LJEEST
ISSN 2710-5237
www.srcest.org.ly/jou

المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology(LJEEST)

DOI: https://doi.org/10.63359/1rabf579

محاكاة مسارات فيضان وادي المجينين باستخدام برنامج HEC-RAS

عبد الرحمن أحمد الرياني [1] ، أحمد ياسين الغريري[2] ، أحمد إبراهيم خماج [3]، أحمد محمد الغراري[4]

ARTICLE INFO

Vol. 7 No. 2 Agusust, 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 (MGRI). 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 (lcrsss).
ab.alryani@uot.edu.ly
ahmed.yasien@qu.edu.iq
a.ekhmaj@uot.edu.ly
a.ghrari@lcrsss.ly

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

© 2025
Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.

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 المجينين 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 مناسيب الغمر إلى أكثر من 11 مترًا وسرعة جريان تتجاوز 2 م/ث. كما تبيّن أن مياه الفيضان ستستمر في التقدم شمالًا لتغمر أجزاء واسعة من المدينة، وصولاً إلى الساحل خلال ثلاثة أيام، متأثرة بانحدار الأرض والعوائق العمرانية. وقد بينت النتائج وفقا لسيناريو المحاكاة المقترح أنها تتسبب في غرق نحو 25-30% من أحياء العاصمة. تقدم الدراسة بيانات محاكاة دقيقة تدعم جهود إدارة المخاطر وتساعد صُنّاع القرار في وضع خطط وقائية فعالة لتقليل الخسائر المحتملة.

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

Abdulrahman Ahmed Alriyani [1], Ahmad S. Yasien Al-Gurairy [2], Ahmed Ibrahim Ekhmaj [3], Ahmed Mohamed Algharari [4]

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.

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 بها عبر إنشاء السدود. تتسبب الفيضانات في أضرار جسيمة تطال الأفراد والبُنى 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-Shammary, 2023; Mohamed et al., 2023; Al-Gurairy et al., 2024). تنشأ الفيضانات نتيجة لهطول أمطار غزيرة خلال فترة زمنية قصيرة، مما يؤدي إلى تدفق مائي ضخم وسريع يفوق قدرة الأنظمة الهيدرولوجية على تصريف تلك الكميات، متسببًا في خروج المياه عن مجاريها الطبيعية وغمر المناطق السكنية والزراعية والصناعية، كما قد تحدث نتيجةً لخطأ أو اهمال بشري (Abdelkareem, 2017; Al-Gurairy,2024).

ومع تفاقم ظاهرة التغير المناخي، أصبحت هذه الفيضانات أكثر تكرارًا وحِدَّةً، 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 والجيولوجية والهيدرولوجية مجتمعةً دوراً رئيساً في تفاقم الفيضانات، حيث يؤثر انحدار 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 والترابية كإجراء وقائي لحماية المدن والقرى من الفيضانات، إضافة إلى دورها المحوري في تخزين المياه لأغراض الري والاستهلاك البشري والصناعي. على الرغم من أهمية انشاء السدود على مجاري الأنهار والأودية إلا إنها قد تتسبب الضرر الكبير على النظام البيئي – الحيوي وتوازنه الذي كان قائماً قبل إنشائها عموماً، فهي قد تتسبب 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^3 من المياه والمخلفات التعدينية، حيث أصاب هذا التسونامي منطقة بينتو رودريغز بأضرار فادحة، كما تسبب بتحميل نهر دوسي وعلى طول مجراه لمسافة 663.2 كم، ومن ثمَّ 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 انهيار السدود لأسباب مختلفة (طبيعية أو بشرية) متمثلة في (الفشل في تصميم الإنشاءات، اهمال الصيانة، الانهيارات 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 سدًا بين عامي 1900 و 1970، و17 سدًا بين عامي 1970 و 2000 و 25 سداً بعد عام 2000 (Haltas, Tayfur & Elci, 2016; Al-Gurairy et al., 2024). كما تشير أيضاً الإحصاءات الصادرة عن اللجنة الدولية للسدود (ICOLD) إلى أن 38% من حالات انهيار السدود تعزى إلى القصور في تصميم قنوات التصريف، بينما تعود 33% منها إلى مشكلات التسرب وانفجار الأنابيب، لا سيما في السدود الترابية (الغريري، 2024). إن ما حدث من كارثة وطنية نتيجةً لإنهيار السدين الترابيين (سد البلاد وأبو منصور) في مدينة درنة – ليبيا في سبتمبر من عام 2023 ليس ببعيد، الأمر الذي نتج عن هذه الكارثة اختفاء نحو 30% من مدينة درنة وضحايا بأعداد بلغت نحو 20 ألف نسمة، جراء تشكل موجة فيضان انهيار السد بكمية مياه لم تتجاوز 50 مليون متر مكعب كنتيجة للفشل الهيكلي للسدود، وغياب الصيانة الدورية، والتغيرات المناخية الحادة (أسامة علي، 2023). تعكس هذه الحادثة، الحاجة الملحّة إلى تطوير استراتيجيات متقدمة لإدارة مخاطر الفيضانات، وتعزيز القدرة على التنبؤ بها من خلال توظيف تقنيات حديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، إلى جانب استخدام نماذج محاكاة الفيضانات مثل برنامج (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System , HEC- RAS) لتحليل تدفق المياه وتقييم المخاطر بشكل أكثر دقة (أسامة علي، 2023؛ الغريري، 2024).

