

النتبؤ بمعاملات الخرق والانهييار الافتراضي لسد وادي القطار الرئيسي - بنغازي.

ا.م. لبنى سليمان خليفة بن طاهر

استاذ مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بنغازي، ليبيا.

Lubnabentaher@gmail.com, lubna.bentaher@uob.edu.ly

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى حساب معاملات الخرق والتدفق الأقصى الناتج من انهيار سد وادي القطار الرئيسي افتراضيا باقتراح نهجين للانهييار، وهما الانقلاب والتسرب بجسم السد؛ بناء على النتائج المتحصل عليها، نجد ان أقصى شدة هطول مطري لعاصفة تتكرر كل 1000 عام بالحوض خلف السد مقدارها 790.6mm، مسببة جريان سطحي بحجم 500Mm^3 بزم من ذروة 17.77hr؛ أشد حالات انهيار سد وادي القطار الرئيسي، هي انقلابه نتيجة تجمع الماء خلفه بمنسوب 236.2m، مخلفاً تدفق بمقدار $48.66 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ مُستغرقاً زمن 3.6hr للانهييار، وثاني أخطر نهج للانهييار، هو نتيجة تسرب المياه بجسم السد بمنسوب 234.3m، مخلفاً أقصى تدفق $29.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ بزم من 3.52hr، بكلى الافتراضين سينتج موجة فيضان بارتفاع من 34 إلى 36 متر لتتجه مباشرة نحو السد الثانوي وستعمل على تدميره ومن ثم غمر الجزء الغربي لمدينة بنغازي بارتفاع للمياه قد يصل إلى 3 أمتار، مما سيخلف الكثير من الدمار والخسائر لسكان تلك المناطق؛ بنهاية هذه الدراسة نوصي بإجراء دراسات لكافة احتمالات انهيار السدود في ليبيا باستخدام التقنيات الحديثة، مع وضع خطة متكاملة لحالات الطوارئ، ووضع أجهزة قياس التدفق والمنسوب على المجاري المائية التي تتضمن سدود؛ إعادة تخطيط المنطقة التي تقع ضمن حدود حوض وادي القطار، ووضع خطة متكاملة لإبلاغ السكان بالإخلاء عند حدوث انهيار بالسد بالسرعة القصوى وتحديد مسار ووجهة الإخلاء للسكان.

الكلمات المفتاحية: معاملات الخرق بالسدود الترابية، أقصى تدفق انهيار، سد وادي القطار.

Prediction of Breach Parameters for Wadie Al-Qatara Dam – Benghazi.

Lubna S. Bentaher

Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of
Benghazi, Libya.

Email: Lubnabentaher@gmail.com, lubna.bentaher@uob.edu.ly

Abstract:

This study aims to calculate the breach parameters and the maximum flow resulting from the hypothetical collapse of the Wadie Al-Qatara Dam, using two collapse approaches: overturning and seepage through the dam body. Based on the obtained results, the maximum rainfall intensity for a storm recurring every 1000 years in the watershed behind the dam is found to be 790.6 mm, causing surface runoff of 500 Bm³, with a peak time of 17.77 hr. The most severe scenarios for the collapse of the Wadie Al-Qatara Dam include overturning due to water accumulation behind it at a level of 236.2 m, resulting in a flow of 48.6x10³m³/sec and taking 3.6 hr, for the collapse. The second most dangerous collapse approach from the seepage through the dam body at water level of 234.3m, causing a maximum flow of 29.6x10³ m³/sec over a time of 3.52 hr. In both scenarios, a flood wave with a height ranging from 34 to 36 m, will be generated, heading directly towards the secondary dam and causing its destruction. Subsequently, the western part of Benghazi city will be submerged with water rising up to 3 m, leading to significant destruction and losses for the residents of those areas. In conclusion, recommend conducting studies for all possible dam collapse scenarios in Libya using modern technologies, developing a comprehensive emergency plan, installing flow and level measurement devices on watercourses, including dams, and rearranging the area within the boundaries of the Wadie Al- watershed. Additionally, a comprehensive evacuation plan should be developed to inform residents promptly in the event of a dam collapse, specifying evacuation routes and destinations.

Keywords: Earth fill dam breach parameters, Maximum out flow Failure, Wadie Al-Qatara Dam.

1. المقدمة

تعتبر السدود من أقدم الوسائل التي تستخدم للتحكم والتعامل مع المجاري المائية الطبيعية، إما بهدف تنظيمها وإدارتها، أو لدرء خطر الفيضانات والسيول؛ وتتقسم السدود اعتماداً على نوع المادة المكونة للسد، منها السدود الترابية أو الركامية، حيث تتميز السدود الترابية بانخفاض تكلفة بنائها، وإنشاءها لا يتطلب عمل أساسات ضخمة، هذا ما يجعلها عرضة للتصدع أو الانهيار؛ للحد من الضرر في الممتلكات والأرواح نتيجة انهيار السدود الترابية، لابد من تطوير خطط عمل فعالة للطوارئ وتصميم أنظمة الإنذار المبكر لتقليل عواقب أخطار الفشل تلك السدود.

أحد أهم وأكبر الأودية والأحواض التي يقع مصبها بمدينة بنغازي، هو حوض وادي القطارة بمرتفعات الجبل الأخضر ويمتد إلى منطقة قاريونس بالمدينة، حيث تبلغ مساحته 1648.99km^2 بطول المجرى الرئيسي 134.876km [1]؛ حوض وادي القطارة تجري به المياه بشكل مؤقت نتيجة تساقط الأمطار خلال فترات قصيرة فينتج عنها جريان سطحي وغالبا ما يتحول إلى سيول، حيث شهد وادي القطارة أحداث فيضانات خطيرة وصلت للمناطق السكنية بمدينة بنغازي مسببة أضرار جسيمة بها، لذلك جاءت فكرة إنشاء السدين على مجرى الوادي بعام 1972، فموقع السد الرئيسي بمنطقة سيدي بوسدر، والثانوي عند موقع بئر بوليات [2]، وهي خطوة نحو الاستعادة من تلك الفيضانات كونها مصدر متاح للمياه السطحية لتغذية للمياه الجوفية وللتخفيف من أثارها على المدينة؛ الجدير بالذكر إن الفيضانات ترتبط بخصائص العواصف وخصائص حوض التصريف المائي، والتي تساعد على استنباط ودراسة الخصائص الهيدرولوجية للفيضانات، والتي يمكن تعيينها من خلال مصادر البيانات مثل الخرائط الطبوغرافية، والصور الجوية والبيانات الفضائية.

