشكل (5).



الشكل (5). تهيئة المنطقة للمحاكاة من خلال إنجاز فقرة عرض ثنائي الأبعاد لمنطقة

الدراسة في بيئة تطبيق HEC-RAS باستخدام أداة (geometry editor) تم العمل على معالجة حالة عدم الاتصال في المخطط بين جسم البحيرة (Storage Area) من جهة، ومجرى قناة وادي مجينين الممتد من مقدمة السد وحتى مصبه في البحر المتوسط شمالي مدينة طرابلس (Parameters)، كما موضح في الشكل (6).

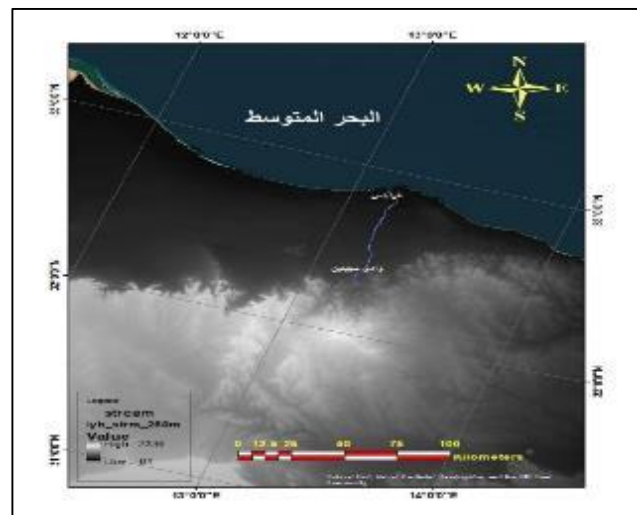


الشكل (3). الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة.

#### (تصنيف موجه بتطبيق Arc GIS باستخدام بيانات مرئية Sentinel-2)

#### جمع البيانات و معالجتها

تتعدد البيانات التي يمكن أن تدخل في صلب موضوعات محاكاة الكوارث الطبيعية، وهي هنا قد ضمت العديد من البيانات المهمة مثل (مرئيات الأقمار الاصطناعية عن المنطقة وأبرزها نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة DEM-30m (SRTM)، بيانات جغرافية وجيومورفولوجية وجيولوجية المنطقة)، بالإضافة إلى ملف المرجع الجيوديسي - UTM Reference - WGS 84 13N، كما بالشكل (4).

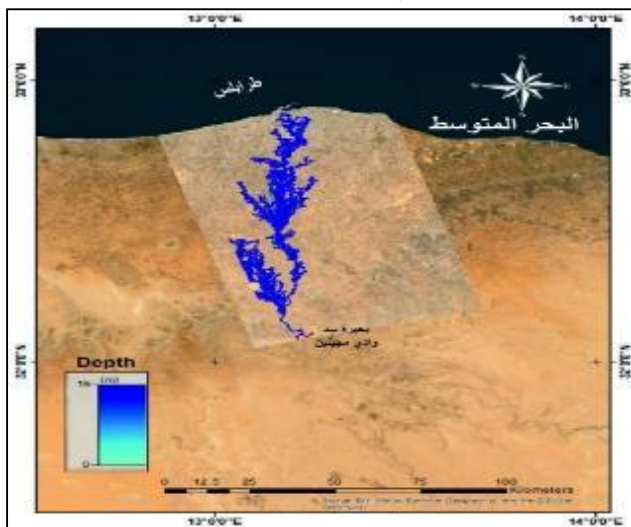


الشكل (4). نموذج الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة.

#### التطبيقات المستخدمة

يُعد برنامج HEC-RAS مفتوح المصدر وهو التطبيق الرئيس المستخدم في هذه الدراسة لنمذجة سيناريوهات محاكاة الفيضان المتوقع حدوثه حال انخيار سد وادي المجينين، والنتائج الكارثية التي يمكن أن تتمخض عن ذلك. تجدر الإشارة هنا إلى أن هذا التطبيق يمثل نموذجاً هيدروديناميكياً يُستخدَم على نطاقٍ واسعٍ في هيدروليكا الأنهار، بالإضافة إلى تحليل صدوع

المصورة على نموذج التضاريس باستخدام RAS- Mapper في نظام تفاعلي ثنائي الابعاد، حيث تصور هذه المحاكاة عمق موجة الفيضان (Depth) عند كل مقطع على مسار مجرى الوادي، كذلك تبين ارتفاع سطح الماء في موجة الفيضان عن مستوى سطح البحر (WSE)، وسرعة موجة الفيضان (Velocity) عند كل نقطة من مجرى الوادي، كما هو مبين في الأشكال (8، 9، 10)، على التوالي.