انطلاقًا من هذه الحاجة، فإن هذه الدراسة تهدف إلى إعداد خرائط تفصيلية لمخاطر الفيضانات على طول مسار وادي المجينين في ليبيا، وذلك من خلال الاستفادة من تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر. كما تسعى الدراسة إلى تحليل العوامل الجيومورفولوجية والهيدرولوجية التي تؤثر على شدة الفيضانات من جهة، وإمكانية توظيفها في التخفيف من حدة وحجم الكارثة عند حدوثها من جهة أخرى. كذلك، اختبار إمكانية توظيف برنامج HEC-RAS لمحاكاة الفيضانات وتقييم مدى تأثيرها على المناطق السكنية والزراعية للحد من مخاطر إنهيار السد في حال حدوثه. ويُتوقع أن تسهم هذه الدراسة في توفير قاعدة بيانات دقيقة تساعد في تحسين استراتيجيات إدارة الأحواض المائية، وتعزيز القدرة على التكيف مع الفيضانات المفاجئة، مما يسهم في حماية الأرواح والممتلكات وتقليل المخاطر البيئية والاقتصادية المرتبطة بهذه الظاهرة، وحماية العاصمة طرابلس والمناطق المحاذية لمجرى الوادي من خطر محتمل يتهددها.

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 (″51 ′14 °13 و″09 ′15 °13) شرقاً، ودائرتي عرض (″14 ′17 °32 و″01 ′18 °32) شمالاً، كما موضح بالشكل (1). حيث يبعد السد نحو 75 كيلومترًا 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 الى البحر بنحو (83) كيلومتر (حدد باستخدام برنامجArc map).

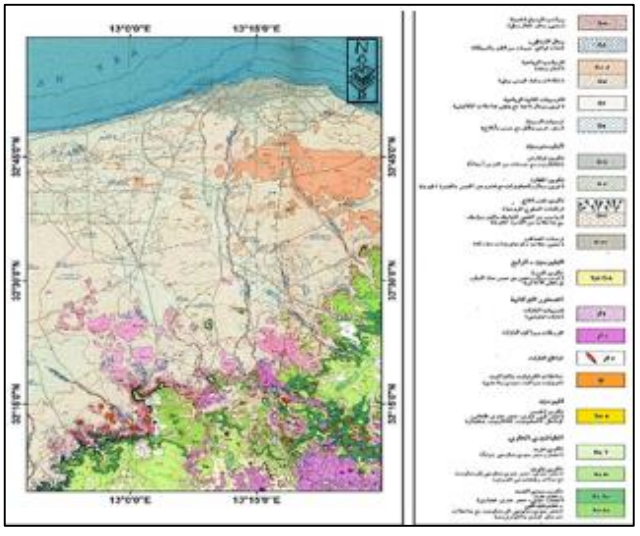
يبلغ أعلى ارتفاع للمنطقة عند السد 315 متراً، في حين يصل أقل ارتفاع عند البحر باتجاه الشمال إلى نحو 17 مترًا. وتتميز المنطقة بمتوسط هطول أمطار سنوي 250 ملم، على بُعد ستة كيلومترات جنوبي موقع السد، تلتقي أربعة روافد رئيسية تغذّي الوادي، وهي: وادي الحمام، ووادي الحاسي، ووادي بئر الوعر، ووادي قذاف الدم،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