2. مشكلة الدراسة

سد وادي القطارة الرئيسي هو أحد المشاريع الاستراتيجية المهمة في دولة ليبيا، فإن أي خلل أو فشل قد يحدث في السد، ستكون له آثار كارثية على السكان الذين يعيشون في اتجاه مجرى الوادي؛ فمن المهم والإلزامي التنبؤ بمعاملات التشكل والخرق بجسم السد،

والفيضانات التي ستحدث في حال انهياره، والنظر في حجم تخزين ومستوى المياه خلفه، والوقت المستغرق لانتهائه.

3. أهمية الدراسة

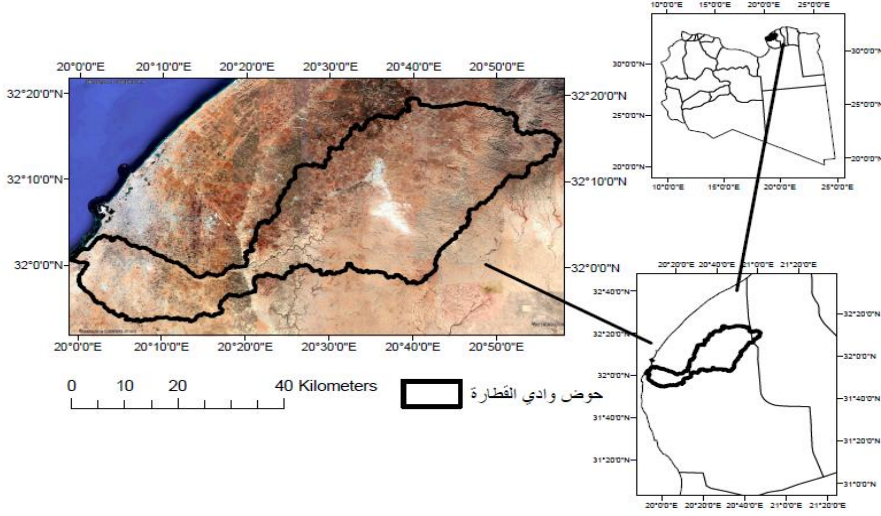
تكمن أهمية هذه الدراسة في موقع سد وادي القطارة وتأثيره على الجزء الغربي من مدينة بنغازي، فمن خلال هذه الدراسة يتم تحديد أوجه الطرق الفعالة لحماية المدينة من الفيضانات في حال انهيار السد، وذلك من خلال دراسة أسباب حدوث انهياره، بإنشاء عدة فرضيات للانتهار بشكل يمكن متخذي القرار من وضع خطط مدروسة في حال حدوث الانهيار وذلك لتفادي الخسائر البشرية والمادية.

4. اهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد حوض بحيرة سد وادي القطارة الرئيسي واستخلاص خصائصه المساحية والتضاريسية والهيدرولوجية باستخدام نموذج الهيئة الامريكية لحماية الأراضي (SCS)، وذلك بضبط ومعالجة الصور الفضائية لمنطقة حوض سد وادي القطارة الرئيسي من برنامج (Google Earth) ونماذج الارتفاعات الرقمية (DEM)، باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS10.5)، و تحديد كميات الخزن خلف السد حسب مناسيب للمياه تحدد لذلك، بالإضافة إلى حساب معاملات الخرق والتدفق الأقصى الناتج من انهيار السد افتراضيا باقتراح نهجين للانتهار، الانقلاب والتسرب بجسم السد.

5. موقع منطقة الدراسة

سد وادي قطارة الرئيسي، يقع على بعد 33 كيلومتر شرق مدينة بنغازي (شكل1)، بأقصى ارتفاع 36.0 m بمنسوب 236.0m وعرضه عند القاعدة 305m، وعرض قمته 6m، ويبلغ انحدار السد عند المنبع (1:3)، أما عند المصب (1:2.5)، وأقصى منسوب لتفريغ الفيضان من السد هو 234.4m، والسعة التخزينية الآمنة للسد تبلغ 135Mm^3 والسعة القصوى 237Mm^3 ؛ جسم السد عبارة عن ردم ترابي متجانس يشتمل تصميمه على شبكة صرف داخلية في الجزء السفلي منه متصل مع مدخنة التصريف عند قاعدته (شكل2)[3].



شكل 1. موقع حوض وادي القطارة والسد الرئيسي والثانوي (من إعداد الباحثة).



شكل 2. صور للسد الرئيسي لوادي القطارة.

6. منهجية وبيانات الدراسة

بهذه الدراسة تم الاعتماد على المنهج التحليلي لاحتساب الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض بحيرة سد وادي القطارة الرئيسي باستخدام تقنيات نظم المعلومات

الجغرافية والاستشعار عن بعد؛ بالإضافة إلى تحديد معاملات الانهيار والخرق للسد اعتمادا على المعادلات الوضعية، ولإتمام الدراسة لابد من اتباع المنهجية التالية:

1. الخصائص المساحية والتضاريسية لحوض التصريف الطبيعي:

التحليل المورفمتري هو تحديد الخصائص الحوضية القياسية التي تنتج عن أخذ قياسات معينة للأحواض المائية (المساحة والمحيط والطول والعرض للحوض)، ولكي تتم عملية التحليل المورفومتري لحوض بحيرة السد الرئيسي بوادي القطارة، لابد من إجراء التحليل الهيدرولوجي لنموذج الارتفاع الرقمي لمنطقة الحوض باستخدام برنامج ArcGIS 10.5، وكذلك تحديد أقل وأعلى ومتوسط منسوب الأرض الطبيعية داخل حدود الحوض.

2. الخصائص الهيدرولوجية لحوض التصريف باستخدام نموذج الهيئة الامريكية لحماية الأراضي (SCS)

تم بهذه الدراسة الاعتماد على نموذج (SCS)، لحساب الخصائص الهيدرولوجية للحوض خلف السد الرئيسي لوادي القطارة كما هو معروض بالجدول (1)، الذي يعتبر من أكثر النماذج المستخدمة في تقدير الجريان السطحي بالأحواض المائية التي لا تتوفر بها محطات قياس على غرار حوض وادي القطارة.

جدول 1. الخصائص الهيدرولوجية لحوض التصريف بناء على نموذج (SCS).