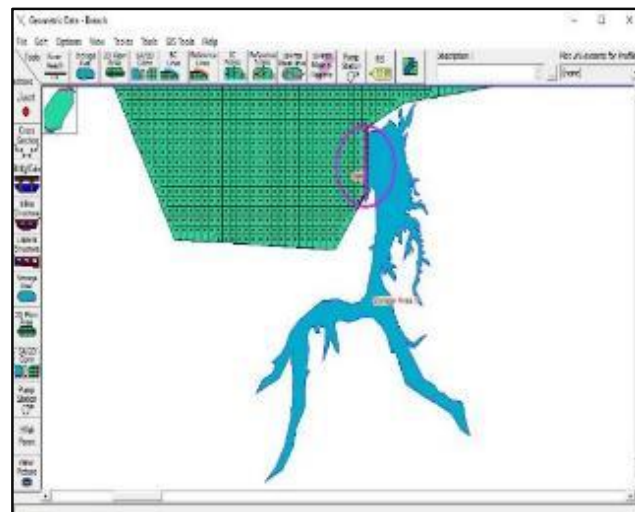


الشكل (8). توزيع أعماق موجة الفيضان بسبب انهيار السد الناجم عن سبب طبيعي أو بشري.

إن أعماق موجة الفيضان (عمق الغمر) ستختلف زمانياً ومكانياً خلال تحركها المستمر. وتكمن الأهمية هنا في زمن وصول موجة الفيضان إلى طرابلس حيث الكثافة السكانية الأكبر في البلاد. فعلى سبيل المثال تصل موجة الفيضان مطار طرابلس الدولي ومنطقة قصر بن غشير، بعد نحو 23 ساعة فقط، من انهيار السد، فيما ستغمر تلك المنطقة بالكامل تقريباً بعد مرور 40 ساعة من انهيار السد، حيث إن هذه المناطق ستقع تحت أعماق غمر تتراوح بين 11 - 11.4 متر، وذلك كما هو موضح في الجدول (1).

جدول (1). بيانات موجة الفيضان المستنتجة لعملية المحاكاة برنامج HEC-RAS

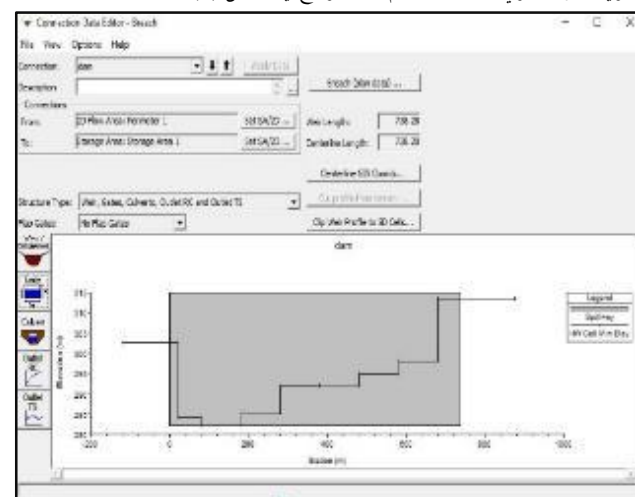
| المنطقة                      | وقت وصول موجة الفيضان (ساعة) | مقدار الغمر (متر) | مدى متوسط سرعة موجة الفيضان (متر/ثانية) | مستويات المياه عن سطح البحر WSE - (متر) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| مطار طرابلس - قصر بن غشير    | 40 - 23                      | 11.4 - 11.0       | 06.2 - 0.17                             | 101.63                                  |
| سوق الاحد - طريق وادي الربيع | 28                           | 9.6 - 9.4         | 38.1 - 0.05                             | 97.15                                   |
| مسجد زبد بن ثابت             | 33                           | 8.4 - 8.1         | 79.1 - 0.06                             | 84.64                                   |
| مدرسة بابل الدولية           | 36                           | 7.6 - 7.2         | 42.1 - 0.03                             | 76.62                                   |



الشكل (6). عملية تحقيق الإتصال بين جسد البحيرة ومنطقة الوادي بعد السد بأداة (Geometric Data)

#### نمذجة اختراق السد

بعد إتمام إعداد متطلبات المحاكاة وإدخال جميع البيانات الضرورية لهذه العملية مع تطبيق العلاقات الرياضية المستمدة من آليات اختراق السد المتاحة، تمت محاكاة اختراق سد وادي المجهين باستخدام برنامج HEC-RAS، مع الأخذ بعين الاعتبار معامل خشونة السطح والتوزيع الجانبي لموجة فيضان انهيار السد على طول مجرى وادي المجهين. حيث تم تحديد العرض العلوي للخرق بحوالي 80 - 100 م، كما موضح في الشكل (7).