خرساني على منخفضين في الاتجاه الشمالي والاتجاه الشرقي بالنسبة للسد الرئيسي. وقد كان وادي المجينين 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 الاغراض الزراعية (الادارة العامة للسدود ومياه الوديان، 1978).

الشكل (1): الموقع العام لمنطقة الدراسة.

جيولوجية وجيومورفولوجية منطقة الدراسة

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



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

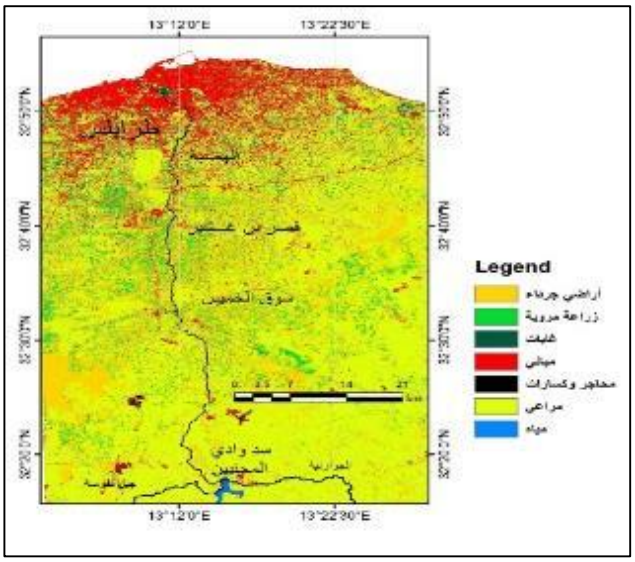
أما الجزء الأوسط من المنطقة، فتسود تكوينات الجفارة، التي تتألف من غطاءات رملية، وغرين، وكنجلوميرات، بالإضافة إلى وجود قشور من الجبس والقشرة الجيرية. في الجزء الجنوبي، تبرز تكوينات قصر الحاج التي تعود إلى عصر الهولوسين، وهي تكوينات جيولوجية تتمثل برواسب من الحصى المتماسك وغير المتماسك، مع تداخلات من القشرة الجيرية، فضلًا عن وجود كثبان 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 والكوراتزيت، والتي تتميّز بنفاذية عالية. أما قاع وادي المجينين، فيغطيه تكوين أبو شيبة العائد إلى العصر الثلاثي العلوي، ويتكوَّن 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 المجينين 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 وتدريجي 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 مغطي بالرواسب الحديثة المتمثلة في الرواسب المائية والريحية المكونة للعديد من الكثبان الرملية.

استعمالات وتصنيف الاراضي في المنطقة

يوضح الشكل (3) خارطة الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة. تنتشر في المناطق شمالي السد المراعي الطبيعة 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 امسيحل وقصر بن غشير وباتجاه مدينة طرابلس شمالاً. كما تسود الانشاءات العمرانية وشبكات الطرق على نحو مكثف في مدينة طرابلس وحدودها الجنوبية. ولقد أشار (الحداد و الزردومي، 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 إنحدار 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 انهيار السد.