رقم معادلة	المعامل	صيغة المعادلة	تعريف الرموز
1	زمن التركيز معادلة جاتون [1].	$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$	A = مساحة الحوض km ² . TC = زمن التركيز hr. L = طول مجرى الحوض km. H = الفرق بين متوسط و أقل منسوب بالحوض m.
2	زمن التباطؤ [4].	$T_L = 0.6T_c$	TL = زمن التباطؤ hr. TC = زمن التركيز hr.
3	مدة فائض المطر [4].	$T_r = 0.133T_c$	TC = زمن التركيز hr. Tr = مدة فائض المطر hr.
4	زمن الذروة [4].	$T_p = \frac{T_r}{2} + T_L$	TP = زمن الذروة hr. Tr = مدة فائض المطر hr. TL = زمن التباطؤ hr.
5	الجريان السطحي (معادلة بركلي) [1].	$R = (CIS)^{0.5} \left(\frac{W}{L}\right)^{0.45}$ $I = \left(\frac{RF}{1000}\right) \times \frac{(A + 1000000)}{1000000000}$	A = مساحة الحوض km ² . R = كمية الجريان السطحي ملبار m ³ . L = طول مجرى الحوض km. S = متوسط انحدار المجرى km/m. I = كمية الأمطار السنوية ملبار m ³ . C = معامل الجريان السطحي = 0.15 للمناطق الجافة و الشبة جافة. W = عرض الحوض km. RF = مجموع الأمطار الشهري بالسنة mm. QRP = أقصى تدفق للجريان السطحي m ³ /sec.
6	أقصى تدفق للجريان السطحي [4].	$QR_p = \frac{0.208AR}{T_p}$	A = مساحة الحوض km ² . TP = زمن الذروة hr. R = الجريان السطحي mm.

3. التحليل التكراري الاحتمالي لبيانات هطول الأمطار

لعدم توفر قياسات فعلية عن السيول التي حدثت في حوض وادي القطارة، تم اعتماد أقصى متوسط للمجموع الشهري بالسنة، لبيانات هطول الأمطار للفترة من 1981 إلى 2022م كعاصفة مطيرة تجتاح الحوض كل 1000 عام، وذلك بواسطة اعداد التحليل التكراري الاحصائي لتلك البيانات، ليتبين من نتائج فحص مربع كاي، أن توزيع المجموع الشهري بالسنة للأمطار لمنطقة الدراسة يتناسب مع التوزيع الاحتمالي التكراري بنوع القيم القصوى نوع (I Extreme Value Type) وذلك وفق المعادلات التالية [5]:

$$RF_T = RF_{ave.} + (S_d \times K_T) \quad (7)$$

$$K_T = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (8)$$

حيث:

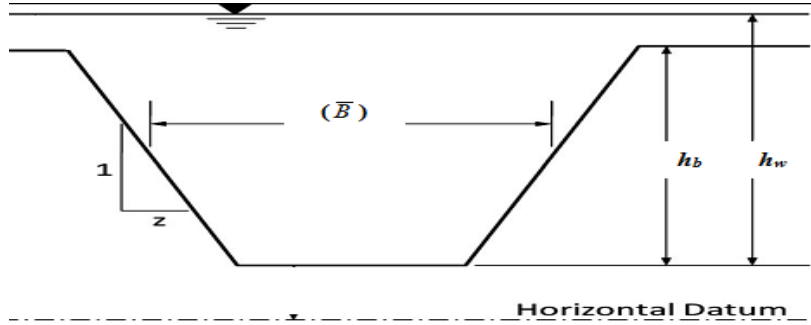
$RF_{ave.}$ = متوسط كمية الأمطار.
 RF_T = كمية الأمطار المناسبة لفترة الرجوع.
 S_d = الانحراف المعياري لكمية الأمطار.
 K_T = معامل التكرار حسب التوزيع التكراري الاحصائي المختار والمناسب.
 T = فترة الرجوع لقيم الأمطار بالسنة.

4. التنبؤ بمعاملات الخرق والانهيال وحجم وأقصى تدفق للفيضان بالسدود الترابية

يعد التنبؤ بمعاملات الاختراق بجسم السدود الترابية أمراً ضرورياً لإجراء تقديرات مخاطر الفيضانات الناتجة عن ذلك، حيث تم وضع صيغ تجريبية لحساب خصائص الاختراق من قبل عدة بحاث، بناء على أكثر من 300 حادثة من حوادث انهيار السدود في جميع أنحاء العالم، حيث اعتمدت تلك المعادلات على ارتفاع الماء خلف السد، وحجم تخزين السد وعرض الخرق بجسم السد، حيث عرض جدول(2) وجدول(3) المعادلات الوضعية التي استخدمت بالدراسة[6]؛ تعرف معاملات الخرق بجسم السد الترابي كما يلي(شكل3)[6]:

- ارتفاع الخرق (h_b): هو المدى الرأسى للخرق، ويقاس من قمة السد إلى قاعدة الخرق.
- ارتفاع الماء (h_w): هو ارتفاع الماء خلف السد ويقاس إلى قاعدة الخرق.
- متوسط عرض الخرق (B_{ave}): هو متوسط عرض الخرق بجسم السد.

- زمن تشكل الثغرة بجسم السد (t_f): هي المدة الزمنية من بداية تشكل الانهيار حتى يصل إلى الوجه الأمامي للسد في حالة الانهيار الانقلاب Overtopping، أما في حالة نوع الانهيار التسرب أو الرشح piping من لحظة انتقال كمية من مواد السد عبر قنوات التسرب ضمن جسم السد إلى أن تتشكل فتحة الانهيار.
- ميل جوانب شكل الخرق (1:Z): هو جيب تمام الزاوية ميل الارتفاع الخرق عن قاعدته.



شكل 3. تعريف لمعاملات الخرق بالسد الترابي [6].

جدول 2. المعادلات الرياضية للطرق التجريبية (Empirical Methods) لحساب معاملات الخرق بالسدود الترابية المستخدمة بالدراسة.