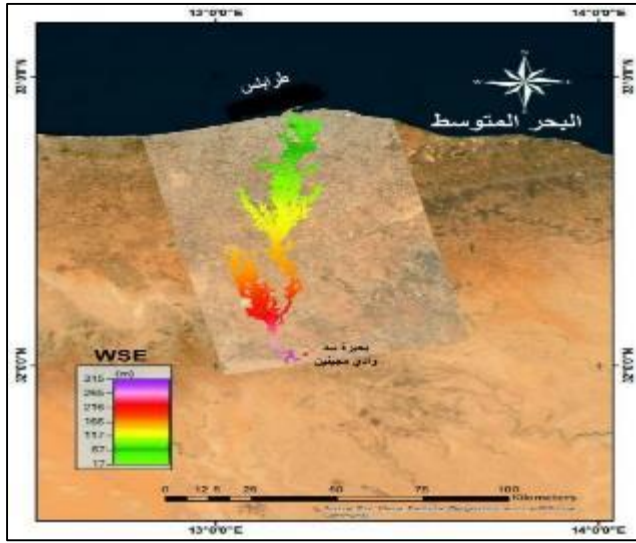
الشكل (7). تفاصيل الفشل والانهيار في سد وادي مجنين حسب سيناريو انهيار السد كنتيجة لأسباب طبيعية أو بشرية.

#### النتائج والمناقشة

##### نتائج المحاكاة باستخدام النموذج الهيدروديناميكي

تم استخدام النموذج الهيدروديناميكي ضمن بيئة برنامج HEC-RAS لمحاكاة انتشار موجة فيضان المحتملة نحو الساحل باتجاه مدينة طرابلس ولمسافة تُقدَّر بنحو 80 كم نتيجة لفرضية انهيار سد وادي المجهين. فيما يلي يتم عرض نتائج المحاكاة لهذه الدراسة: من خلال الخرائط

الحال بالمستوى العام للسطح نفسه، بالإضافة إلى ارتفاع عمق موجة الفيضان (الغمر)، كما هو موضح في الشكل (10)، والجدول (1).



الشكل (10). ارتفاع مستوى سطح الماء لموجة الفيضان عن مستوى سطح البحر (WSE) في حال انهيار السد.

إن نتائج سيناريو المحاكاة والنمذجة الذي يوفره تطبيق HEC-RAS يعطي نتائج عالية الدقة تبلغ نحو 91%، وهو ما أثبتته دراسات سابقة أجريت باستخدام HEC-RAS لإنتاج محاكاة لفيضان حصلت فعلاً في وقت سابق، وأثبتت نتائجها العالية (Romali, Yusop & Ismail, 2018; Al-Gurairy et al., 2024).

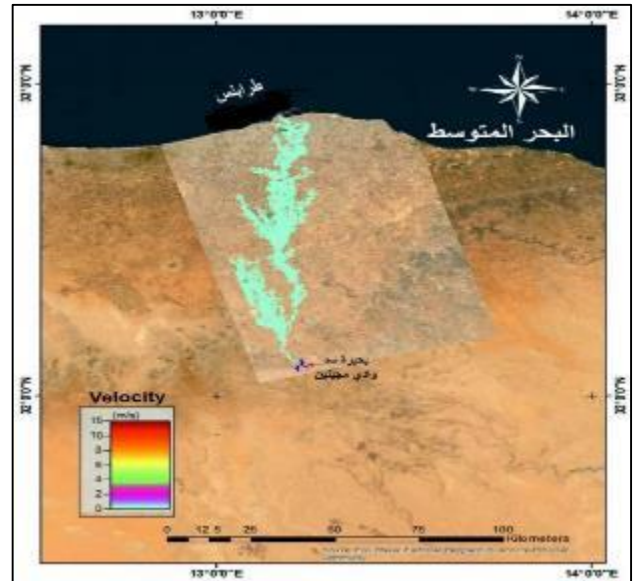
ووفقاً للمحاكاة الحالية المتعلقة بانحيار سد وادي المجنين وما بينته من نتائج تمثل بدورها معلومات مهمة جداً، والمتعلقة بسيناريو الانحيار للسد وتشكل موجة فيضان مفاجئة، لاسيما ما يتعلق منه بالبيانات التي تم الحصول عليها من جهة، وما يترتب عليها من كشف واضح لكوارث خطيرة يمكن حدوثها وإمكانية وضع الحلول الملائمة لمواجهة من جهة ثانية. لذلك، فهي تشكل معلومات ذات أهمية كبيرة جداً لأصحاب القرار لوضع الخطط الصحيحة اللازمة لمواجهة الكوارث الطبيعية، وهي معلومات ذات أهمية كبيرة للباحثين أيضاً في هذا المجال.