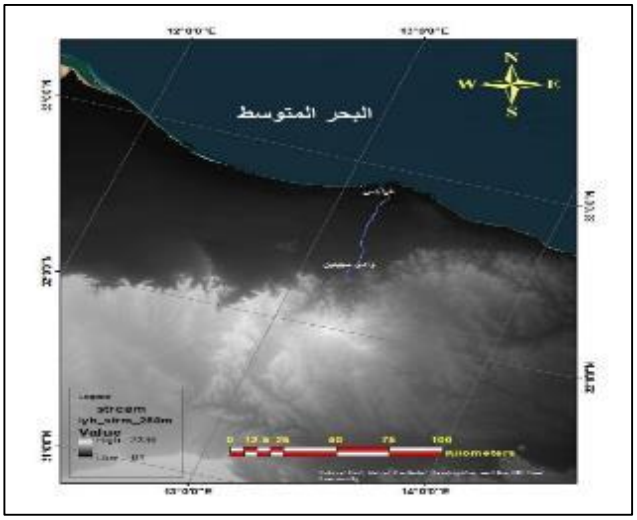


الشكل (3). الغطاء الأرضي لمنطقة الدراسة.

(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 الإرتفاع الرقمي للمنطقة DEM-30m (SRTM)، بيانات جغرافية وجيومورفولوجية وجيولوجية المنطقة)، بالإضافة إلى ملف المرجع الجيوديسي UTM Referrence – 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 انهيار سد وادي المجينين، والنتائج الكارثية التي يمكن ان تتمخض عن ذلك. تجدر الإشارة هنا إلى أن هذا التطبيق يمثل نموذجاً هيدروديناميكياً يُستَخدَم على نطاقٍ واسعٍ في هيدروليكا الأنهار، بالإضافة إلى تحليل صدوع السدود، ويمثل أحد الادوات التي طورها فيلق المهندسون بالجيش الامريكي (USACE 2010; USACE 2014). فيما تم استخدام برنامجArc GIS كتطبيق داعم ومكمل للعمل بوجود التطبيق الرئيس HEC-RAS.

مرحلة الإعداد والمحاكاة

تجهيز نموذج الارتفاعات الرقمي ببرنامج Arc GIS

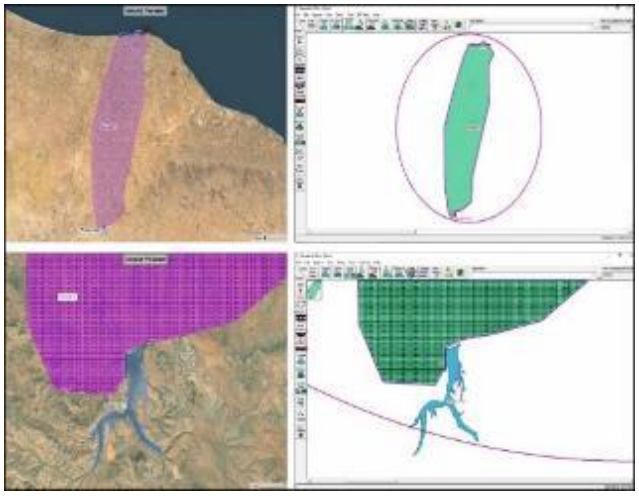
يتطلب عمل الحسابات النموذجية في مناطق التدفق ثنائية الأبعاد إنشاء نموذج التضاريس للمنطقة في RAS Mapper، الأمر الذي يتطلب مبدئياً تثبيت ملف (– Referrence WGS 84 – 13N)، ومن ثم يتم تحويل نموذج DEM ذي الدقة 30 مترًا إلى شبكة مثلثية غير منتظمة. عموماً فقد تم تمثيل منطقة الجريان ثنائي الأبعاد لبحيرة سد وادي 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 الإرتفاعات الرقمي ببرنامج 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 انهيار السد.