تم استلام الورقة بتاريخ: 2023/12/9 م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 2024/1/15 م

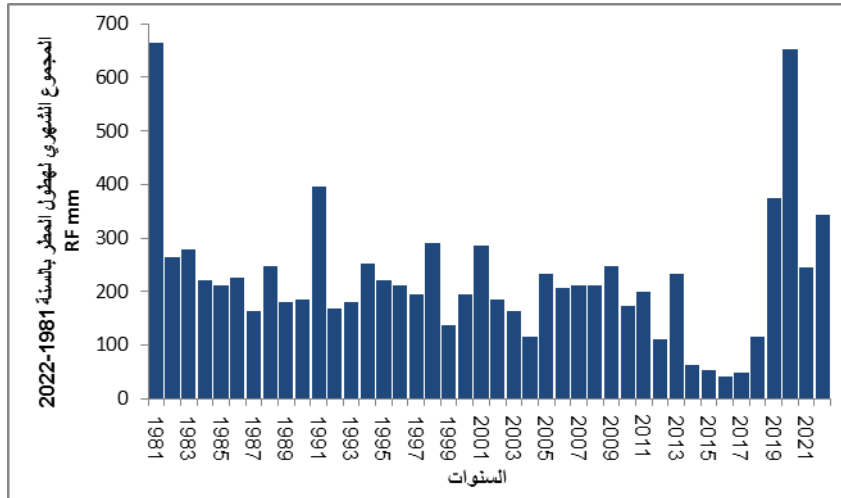
رقم معادلة	المرجع	صيغة المعادلة	تعريف الرموز
9	MacDonald and Langridge – Monopolis (1984)[7].	$V_{er} = 0.0261(V_w h_w)^{0.769}$ $t_r = 0.017(V_{er})^{0.364}$	<p>h_w = ارتفاع الماء فوق منسوب الخرق لحظة انهيار السد m .</p> <p>V_{er} = حجم مواد الانهيار السد m^3</p>
10	Xu and Zhang (2009)[8]	$\frac{B_{ave}}{h_b} = 5.543 \left(\frac{V_w^{\frac{1}{3}}}{h_w} \right)^{0.739} e^C, C = c_4 + c_5$ $t_r = b_5 \left(\frac{h_d}{h_r} \right)^{0.707} \left(\frac{V_w^{\frac{1}{3}}}{h_w} \right)^{1.228}$	<p>V_w = حجم المياه خلف السد لحظة الانهيار m^3.</p> <p>B_{avg} = متوسط عرض الخرق بجسم السد m .</p> <p>h_w = ارتفاع الماء فوق منسوب الخرق لحظة انهيار السد m .</p> <p>t_r = زمن تشكل الخرق بجسم السد hr .</p> <p>$1 = tr$.</p> <p>hd = ارتفاع السد m .</p> <p>b4, (OT= 0.299, P=-0.24) التناكل</p> <p>b5 (HE=0.411, ME=-0.062 LE=-0.289)</p> <p>g = عجلة الجاذبية الأرضية m/s^2.</p> <p>O = انقلاب.</p> <p>S/P = تسرب ونخر.</p> <p>HE = مواد انهيار عالي.</p> <p>ME = مواد انهيار متوسط.</p> <p>LE = مواد انهيار قليلة.</p>
11	Froehlich (2016)[9]	$B_{avg} = 0.23K_0 V_w^{\frac{1}{3}}$ $t_r = 0.0176 \sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}}$	<p>V_w = حجم المياه خلف السد لحظة الانهيار m^3.</p> <p>B_{avg} = متوسط عرض الخرق بجسم السد m .</p> <p>h_w = ارتفاع الماء فوق منسوب الخرق لحظة انهيار السد m .</p> <p>t_r = زمن تشكل الخرق بجسم السد hr .</p> <p>g = عجلة الجاذبية الأرضية m/s^2.</p>

جدول 3. المعادلات الرياضية للطرق التجريبية (Empirical Methods) لحساب أقصى تدفق لانهيار السدود الترابية، المستخدمة بالدراسة.

رقم معادلة	المرجع	صيغة المعادلة	تعريف الرموز
12	Xu and Zhang (2009)[8]	$\frac{Q_p}{\sqrt{gV_w^{\frac{5}{3}}}} = 0.133 \left(\frac{V_w^{\frac{1}{3}}}{h_w} \right)^{-1.276} e^{C_4}$ $C_4 = b_4 + b_5$	<p>b4 = نوع الانهيار (OT= -0.788, P= -1.232)</p> <p>b5 = التناكل (HE=-0.089, ME=-0.498, LE=-1.433)</p> <p>h_w = ارتفاع الماء فوق منسوب الخرق لحظة انهيار السد m .</p> <p>V_w = حجم المياه خلف السد لحظة الانهيار m^3.</p> <p>Q_p = أقصى تدفق لانهيار السد m^3/sec.</p> <p>g = عجلة الجاذبية الأرضية m/s^2.</p> <p>O = انقلاب.</p> <p>S/P = تسرب ونخر.</p> <p>HE = مواد انهيار عالي.</p> <p>ME = مواد انهيار متوسط.</p> <p>LE = مواد انهيار قليلة.</p>
13	Pierce et al. (2010)[10]	$Q_p = 0.038V_w^{0.475} h_w^{1.09}$	<p>V_w = حجم المياه خلف السد لحظة الانهيار m^3.</p> <p>Q_p = أقصى تدفق لانهيار السد m^3/sec.</p> <p>h_w = ارتفاع الماء فوق منسوب الخرق لحظة انهيار السد m .</p>
14	Froehlich (2016)[11]	$Q_p = 0.0175K_0 K_H \sqrt{\frac{gV_w h_w h_d^2}{W_{ave}}}$	<p>V_w = حجم المياه خلف السد لحظة الانهيار m^3.</p> <p>Q_p = أقصى تدفق لانهيار السد m^3/sec.</p> <p>$K_0 = 1.85$ نوع الانهيار انقلاب، $K_0 = 1$ لنوع انهيار نخر وتسرب</p> <p>$K_H = 1$ if $h_b < 6.1$, and $K_H = \left(\frac{h_b}{6.1}\right)^{1/8}$ If $h_b > 6.1$</p> <p>hd = ارتفاع السد m .</p> <p>g = عجلة الجاذبية الأرضية m/s^2.</p> <p>W_{avg} = عرض السد m</p>

5. البيانات المستخدمة بالدراسة

للحصول على مناسيب الأرض الطبيعية بمساحة حوض وادي القطارة، تم الاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS [12]، بنظام الاحداثيات والارجاع الجغرافي الوطني Libyan Geodetic Datum UTM 2006, Zone 34N، بالإضافة إلى صورة عالية الدقة لموقع حوض وادي القطارة والسد الرئيسي المقام على مجراه من برنامج Google Earth 2023، والبيانات عن سد الرئيسي لوادي القطارة، تشمل كل ما يتعلق بالسّد من حجم تخزينه وارتفاعه وعرضه ومناسيب فتحات التصريف به؛ أيضا تم الاستعانة ببيانات تساقط المطر المتوفرة بموقع NOAA NCEI and NOAA NWS، للنطاق الزمني لبيانات المجموع الشهري لتساقط الأمطار من الفترة 1981 إلى 2022 (الشكل 4)، وهي متاحة مجانا تحدد حسب الموقع المراد دراسته، وذلك لعدم وجود محطات لقياس الجريان السطحي أو محطات لقياس البيانات المناخية لموقع الحوض [13].