#### توظيف نتائج HEC-RAS في إنتاج الخرائط ضمن بيئة تطبيق Arc GIS

تمثل هذه المرحلة بدورها، الخطوة النهائية في الدراسة لأجل الحصول على خرائط نهائية ذات إحداثيات دقيقة مطابقة لنتائج المحاكاة ومستوفية للمعايير الخاصة بالخرائط. إذ تبدأ هذه المرحلة بخطوة تنزيل ملف إحداثيات المنطقة PRG (WGS 84 13N)، ومن ثمّ تصنيفه في بيئة برنامج HEC-RAS و Arc GIS. بعد ذلك يتم استيراد ملفات النتائج التي تم الحصول عليها من تطبيق HEC-RAS ضمن بيئة التطبيق، ومن ثم التعامل معها في Arc GIS لإنتاج الخرائط النهائية للمنطقة، وعلى النحو الموضح بالشكل (11).

|                                          |    |           |             |       |
|------------------------------------------|----|-----------|-------------|-------|
| مسجد البيت العتيق                        | 40 | 7.6 – 6.5 | 51.1 – 0.04 | 67.54 |
| الطريق الدائري الثالث – منطقة صلاح الدين | 49 | 7.5 – 5.3 | 64.0 – 0.03 | 56.17 |
| طريق الهضبة – جامع أبو ذر الغفاري        | 56 | 5.1 – 4.9 | 76.0 – 0.01 | 52.92 |
| الطريق الدائري الأول (غابة النصر)        | 64 | 9.4 – 4.8 | 26.1 – 0.02 | 50.93 |
| شارع الجمهورية                           | 76 | 6.4 – 4.1 | 91.0 – 0.01 | 51.65 |
| شارع النصر                               | 88 | 8.4 – 4.0 | 70.0 – 0.03 | 48.34 |
| خط الساحل                                | 95 | 9.3 – 4.0 | 57.0 – 0.17 | 43.14 |

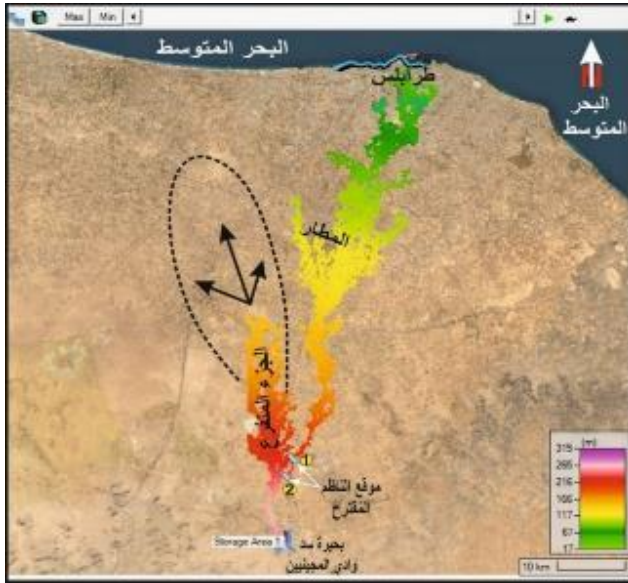
فيما ستنبيان أعماق الغمر مع اتجاه موجة الفيضان صوب الأحياء الشمالية من طرابلس، إذ ستصل الموجة إلى خط الساحل بعد مرور أكثر من 95 ساعة على إنحيار السد، وكما هو موضح في الجدول (1). ويبدو أن سرعة وصول الموجة الفيضانية إلى منطقة مطار طرابلس الدولي وقصر بن غشير، يشير إلى عدم وجود الحواجز الإنشائية المتمثلة في الأحياء السكنية والمنشآت الحكومية والخاصة المختلفة، فيما تستغرق عملية تحرك الموجة من منطقة المطار وحتى خط الساحل نحو 3 أيام، كنتيجة لوجود تلك العوائق الإنشائية. وهو ما ينطبق على تباين سرعة تحرك موجة الفيضان في المنطقة من جنوبها لشمالها، كما موضح في الشكل (9) والجدول (1).