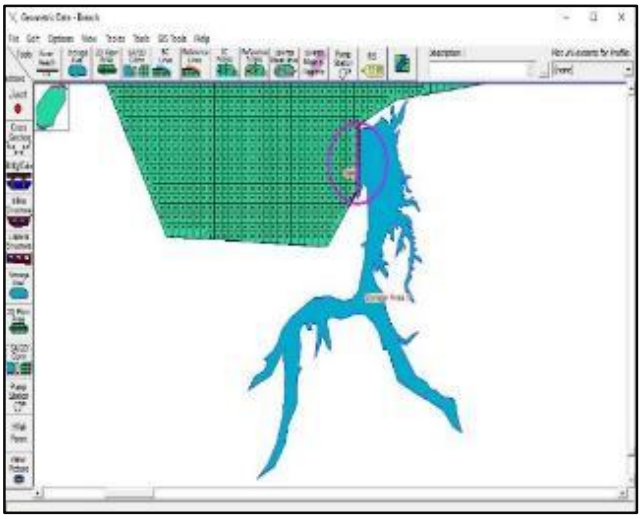
النمذجة والمحاكاة باستخدام تطبيق HEC-RAS

بعد تجهيز البيانات المختلفة وتهيئتها 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 ستتعرض لموجة فيضان انهيار وفشل السد (Perimeters Area) باستخدام اداة (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)

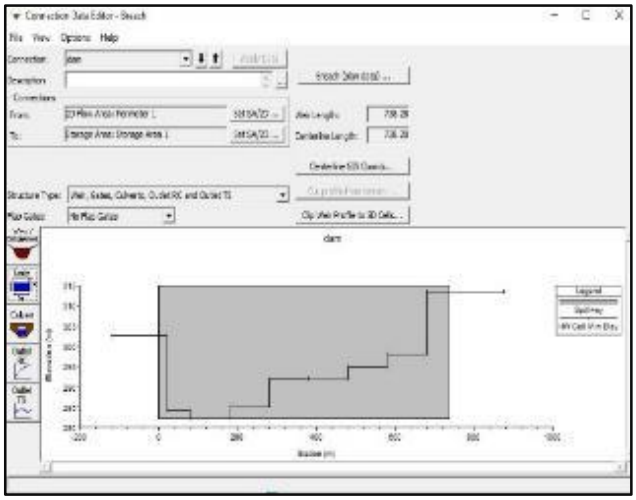
تم العمل على معالجة حالة عدم الاتصال في المخطط بين جسم البحيرة (Storage Area) من جهة، ومجرى قناة وادي مجنيين الممتد من مقدمة السد وحتى مصبه في البحر المتوسط شمالي مدينة طرابلس (Parameters)، كما موضح في الشكل (6).



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 المجينين باستخدام برنامج HEC-RAS، مع الأخذ بعين الاعتبار معامل خشونة السطح والتوزيع الجانبي لموجة فيضان انهيار السد على طول مجرى وادي المجينين. حيث تم تحديد العرض العلوي للخرق بحوالي 80 – 100 م، كما موضح في الشكل (7).

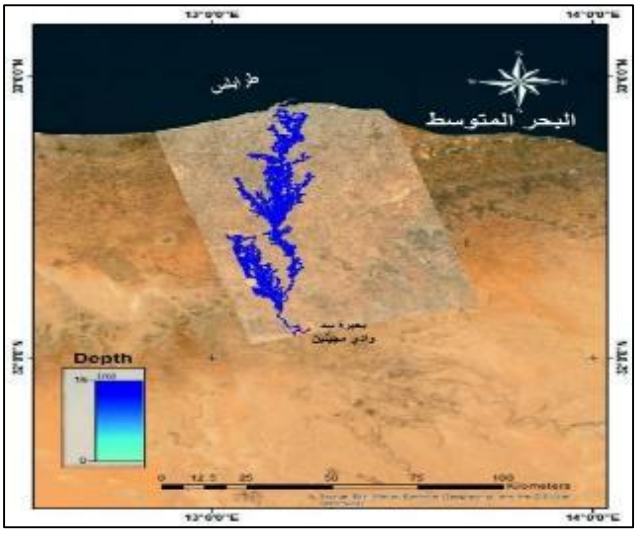


الشكل (7). تفاصيل الفشل والانهيار في سد وادي مجنين حسب سيناريو انهيار السد كنتيجة لأسباب طبيعية او بشرية.

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 ولمسافةٍ تُقدَّر بنحو 80 كم نتيجة لفرضية انهيار سد وادي المجينين. فيما يلي يتم عرض نتائج المحاكاة لهذه الدراسة: من خلال الخرائط 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 مبيَّن في الأشكال (8، 9، 10)، على التوالي.