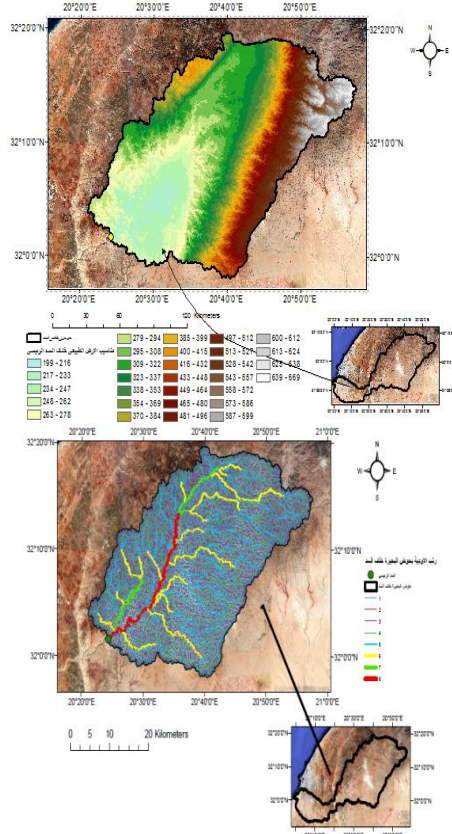
شكل 4. المجموع الشهري بالسنة للأمطار للفترة 1981 إلى 2022 لموقع السد الرئيسي لوادي القطارة [13].

7. نتائج التحليل المورفمري والهيدرولوجي لحوض سد وادي القطارة

تم استنباط الحوض خلف السد الرئيسي لوادي القطارة وشبكة التصريف به وتصنيفها، ومناسيب الأرض الطبيعية (شكل 5)، بناء على نتائج التحليل الهيدرولوجي الرقمي بواسطة برنامج ArcGIS10.5، من ثم قياس خصائصه المساحية التي عرضت بجدول (4).

جدول 4. الخصائص المساحية لحوض سد وادي القطارة بناء على نتائج التحليل الهيدرولوجي ببرنامج ArcGIS10.5.

المعامل	القيمة
A مساحة الحوض km^2	1266.32
P محيط الحوض Km	218.690
L طول المجرى Km	73.36
W عرض الحوض Km	17.26
H_{avr} متوسط منسوب للأرض الطبيعية m	360
H_{max} أعلى منسوب للأرض الطبيعية m	670
H_{min} أقل منسوب للأرض الطبيعية m	200
S متوسط الانحدار درجة	51

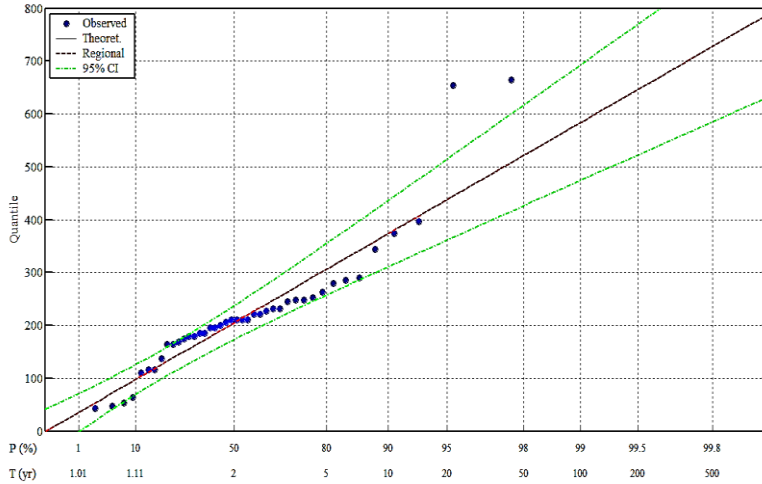


شكل 5. رتب الأودية ، ومناسيب الأرض الطبيعية، لحوض سد وادي القطارة على الترتيب وفق نتائج برنامج ArcGIS10.5.

وفق المخطط التكراري نوع (Extreme Value Type I) لبيانات هطول الأمطار لمنطقة الدراسة (شكل 6)، نجد أن شدة المطر كأقصى عاصفة مطيرة تتكرر كل 1000 عام، هي بمقدار 790.59mm؛ جدول (5) عُرضت به نتائج تطبيق المعادلات الخاصة بالتحليل الهيدرولوجي لحوض سد وادي القطارة وفق نموذج (SCS)، والجدير بالذكر، أن النتائج المتحصل عليها تبقى نظرية، ولكن يمكن الاعتماد عليها في اعطاء انطباع عن ماهية السيول وحجم الجريان السطحي المتوقع تخزينها خلف السد.

جدول 5. الخصائص الهيدرولوجية لحوض السد الرئيسي لوادي القطارة باستخدام نموذج (SCS) حسب المعادلات بجدول (1).

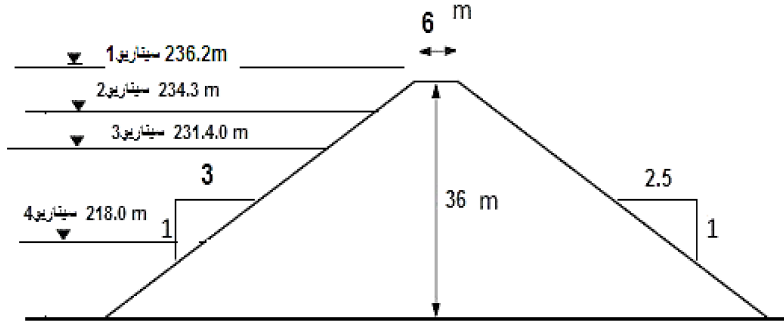
المعامل	الرمز	القيمة	الوحدة
RF = 790.6mm الهطول المطري لفترة رجوع 1000 سنة			
حجم المطر.	I	1.00	مليار m ³ .
حجم الجريان سطحي .	R	0.50	مليار m ³ .
التدفق للجريان السطحي	Q _R	7.42	m ³ /sec
زمن التركيز .	T _c	26.66	hr
زمن التباطؤ.	T _L	16.00	hr
الفترة الزمنية لفائض المطر.	T _r	3.55	hr
زمن الذروة.	T _p	17.77	hr



شكل 6. المنحنى الاحتمالي التكراري للمجموع الشهري بالسنوات لهطول المطر للفترة 1981 حتى 2022 بحوض وادي القطارة (من إعداد الباحثة).