الشكل (9). توزيع سرعة موجة الفيضان بسبب انهيار السد الناجم عن أسباب طبيعية أو بشرية.

أما بالنسبة لارتفاع مستوى سطح موجة الفيضان عن مستوى سطح البحر فإنه سيتأثر بطبيعة

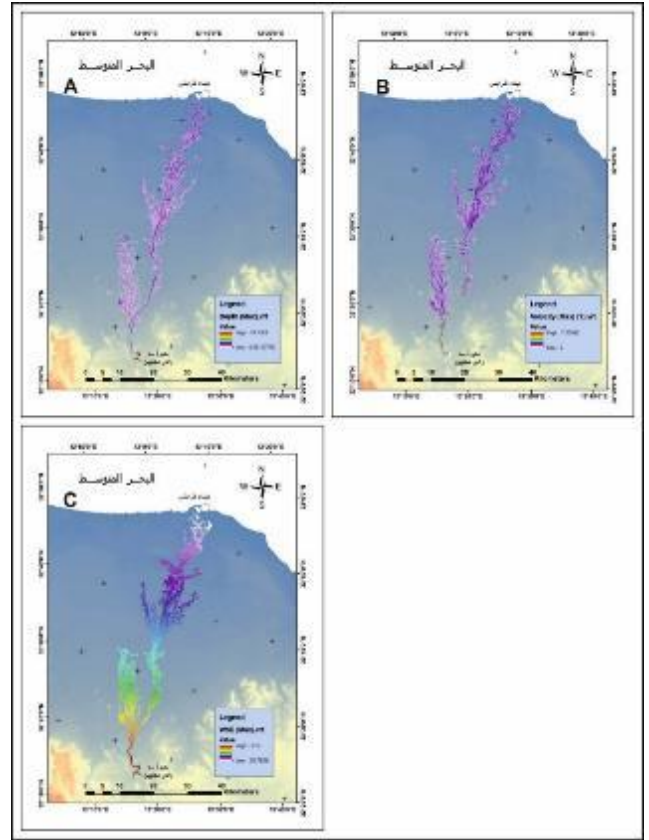
ساحل البحر المتوسط، والفرع الثانوي منه الذي يتجه نحو الشمال الغربي وينتهي جنوب المطار بنحو أكثر من 10 كم. نتج هذا التفريع الطبيعي لجري وادي الجنين عن طبيعة صخور المنطقة وتضاريسها، فضلاً عن درجة واتجاه انحدار سطحها. بالإمكان من خلال هذه الدراسة وضع الحلول المنطقية - العلمية لمواجهة كارثة محتملة تنشأ عن انهيار جسم السد. وذلك بأن تقوم الجهات الحكومية الليبية المعنية بإنشاء ناظم (هدار) أو ناظمين على منطقة تفرع الوادي لأجل تنظيم عملية جريان المياه فيهما، وبالتالي التحكم بكميات المياه الجارية عند الفيضان لكل فرع منهما، كما موضح في الشكل (12). يكمن الهدف الأساس من ذلك، في الحيلولة دون غرق وتضرر أجزاء كبيرة من العاصمة طرابلس نتيجة لهكذا سيناريو محتمل، وذلك بتوجيه الكمية الأكبر من المياه بالفرع الثانوي الذي لا يمر بطرابلس، فيما ستمكن تلك النواظم من السماح بإطلاق كميات محددة من المياه ضمن المجرى الرئيس للوادي دون التسبب بغرق طرابلس وإحيائها السكنية، باستخدام هذه الطريقة. ولا يخفى فان متابعة هذه السدود وإجراء الصيانة الدورية لها كفيل بالإبقاء عليها في وضع آمن ومنع أضرارها لأسباب طبيعية في معظم الأحيان، عدا تلك الخطيرة منها مثل عمليات التشييد التكويني وما ينتج عنها.



الشكل (12). مواقع النواظم المقترحة على مجرى وادي الجنين.