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

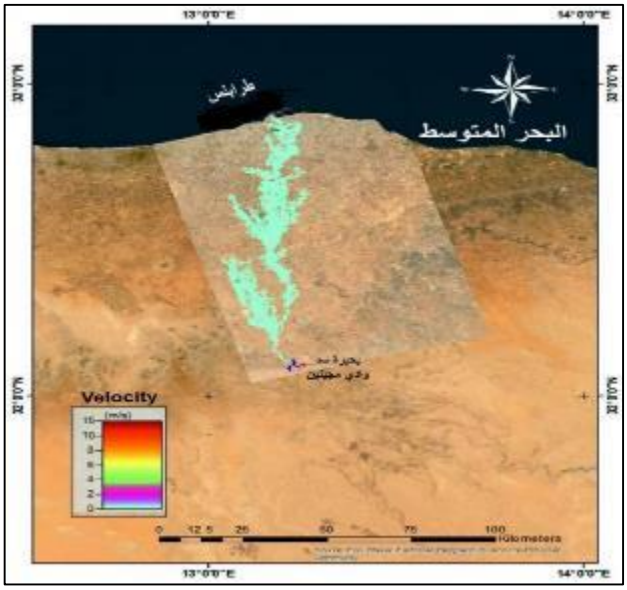
إن أعماق موجة الفيضان (عمق الغمر) ستختلف زمانياً ومكانياً خلال تحركها المستمر. وتكمن الأهمية هنا في زمن وصول موجة الفيضان إلى طرابلس حيث الكثافة السكانية الأكبر في البلاد. فعلى سبيل المثال تصل موجة الفيضان مطار طرابلس الدولي ومنطقة قصر بن غشير، بعد نحو 23 ساعة فقط، من انهيار السد، فيما ستغمر تلك المنطقة بالكامل تقريبا 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 ببرنامج 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 زيد 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

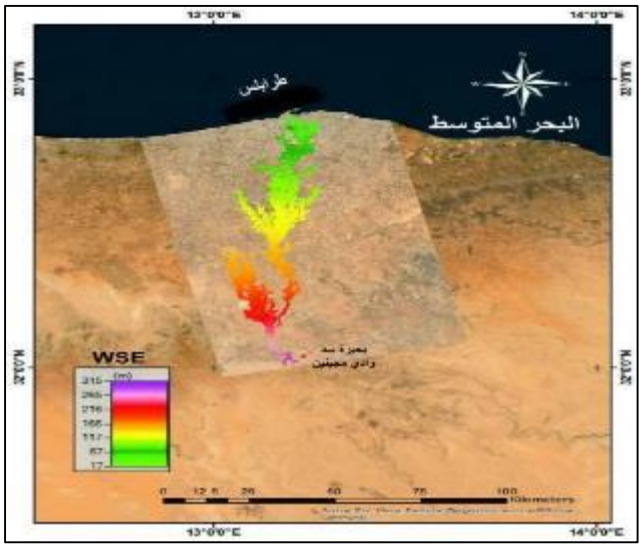
مسجد البيت العتيق	40	7.6 – 6.5	51.1 – 0.04	67.54
الطريق الدائري الثالث – منطقة صلاح الدين	49	7.5 – 5.3	64.0 – 0.03	56.17
طريق الهضبة – جامع أبو ذر الغفاري	56	5.1 – 4.9	76.0 – 0.01	52.92
الطريق الدائري الاول (غابة النصر)	64	9.4 – 4.8	26.1 – 0.02	50.93
شارع الجمهورية	76	6.4 – 4.1	91.0 – 0.01	51.65
شارع 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 ستتباين أعماق الغمر مع اتجاه موجة الفيضان صوب الأحياء الشمالية من طرابلس، إذ ستصل الموجة الى خط الساحل بعد مرور أكثر من 95 ساعة على إنهيار 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 والمنشئات 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 اسباب طبيعية أو بشرية.