8. نتائج التنبؤ بمعاملات الخرق او الانهيار لسد لوادي القطارة الرئيسي
انهيار السدود ينقسم إلى نوعين، انهيار متوقع، يكون لوجود خلل فني في تصميم أو
انشاء السد، أو الانهيار الغير المتوقع الناتج من أشد الظروف الجوية والهيدرولوجية

- الممكنة لمنطقة السد؛ فبهذه الدراسة تم عمل محاكاة لانهايار سد وادي القطارة الرئيسي افتراضيا بأربع فرضيات بمناسبة للمياه خلف السد (جدول 6)، كما يلي (شكل 7):
- الفرض الاول هو حدوث خرق بجسم السد من قمته، بارتفاع الماء خلف سد وادي القطارة، ليمثل الحد الأقصى للحجم الذي لا يمكن تخزينه (شكل 8-1S)، لتقييم الحدث غير الهيدرولوجي بفرض أن مجاري تصريف السد لم تكن قادرة على تصريف المياه المجمعة، بحيث يحدث الاختراق في اعلاه مسببه انقلابه Overtopping.
 - الفرض الثاني هو حدوث خرق بجسم سد وادي القطارة عند منسوب الماء بأقصى سعة يتحملها (شكل 8-2S)، وهو نموذج فشل أو خرق بفعل الرش أو تسرب Piping.
 - الفرض الثالث بحدوث خرق بجسم سد وادي القطارة، أثناء الظروف الجوية المطيرة بفترة رجوع 1000 عام (شكل 8-3S)، وهو نموذج خرق بفعل الرش أو تسرب Piping.
 - الفرض الرابع للخرق بجسم سد وادي القطارة أثناء ظروف الطقس المعتدل، بحيث يكون مستوى المياه خلف السد، تم اختياره بأن يكون 218.0m (شكل 8-4S)، وهو نموذج خرق بفعل الرش Piping.



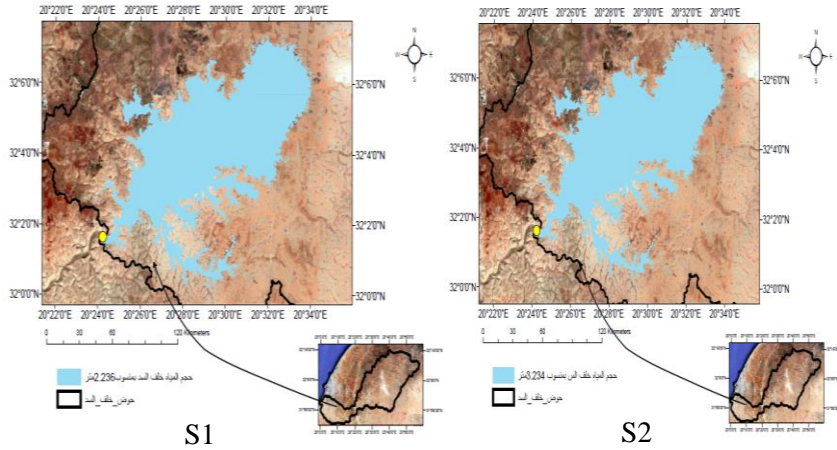
شكل 7. مناسيب المياه خلف السد وادي القطارة الرئيسي بحالات الانهايار الأربعة، (من عمل الباحثة).

جدول 6. المدخلات المستخدمة لحساب معاملات الانهايار الافتراضي لسد وادي القطارة حسب الفرضيات المتبعة بالدراسة (من عمل الباحثة).

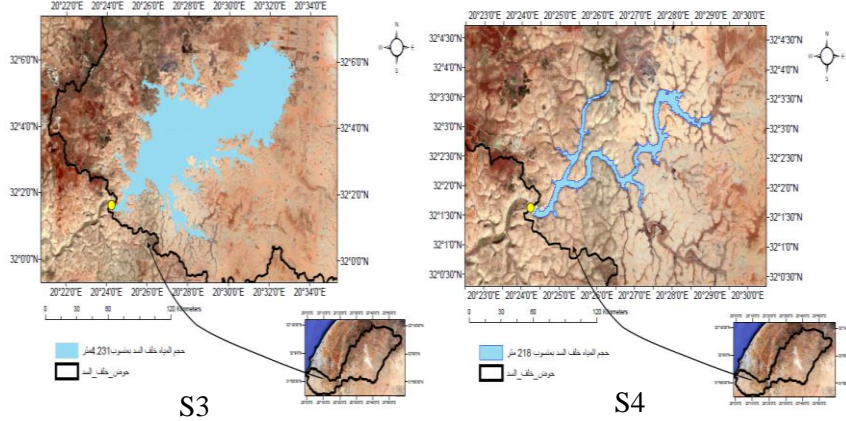
القيمة	المعامل
36.2	ارتفاع الماء خلف السد h_w m بفرض S_1 بمنسوب 236.2 m

تم استلام الورقة بتاريخ: 2023/12/9 م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 2024/1/15 م

34.3	ارتفاع الماء خلف السد h_w m بفرض S_2 عند أقصى منسوب لتفريغ الفيضان 234.3 m.
31.4	ارتفاع الماء خلف السد h_w m بفرض S_3 للتصريف عند منسوب التخزين 231.4 m بما يقابل أقصى عاصفة مطيرة كل 1000 سنة.
18.00	ارتفاع الماء خلف السد h_w m بفرض S_4 للتصريف عند منسوب التخزين 218.0 m يوم مشمس.
1941.48	حجم التخزين بحيرة السد V_w Mm^3 (S_1).
81.26	مساحة الغمر بحيرة السد (S_1) km^2 .
1623.440	حجم التخزين بحيرة السد V_w Mm^3 (S_2).
77.11	مساحة الغمر بحيرة السد (S_2) km^2 .
1070.24	حجم التخزين بحيرة السد V_w Mm^3 (S_3).
53.89	مساحة الغمر بحيرة السد (S_3) km^2 .
59.13	حجم التخزين بحيرة السد V_w Mm^3 (S_4).
3.31	مساحة الغمر بحيرة السد (S_4) km^2 .



تم استلام الورقة بتاريخ: 2023/12/9 م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 2024/1/15 م



شكل 8. شكل وحجم المياه المتجمعة خلف سد وادي القطار الرئيسي حسب الفرضيات الأربعة للانهايار (من إعداد الباحثة).

يعرض جدول (7) و جدول (8) نتائج تطبيق المعادلات الوضعية لحساب معاملات الخرق الافتراضي لسد وادي القطار، وهي ((Froehlich (2016), Xu and Zhang (2009), Pierce et al. (2010), Mac. and Langridge– Monopolis (1984), Zhang (2009)). وتعمد على حجم التخزين خلف السد ومنسوب الماء لحظة حدوث الانهيار والتي حددت مسبقاً حسب فرضيات الانهيار بجدول (6).