#### الخلاصة

ركزت هذه الدراسة على موضوع سيناريو احتمالية انهيار سد وادي الجنين جزاء إهمال بشري أو لأسباب طبيعية مثل العواصف المطرية المفاجئة (كإعصار دانيال) أو كنتيجة لنشاط تكتوني عنيف (هزة أرضية)، لاسيما وإن انهيار أي سد نتيجة هزة أرضية عنيفة يعد أمراً غير مستبعد، لذلك، جاءت هذه الدراسة لمحاولة كشف السيناريو المحتمل لأحداث ما بعد حصول الكارثة باستخدام برنامج HEC-RAS، وهو الهدف الرئيس للدراسة. استخدم البرنامج مع تغذيته بالبيانات الضرورية، لمحاكاة سيناريو الانهيار وما بعده، مع الأخذ بعين الاعتبار كميات المياه المخزنة لبحيرة سد وادي الجنين والتي قدرت بنحو (60) مليون متر مكعب والتي تعادل نحو 80% من قدرة السد التخزينية. لذا، فإنه من خلال عملية المحاكاة بتطبيق HEC-RAS، حدد أقصى عمق لموجة فيضان انهيار السد ستبلغ نحو (11.4) متر عند مطار طرابلس ومنطقة قصر بن غشير شمال السد. فيما ستبلغ أقصى سرعة لموجة الفيضان نحو (2.06) متر/ثانية، أما أعلى مستوى لسطح موجة الفيضان فسيكون على ارتفاع 101.63 متر فوق مستوى سطح البحر في هذه المنطقة. وبالتالي، وفقاً لهذا السيناريو، فإن جميع المناطق السكنية والمنشآت الحيوية



الشكل (11). المحاكاة المنتجة من HEC-RAS بعد معالجتها في بيئة تطبيق Arc GIS.

هكذا ستظهر خرائط المحاكاة بعد إدخالها ومعالجتها ضمن بيئة برنامج Arc GIS بصورتها المبينة في الشكل (11)، مع ملاحظة احتمالية حدوث بعض الأخطاء التقنية بسبب عملية النقل بين التطبيقين (HEC - RAS & Arc GIS)، الأمر الذي اضطر إلى اللجوء لمعالجة ذلك يدوياً باستخدام تطبيق CorelDraw X7 بالنسبة للأجزاء الجنوبية من الوادي مثلما هو موضح في الشكل (11 - A, B & C). لوحظ إمكانية أن تكون نتائج المعالجة في بيئة Arc GIS أكثر وضوحاً في توصيف التباين المكاني لبيانات الأعماق وسرعة الموجة ومستواها عن سطح البحر، مما هو عليه الحال ضمن بيئة التطبيق الأصلي (HEC - RAS)، وذلك لأن هذا التطبيق يعطي للمستخدم مقطع محاكاة بصيغة فيديو عالي الوضوح ويبين في الوقت نفسه حجم وكمية الاختلاف للنقطة الواحدة طيلة مدة المحاكاة، مما يصعب الحصول على بيانات ثابتة، حيث ستختلف كتلة وكمية وسرعة الموجة عند بداية الانهيار عنها في مراحلها المتوسطة أو النهائية، وهو ما يجب أن يلتفت إليه الباحثون والمهتمون باستخدام هذا التطبيق مستقبلاً.

#### المعالجات الممكنة وفقاً لبيانات المحاكاة المنتجة بـ HEC-RAS

لقد بينت نتائج المحاكاة الكثير من المعلومات المهمة، والتي يمكن توظيفها آنياً ومستقبلاً لمواجهة هكذا كوارث طبيعية محتملة. ولأجل دفع الخطر عن أكبر مناطق البلاد اكتظاظاً بالسكان والأكثر أهمية وحيوية اتضح أنه وفقاً لموجة الفيضان المتوقعة، مع الأخذ في الاعتبار جيولوجية وجيومورفولوجية منطقة الدراسة فإنه بالإمكان تقسيم منطقة الدراسة إلى قسمين رئيسيين هما: شمال منطقة السد وإلى جنوب مطار طرابلس الدولي بمسافة تمتد إلى حوالي 20 كم، أما القسم الثاني فممثل بالفرع الرئيس لوادي الجنين والذي يتجه شمالاً مختزلاً طرابلس وحتى مصبه عند