أما بالنسبة لارتفاع مستوى سطح موجة الفيضان عن مستوى سطح البحر فإنه سيتأثر بطبيعة الحال بالمستوى العام للسطح نفسه، بالإضافة إلى ارتفاع عمق موجة الفيضان (الغمر)، كما هو موضح في الشكل (10)، والجدول (1).



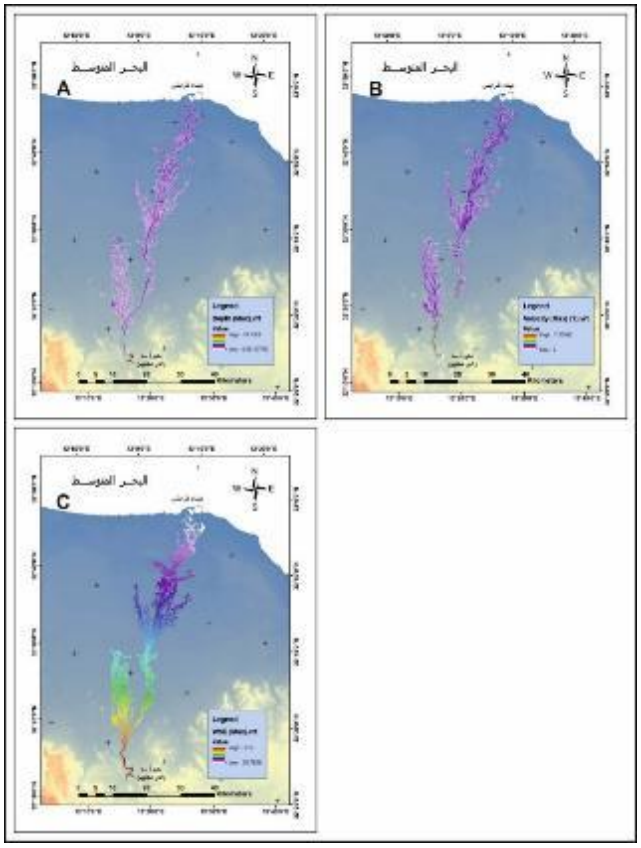
الشكل (10). ارتفاع مستوى سطح الماء لموجة الفيضان عن مستوى سطح البحر (WSE) في حال انهيار السد.

إن نتائج سيناريو المحاكاة والنمذجة الذي يوفره تطبيق HEC-RAS يعطي نتائج عالية الدقة تبلغ نحو 91%، وهو ما أثبتته دراساتٌ سابقة أجريت باستخدام HEC-RAS لإنتاج محاكاةٍ لفيضاناتٍ حصلت فعلاً في وقتٍ سابق، واثبتت نتائجه دقتها العالية (Romali, Yusop & Ismail, 2018; Al-Gurairy et al., 2024).

ووفقاً للمحاكاة الحالية المتعلقة بانهيار سد وادي المجينين وما بينته من نتائج تمثل بدورها معلومات مهمة جداً، والمتعلقة بسيناريو الانهيار للسد وتشكُّل موجة فيضان مفاجئة، لاسيما ما يتعلق منه بالبيانات التي تم الحصول عليها من جهة، وما يترتب عليها من كشفٍ واضح لكوارث خطيرة يمكن حدوثها وإمكانية وضع الحلول الملائمة لمواجهتها من جهةٍ ثانية. لذلك، فهي تشكل معلومات ذات أهمية كبيرة جدا 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

تُمثّل 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 ثمَّ تنصيبه 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).