جدول 7. معاملات الخرق لسد واي القطار حسب الفرضيات المتبعة بالدراسة بناء على المعادلات بجدول (2).

معادلة حساب معامل الخرق.	S1		S2		S3		S4	
	B _{ave} m متوسط عرض الخرق بجسم السد	t _f hr زمن الانهيار	B _{ave} m متوسط عرض الخرق بجسم السد	t _f hr زمن الانهيار	B _{ave} m متوسط عرض الخرق بجسم السد	t _f hr زمن الانهيار	B _{ave} m متوسط عرض الخرق بجسم السد	t _f hr زمن الانهيار
Xu and Zhang (2009)	227.93	0.49	216.52	0.48	190.68	0.46	80.86	0.28
Froehlich (2016)	438.06	6.88	295.67	6.56	257.69	5.85	82.86	2.40
متوسط عرض الخرق B _{ave} m متوسط زمن تشكل الخرق t _f hr	332.995	3.685	256.095	3.52	224.185	3.155	81.86	1.34

$V_{er} \text{ Mm}^3$ MacDonald and Langridge – Monopolis (1984) حجم الفيضان من الخرق أو الانهيار	5.73	4.8	3.24	0.229
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	-----	------	-------

جدول 8. أقصى تدفق عند الانهيار الافتراضي لسد واي القطارة حسب الفرضيات المتبعة بالدراسة، بناء على المعادلات بجدول 3.

معادلة حساب أقصى تدفق الانهيار $Q_p \text{ m}^3/\text{sec}$	S1	S2	S3	S4
Xu and Zhang (2009)	27400.52	15357.62	11487.95	1730.70
Pierce et al. (2010)	49078.88	42752.71	31654.87	4361.54
Froehlich (2016)	69530.39	31493.35	22022.26	2099.35
متوسط أقصى تدفق للانهيار والخرق $Q_p \text{ m}^3/\text{sec}$	48669.93	29867.89333	21721.69333	2730.53

9. مناقشة النتائج

يتضح وفق نتائج هذه الدراسة التالي:

1. مناسيب الأرض الطبيعية بالحوض خلف السد تتدرج من 200m إلى 670m، بمتوسط زاوية انحدار 51 درجة، مما يدل على ان سطح الحوض شديد الانحدار، مما يجعل الجريان السطحي يتحرك بسرعة عالية باتجاه السد، أما مساحة الحوض خلف سد وادي القطارة الرئيسي بلغت 1266.0 km^2 ، لتعمل على زيادة معدل البخر وعدم الاحتفاظ بالمياه، بالإضافة إلى الكمية كبيرة المجمع به؛ طول المجرى الرئيسي للحوض خلف السد 73.36 km ، بعرض 217.90 Km ، مما يدل على استمرار الجريان السطحي للمياه لمدة أطول؛ رتبت الأودية بحوض سد وادي القطارة حسب طريقة Strahler وهي من الرتبة 8 إلى 1.
2. زمن التركيز بحوض سد وادي القطارة، حسب بمعادلة Jatou وصل إلى 26.66 hr ، ليدل على الحجم الكبير بالجريان السطحي المجمع خلف السد؛ زمن فائض المطر قدر 3.55 hr وهو المدة المستغرقة لتشبع تربة الحوض من مياه الأمطار متأثر بنوع الفواصل وشقوق والتكوينات الجيولوجية لمنطقة الحوض.

3. بناء على نموذج SCS ومعادلة بيركلي لحساب الجريان السطحي، قدر أقصى تدفق للمياه بالحوض $7.42\text{m}^3/\text{sec}$ بسرعة تصل إلى 0.76m/s ، مكونه سيلا بزم من ذروة 17.77hr ، بما يقابل أقصى حجم جريان سطحي 500Mm^3 وهذه الكميات ستجتمع خلف السد بعد هطول عاصفة مطيرة شدتها 790.6mm والتي في حال حدوثها ستفوق قدرة سعة السد التخزينية.

4. معاملات الخرق بجسم سد وادي القطارة الرئيسي وأقصى تدفق للانهايار وفق الفرضيات الموضوعية، حسب باستخدام المعادلات الوضعية التي تم سردها بجدول 2 و3، ولتباين نتائج التنبؤ تم الاعتماد على احتساب متوسطها للدلالة عن النتائج؛ تم أعداد أربع فرضيات لانهايار جسم السد الرئيسي لوادي القطارة منها الأول S_1 ، الذي أفترض به عجز المفيض عن تصريف المياه المجمع خلف السد، مما سيؤدي إلى ارتفاع منسوب المياه ورائه ليصل إلى 236.2m ، بحيث يحجزها خلفه بحجم 1943.88Mm^3 ، وهي كمية تفوق سعة السد التي تبلغ 237Mm^3 ، وبذلك يحدث انقلاب للسد نتيجة لتآكل وجهه الخارجي؛ عرض الخرق بجسم السد بمتوسط 332.9m ، وأقصى تدفق $48.66 \times 10^3\text{m}^3/\text{sec}$ بمتوسط زمن 3.68 ساعة لإتمام عملية الخرق، بحجم المواد الناتجة للانهايار بهذا الفرض 5.73Mm^3 .

5. فرض الانهايار S_2 ، الذي افترض به حدوث أمطار أدت إلى تخزين المياه خلف السد بحجم 1623.44Mm^3 ، بمنسوب الأقصى المصمم لتحملها 234.3m ، وفي حال عدم تصريفها فإن السد سيعاني من الخرق نتيجة تسرب المياه من خلاله، بعرض 256.09m ، وسينتج فيضان بتدفق $29.86 \times 10^3\text{m}^3/\text{sec}$ وبمتوسط زمن 3.52 ساعة لإتمام عملية الخرق، بحجم المواد الناتجة عن الانهايار 4.8Mm^3 .

6. فرض الانهايار S_3 ، وهو ما يعرف بالفيضان الأقصى المحتمل (PMF)، مما يسبب بتجمع المياه خلف السد بمنسوب 231.4m بسعة تخزين المياه خلفه 1070.24Mm^3 ، بما يقابل أقصى عاصفة مطيرة كل 1000 سنة، في حال لم يتم تصريفها فسيتم النخر بجسم السد وتسرب المياه خلاله مما يسبب انهياره، بخرق بمتوسط 244.18m ،

بأقصى تدفق $21.72 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ بزمن 3.15 ساعة لإتمام عملية الخرق، وحجم المواد الناتجة للانهييار بهذا الفرض 3.24 Mm^3 .