- Conference). [G.S]. <http://dx.doi.org/10.1108/WJE-10-2022-0405>
- Al-Gurairy, A. S. Y., & Al-Shammmary, A. A. S. (2023). Stages of the historical geomorphology evolution of the meander of Al-Shatt Al-Aama and its Ox Bow lake south of Al-Azizia-Iraq. for humanities sciences al qadisiya, 26(3). [Google Scholar] <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10103302>.
- Al-Gurairy, A. S. Y., & Al-Shammmary, A. A. S. (2023). Stages of the historical geomorphology evolution of the meander of Al-Shatt Al-Aama and its Ox-Bow Lake south of Al-Azizia-Iraq. for humanities sciences al qadisiya, 26(3). (In Arabic) [Google Scholar]. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10103302>
- Al-Gurairy, A. S. Y., & Al-Zubaidi, A. H. A. (2023). Climate Change and Its Impact on The Expansion of the Phenomenon of Sand Dunes and Desertification of Agricultural Lands in Iraq for The Period 1984-2022 (Governorates of Al-Qadisiyah, Al-Muthanna, and Dhi Qar). [G.S] <http://dx.doi.org/10.52865/YJPI8019>.
- Al-Gurairy, A., Al-Jubory, M. S., Al-Ansari, N., Muhammad Awadh, S., Al-Zubaidi, A. H., Al-Sadun, M. T., & Al-Ghurairy, R. M. (2024). Tectonic activation and the risk of Ilisu Dam collapse to Iraq through modelling and simulation using HEC-RAS. Applied Water Science, 14(11), 240. [G.S] <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02299-9>
- Costa, J. E., & Schuster, R. L. (1988). The formation and failure of natural dams. Geological society of America bulletin, 100(7), 1054-1068. [Google Scholar] [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1988\)100%3C1054:TFAFON%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100%3C1054:TFAFON%3E2.3.CO;2)
- CRED, "2022 Disaster in Numbers," 2023, [Online]. Available: [https://cred.be/sites/default/files/2022-EMDAT\\_report.pdf](https://cred.be/sites/default/files/2022-EMDAT_report.pdf).
- Dincergok, T. (2007, March). The role of dam safety in dam-break induced flood management. In Proceedings of International Congress on River Basin Management" (pp. 682-697). [Google Scholar].
- Eldeeb, H., Mowafy, M. H., Salem, M. N., & Ibrahim, A. (2023). Flood propagation modeling: Case study the Grand Ethiopian Renaissance dam failure. Alexandria Engineering Journal, 71, 227-237. [Google Scholar] <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.054>
- الواقعة على مجرى وادي الجنين والممتدة على طول مجرى مثل (مطار طرابلس، قصر بن غشير، سوق الاحد، الضاحية، مدرسة بابل الدولية، مسجد البيت العتيق، أجزاء واسعة من مسار الطريق الدائري الثالث والثاني والأول وغيرها)، ستغرق موجة فيضان يتباين ارتفاعها من مكان لآخر.
- تجدر الإشارة، إلى أن انهيار السد سينشأ عنها موجة الفيضان تتحرك باتجاه مطار طرابلس وستستغرق نحو 23 ساعة من بدء الكارثة (وفقاً لسيناريو المحاكاة)، وأن غرق المطار بصورة شبه كاملة سيستغرق نحو 40 ساعة فقط من بداية سيناريو هذه الكارثة. فيما ستبسط حركة موجة الفيضان شمالي المطار نتيجة لوجود العوائق الكونكريتية للأبنية السكنية والمنشآت المختلفة. وستستغرق نحو 3 أيام لإغراق ثلث أحياء ومناطق العاصمة طرابلس، خصوصاً التي تقع عن يمين ويسار مجرى الوادي. إن الحصول على خرائط مخاطر الفيضان هذه باستخدام برنامج HEC-RAS، يتيح لسلطات اتخاذ القرار، العمل على اتخاذ الخطوات المهمة والضرورية لمواجهة خطر محتمل من جهة. والعمل على إنشاء مرافق حيوية مكتملة للسد مثل النواظم المقترح أمانتها في هذه الدراسة، وذلك لتعزيز إدارة الموارد المائية عند الكوارث. كذلك، تساهم هذه الدراسة في عملية توجيه المواطنين للتحرك بالسرعة القصوى صوب الأماكن التي سوف لن تصلها موجة الفيضان على النحو الموضح في خرائط تقييم ومحاكاة خطر الفيضان المتاحة من هذه الدراسة، يحقق أمن وسلامة القاطنين بالقرب من مجرى الوادي.
- ### المراجع
- الإدارة العامة للسدود ومياه الوديان، 1978، كتيب عن سد وادي الجنين، قسم التنسيق والتوعية المائية، طرابلس، ليبيا.
- أسامة، علي (2023). سدود ليبيا (إهمال رسمي يهدد حياة الملايين من السكان. صحيفة العربي الجديد. الصادرة بتاريخ 27 - سبتمبر، لندن. الموقع الإلكتروني للمجلة: <https://www.alaraby.co.uk/society>
- الحداد، عبد العاطي أحمد محمد والزردمي، ريم علي محمود. 2024. تحديد وتقييم المناطق المعرضة لخطر الفيضانات بمحوض وادي الجنين بشمال غرب ليبيا. المؤتمر العلمي الأول حول أساليب الوقاية والمواجهة لأخطار السيول في المناطق الجافة وشبه الجافة. كلية قسم الجغرافيا / كلية الآداب والعلوم الأبيار/ جامعة بنغازي، الفترة من 20-22 فبراير 2024م. الصفحات 181-208. <https://uob.edu.ly/ar/home>
- خناج، أحمد إبراهيم والمتنصر، جمعة الخطي. 2015. مؤشرات استهلاك المياه لبعض المحاصيل في شمال غرب ليبيا. المجلة الليبية للعلوم الزراعية. المجلد (20) العددان (1-2): 84-95 <http://www.ljagric.uot.edu.ly>
- مركز البحوث الصناعية، 1993، خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة لوحة طرابلس، ليبيا.
- Abdelkareem, M. (2017). Targeting flash flood potential areas using remotely sensed data and GIS techniques. Nat. Hazards. 85, 19-37. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2556-x>.
- Al-Gurairy, A. S. Y. (2024). Modeling Flood Propagation and Risk Mapping Using HEC-RAS, Simulation of Wadi Kaam Dam Collapse in Libya. Midad Al-Adab Refereed Journal, 1(geography Department