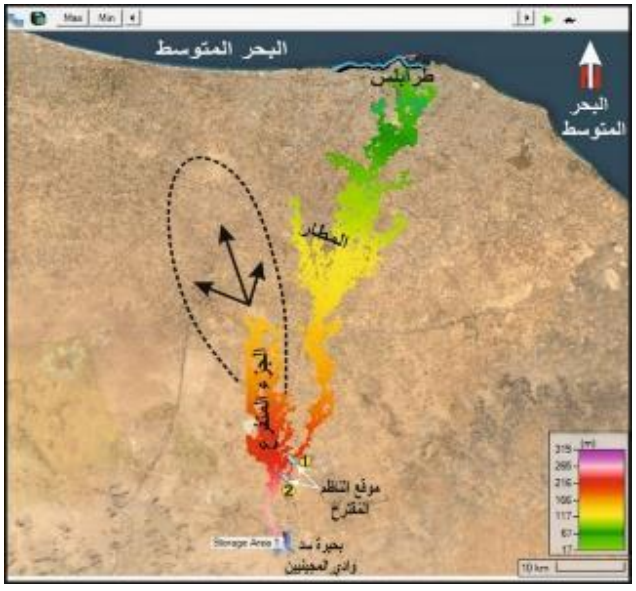


الشكل (11). المحاكاة المنتجة من HEC-RAS بعد معالجتها في بيئة تطبيق Arc GIS.

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 مراحله 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 ومستقبلا 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 فممثلاً بالفرع الرئيس لوادي المجينين والذي يتجه شمالاً مخترقاً طرابلس وحتى مصبه عند ساحل البحر المتوسط، والفرع الثانوي منه الذي يتجه نحو الشمال الغربي وينتهي جنوب المطار بنحو اكثر من 10 كم. نتج هذا التفرُّع الطبيعي لمجرى وادي المجينين 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 فرعٍ 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 انهيارها لأسباب طبيعية في معظم الأحيان، عدا تلك الخطيرة منها مثل عمليات التنشيط التكتوني وما ينتج عنها.



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

الخلاصة

ركزت هذه الدراسة على موضوع سيناريو احتمالية انهيار سد وادي المجينين جرَّاء اهمال بشري أو لأسباب طبيعية مثل العواصف المطرية المفاجئة (كإعصار دانيال) أو كنتيجة لنشاط تكتوني عنيف (هزة ارضية)، لاسيما وإن انهيار أي سد نتيجة هزة ارضية 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 الاخذ بعين الاعتبار كميات المياه المخزنة لبحيرة سد وادي المجينين 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

الواقعة على مجرى وادي المجينين والممتدة على طول مجراه 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 بموجة 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)، وان غرق المطار بصورة شبه كاملة سيستغرق نحو 40 ساعة فقط من بداية سيناريو هذه الكارثة. فيما ستتباطئ حركة موجة الفيضان شمالي المطار نتيجة لوجود العوائق الكونكريتية للأبنية السكنية والمنشئات المختلفة. وستستغرق نحو 3 أيام لإغراق ثلث أحياء ومناطق العاصمة طرابلس، خصوصاً التي تقع عن يمين ويسار مجرى الوادي. إنَّ الحصول على خرائط مخاطر الفيضان هذه باستخدام ببرنامج HEC-RAS، يُتيح لسلطات اتخاذ القرار، العمل على اتخاذ الخطوات المهمة والضرورية لمواجهة خطر محتمل من جهة. والعمل على إنشاء مرافق حيوية مكملة للسد مثل النواظم المقترح أماكنها 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

الادارة العامة للسدود ومياه الوديان، 1978، كتيب عن سد وادي المجينين، 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 الالكتروني للمجلة: https://www.alaraby.co.uk/society.

الحداد، عبد العاطي أحمد محمد والزردمي، ريم علي محمود. 2024. تحديد وتقييم المناطق المعرضة لخطر الفيضانات بحوض وادي المجينين بشمالي 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

خماج، أحمد إبراهيم والمنتصر، جمعة المحظي. 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 Conference). [G.S]. http://dx.doi.org/10.1108/WJE-10-2022-0405

Al-Gurairy, A. S. Y., & Al-Shammary, 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-Shammary, 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

CRED, "2022 Disaster in Numbers," 2023, [Online]. Available: 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

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. Opera tions 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

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/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf

USACE (2014) Using HEC-RAS for dam break studies. TD-39. U.S. Army Coprs of Engineers, Hydrologic Engineering Center. http://www.hec.usace.army.mil/publications/TrainingDocuments/TD-39.pdf

Singh, S. K., Kanga, S., Đurin, B., Kranjčić, N., Chaurasia, R., & Markovinović, D. (2021). Flood risk modelling using HEC-RAS and geospatial techniques. E-ZBORNIK 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