7. آخر فرض لانهييار السد هو S_4 ، وهو يحاكي انهيار السد بظروف التدفق الأساسي بالطقس المعتدل، أي بتجمع المياه خلفه بمنسوب 218.0m بسعة تخزين 59.13 Mm^3 ، فيحدث نخر بجسم السد مع اهمال صيانتته، من ثم خرق بجسم السد بمتوسط 81.86 m ، بأقصى تدفق للمياه $2730.53 \text{ m}^3/\text{sec}$ تجري خلال الوادي بزمن تكون الخرق 1.34 ساعة.

8. في حال انهيار سد وادي القطارة، ستتكون موجة فيضان تنتقل عبر المجرى الوادي الرئيسي بارتفاع 31-36 m مخلفة مساحات واسعة من الغمر ووقتا لا يتجاوز 4 ساعات للإخلاء مما ينبئ بخسائر فادحة في الأرواح والممتلكات؛ بالرغم من أن مسار وادي القطارة الواصل بين موقعي السد الرئيسي والثانوي بطول 10Km به ستة منعطفات، بمناسيب الارض الطبيعية من 207m إلى 156m، والتي ستعمل بشكل كبير على تشتيت قوة اندفاع المياه ومواد الركامية للسد اثناء الانهييار، إلا أن المياه ستغمر مساحات شاسعة بالمنطقة الممتدة من هضبة بنينا حتى شاطئ البحر بالتحديد المناطق سيدي فرج والطلحية وقاريونس والهوارى والصفصفا والقوارشة وبوصنيب والعمرات الصينية والمناطق المتاخمة لها، بمنسوب غمر يصل إلى أكثر من 3 امتار، ناهيك عن أن الوادي شديد الانحدار في هذا الجزء لذلك فإن السد الثانوي لن يصمد في حالات الانهييار الثلاث الأولى وقد يتضرر بالحالة الرابعة.

10. الاستنتاجات والتوصيات

أنت هذه الدراسة بهدف حساب معاملات الاحتراق في حال انهيار سد وادي القطارة الرئيسي، حيث خلصت الدراسة بأن في حال وصل منسوب المياه وراء سد وادي القطارة إلى 236.2m سبب بانهيياره بتدفق $48.66 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ مستغرقا زمن 3.68hr، أما في حال وصول المياه إلى منسوب 234.3m، سينهار السد بأقصى تدفق $29.86 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ بزمن 3.52hr، وفي حال وصل منسوب إلى المنسوب الأقصى المحتمل، يسبب انهياره بأقصى تدفق $21.72 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ بزمن 3.15 hr.

وفي حال تجمع المياه خلفه بمنسوب 218.0m، سيحدث نخر بجسم السد، بأقصى تدفق $2730.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ بزمان تكون الخرق 1.34hr؛ أخطر فرضيات الانهيار هي الثلاث الأولى بوقت لا يتجاوز 4 ساعات للإخلاء مما ينبئ بخسائر فادحة في الأرواح والممتلكات، حيث ستغمر المياه مساحات شاسعة بغرب مدينة بنغازي؛ بنهاية هذه الدراسة نقترح التوصيات التالية:

1. وضع أجهزة قياس تدفق الجريان السطحي والمناخ على كافة المجاري المائية التي تتضمن سدود.
2. إعادة تخطيط المنطقة الممتدة من هضبة بنينا حتى البحر المتوسط والتي تقع ضمن حدود حوض وادي القطارة ومنع إقامة منطقة صناعية، لتجنب حدوث تلوث في حال حدوث فيضانات، ووضع خطة متكاملة لإبلاغ السكان بالإخلاء عند حدوث انهيار وتحديد مسار ووجهة الإخلاء.
3. ينبغي إعداد وتنفيذ خطط الإخلاء من قبل السلطات المحلية بمدينة بنغازي، بحيث تشمل خرائط الغمر بالمنطقة التي سيتم اجلاء السكان منها، والطرق التي سيتم استخدامها، وتأمينها.
4. توسعة وتعميق مجرى وادي القطارة لتسهيل جريان المياه حتى المصب، واخذ التدابير اللازمة لصيانة سد وادي القطارة الرئيسي والثانوي ليكون في حالة استعداد لتخزين كميات المياه الزائدة عن المعدل المعتاد.

المراجع:

- [1] بن طاهر، لبنى سليمان. 2022، تقدير حجم السيول بحوض وادي القطارة جنوب شرق مدينة بنغازي - ليبيا، بالتكامل بين نموذج الهيئة الأمريكية لحماية الأراضي (SCS) و تقنيات نظم معلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. مجلة جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية. 21(1)، ص: 7-15، DOI: 10.51984.

- [2] جودة، حسنين جودة.1973. ابحاث في جيومورفوجية الأراضي الليبية، منشورات الجامعة الليبية كلية الآداب،
https://archive.org/details/@hassan_ibrahem
- [3] Maltauro Group.2004. Rehabilitation of The Main Dam, Wady Qattara Project Description, Bengazi.
- [4] Chow, V.T., (ed.). 1964. Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw Hill.
- [5] داوود، جمعة؛ مرز، معراج؛ الغامدي، خالد.2012. تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية. مجلة نظم المعلومات الجغرافية. 3(3)،ص:217-223.
- [6] Ben Taher, L.2012. Prediction of Peak Breach Outflow, and Breach Parameters for Embankment Dams Using Fuzzy Logic and Artificial Neural Network Techniques”, M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, Cairo University, Egypt.
- [7] Macdonald, Thomas C., and Jennifer Langridge-Monopolis. 1984. Breaching Characteristics of Dam Failures. Journal of Hydraulic Engineering, 110(5), p:567-586.
- [8] Xu, Y., Zhang, L. M. 2009. Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 135(12),P: 1957 – 1970,.
- [9] Froehlich, D.C. 2016a. Empirical Model of Embankment Dam Breaching. International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2016)
- [10] Pierce, M.W. 2008, Predicting Peak Outflow from Breached Embankment Dams. M.S. thesis, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- [11] Froehlich, D.C.2016b. Predicting Peak Discharge from Gradually Breached Embankment Dam. Journal of Hydrologic Engineering.
- [12] United State Geological Survey.2023.Digital Elevation model for North East Libya. <https://www.earthexplorer.usgs.gov> [Accessed May, 2023].

- [13] POWER Data Access Viewer. 2023. precipitation data for Wady Qattara, <https://power.larc.nasa.gov/docs/precipitation>. [Accessed May, 2023].