- multicriteria decision making and its practical applications: The AHP/ANP approach The modern science of multicriteria decision making and its practical applications: The AHP/ANP approach. *Operations Res.* <https://doi.org/10.1287/opre.2013.1197>.
- Sousa, Ahmad (1965). Baghdad Floods in History, Part Two, Al-Adib Press - Baghdad, Iraq, issue 374-385. (In Arabic).
- Wingfield T, Macdonald N, Peters K, Spees J, Potter K (2019) Natural Flood Management: Beyond the evidence debate. *Area*. <https://doi.org/10.1111/area.12535>.
- Yi, X. (2011). A dam break analysis using HEC-RAS. *Journal of Water Resource and Protection*, 2011. [Google Scholar] <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=5707>
- Zhong, Q. M., Chen, S. S., Deng, Z., & Mei, S. A. (2019). Prediction of overtopping-induced breach process of cohesive dams. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(5), 04019012. [Google Scholar] [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002035](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002035)
- USACE (2010) HEC-RAS river analysis system. Hydraulic reference manual. Version 6.4.1. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. [http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS\\_4.1\\_Reference\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf)
- USACE (2014) Using HEC-RAS for dam break studies. TD-39. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. <http://www.hec.usace.army.mil/publications/TrainingDocuments/TD-39.pdf>
- Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčič, N., Chaurasia, R., & Markovinović, D. (2021). Flood risk modelling using HEC-RAS and geospatial techniques. *E-ZBORNİK Electron. Collect. Pap. Fac. Civ. Eng*, 11, 20-36. [Google Scholar] <https://doi.org/10.47960/2232-9080.2021.22.11.20>.
- Fernandes GW, Goulart FF, Ranieri BD, Coelho MS, Dales K, Boesche N, Soares-Filho B (2016) Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana Brazil. *Natureza & Conservação* 14(2):35–45. [G.S] <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.10.003>
- Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(5), 1000-1024. [Google Scholar] <https://doi.org/10.1139/t00-030>
- Haltas, I., Tayfur, G., & Elci, S. (2016). Two-dimensional numerical modelling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, İzmir, Turkey. *Natural Hazards*, 81, 2103-2119. [Google Scholar] <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2175-6>
- Ibrahim, N. F., Zardari, N. H., Shirazi, S. M., Haniffah, M. R. B. M., Talib, S. M., Yusop, Z., & Yusoff, S. M. A. B. M. (2017). Identification of vulnerable areas to floods in Kelantan River sub-basins by using flood vulnerability index. *GEOMATE Journal*, 12(29), 107-114. [Google Scholar] <http://dx.doi.org/10.21660/2017.29.11110>
- Mohamed, M. J., Karim, I. R., Fattah, M. Y., & Al-Ansari, N. (2023). Modelling Flood Wave Propagation as a Result of Dam Piping Failure Using 2D-HEC-RAS. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 9(10), 2503-2515. [Google Scholar] <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-10-010>
- Primo, P. P. B., Antunes, M. N., Arias, A. R. L., Oliveira, A. E., & Siqueira, C. E. (2021). Mining dam failures in Brazil: comparing legal post-disaster decisions. *International journal of environmental research and public health*, 18(21), 11346. [Google Scholar] <https://doi.org/10.3390/ijerph182111346>
- Romali, N. S., Yusop, Z., & Ismail, A. Z. (2018). Application of HEC-RAS and Arc GIS for floodplain mapping in Segamat town, Malaysia. *GEOMATE Journal*, 15(47), 7-13. [Google Scholar] <http://dx.doi.org/10.21660/2018.47.3656>
- Saaty TL, Saaty TL. (2013). The modern science of