

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها

اعداد الطالب : حسين الحسين اشراف : د. شعبان حديد ، د.مرتضى علي

الملخص

يتناول البحث دراسة تأثير الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش باستخدام أدوات النمذجة العددية ضمن بيئة (Hec-Ras)، مدعومة ببيانات طبوغرافية ومعالجة مكانياً عبر (ArcGIS) و (Google Earth). تضمن البحث بناء نموذج تمثيلي لحوض التصريف، ومعايرته باستخدام الجريان المستقر، ثم دراسة حالة الجريان غير المستقر الناتج عن الانهيار، وتحليل المتغيرات الهيدروليكية المرافقة له من حيث ارتفاع الغمر، وسرعة الجريان، وعرض الامتداد الفيضي، كما تم دراسة تأثير الموجة الفيضانية على القرى والمنشآت الحيوية والطرق، حيث أظهرت النتائج أن بعض القرى شهدت استمرارية غمر تجاوزت (20) ساعة، بينما تعرضت منشآت حساسة، كمحطات المعالجة والمدارس، لارتفاعات غمر كبيرة وسرعات جريان عالية تجاوزت (4m/sec)، مما يزيد من خطورة الأثر الإنشائي والوظيفي. كما بيّنت النتائج أن معظم الطرق ستخرج عن الخدمة خلال الساعات الأولى من الغمر، ما يعيق الاستجابة الطارئة ويزيد من تعقيد عمليات الإخلاء.

تم اقتراح حلّين رئيسيين: الأول يتمثل في زيادة معامل الخشونة على جانبي المجرى باستخدام وسائل طبيعية كالشجير، وقد أثبتت فعاليته في تقليل سرعة الغمر وتقليص عرض الانتشار. أما الحل الثاني فتمثل في إعداد خطة طوارئ متكاملة تتضمن تصنيف مستويات الخطر، وتحديد الأدوار والمسؤوليات بين الجهات المختصة.

تؤكد هذه الدراسة أهمية استخدام النمذجة العددية في فهم سلوك الموجات الفيضانية، ودورها في دعم اتخاذ القرار وتحقيق إدارة أكثر كفاءة للمخاطر الفيضانية ضمن المناطق الحساسة.

Analysis of the Flood Wave Resulting from the Hypothetical Failure of the Al-Abrash Dam and Mitigation of Its Impacts

Abstract

This study investigates the impact of the flood wave resulting from the hypothetical failure of the Al-Abrash Dam using numerical modeling tools within the HEC-RAS environment, supported by topographic data and spatial analysis via ArcGIS and Google Earth. The research involved constructing a representative model of the watershed and calibrating it under steady flow conditions, followed by simulating the unsteady flow scenario resulting from dam failure and analyzing the accompanying hydraulic variables, including flood depth, flow velocity, and flood extent width. The study also assessed the flood wave's impact on villages, critical infrastructure, and roads. Results showed that some villages experienced flood durations exceeding (20) hours, while sensitive facilities such as treatment plants and schools were subjected to high flood depths and flow velocities exceeding (4 m/s), increasing the structural and functional risk. Additionally, most roads were predicted to go out of service within the first few hours of flooding, complicating emergency response and evacuation operations.

Two primary mitigation solutions were proposed: the first involved increasing the roughness coefficient along the riverbanks through natural methods such as afforestation, which proved effective in reducing flow velocity and flood extent. The second solution involved preparing an integrated emergency response plan that includes risk level classification and clearly defined responsibilities among relevant authorities.

This study highlights the importance of numerical modeling in understanding flood wave behavior and its role in supporting decision-making and enabling more effective flood risk management in vulnerable areas.

Keywords: Dam failure, Flood wave, Geographic Information Systems (GIS), Hydraulic calibration, Flood risk management.

1. مقدمة:

تُعد السدود من المنشآت الهيدروليكية الحيوية التي تؤدي دوراً محورياً في إدارة الموارد المائية، من خلال تنظيم تدفقات المياه وتخزينها وتوفير مياه الشرب والري وتوليد الطاقة الكهربائية، فضلاً عن دورها في تقليل مخاطر الفيضانات، إلا أن هذه المنشآت وعلى الرغم من فوائدها الجمة قد تتحول إلى مصدر خطر بالغ في حال تعرضت للانهييار أو الفشل الإنشائي، حيث يعرف انهيار السد بأنه حركة أحد أجزاء السد، أو أساساته، وبالتالي عدم قدرته على الاحتفاظ بالماء، الأمر الذي يؤدي إلى تدفق كميات كبيرة من المياه، مما يعرض حياة السكان وممتلكاتهم للخطر في منقطة الحوز السفلي [1]، وهنا تبرز الحاجة الملحة لوضع خطط وقائية وآليات فعالة للتنبؤ بهذه الظواهر والتقليل من أثارها من خلال دراسات هندسية دقيقة ونماذج محاكاة هيدروليكية وإجراءات طوارئ متكاملة.

وفي هذا السياق تناول البحث دراسة الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار سد الأبرش والحلول المقترحة للحد من تأثيرها والتعامل معها بفعالية.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحديد العناصر والمتغيرات الهيدروليكية المرتبطة بالموجة الفيضانية الناتجة عن الانهييار الافتراضي لسد الأبرش وتحليل خصائصها وسلوكها الديناميكي، مع اقتراح مجموعة من الحلول والإجراءات للتخفيف من أثارها المحتملة.

3. توصيف منطقة الدراسة:

- **الموقع الجغرافي:** تشكل المنطقة المدروسة الجزء الجنوبي من حوض الساحل وتشمل المنطقة الممتدة من سد الأبرش وحتى مصب النهر في البحر الأبيض المتوسط حيث تبلغ مساحة هذه المنطقة (2490 km²) ممتدة ما بين البحر الأبيض المتوسط غرباً وحوض نهر العاصي شرقاً وحوض نهر بانياس شمالاً والحدود الدولية السورية اللبنانية جنوباً.

- **طبوغرافية المنطقة:** تغلب على منطقة الدراسة الطبيعة الجبلية والهضبية، حيث يتصف النهر في القسم العلوي والأوسط من مجراه بتضاريسه الجبلية ويتخذ وادي النهر شكل (v) للسفوح التي يبلغ ارتفاعها (150-200 m) ويزاوية انحدار مقدارها (30-40) درجة لينتقل بعدها إلى السهل الساحلي حيث يتغير شكل مجرى النهر مراراً في هذه المنطقة إلا أنه على الغالب يحتفظ بشكله

الشبه منحرف مع العلم أنه لوحظ تشوهات بشكل ضفاف المجرى في ال (6 km) الأخيرة، يبلغ متوسط انحدار المجرى المائي (0.016) وميل الحوض (0.14) ومساحة حوض النهر عند مركز سد الأبرش (164.8 km²). [2]

- **جيولوجية المنطقة:** يتكون الجزء العلوي من منطقة الدراسة من تشكيلات الجوراسي الأوسط والأدنى المنكشفة في المرتفعات العليا والمكونة من الحجر الكلسي والكلس الدولميبي بينما يتكون الجزء الأوسط والسفلي من الدولميت والحجر الكلسي الدولميبي مع تداخلات نادرة من الحجر الكلسي المارلي [3].

- **تربة المنطقة:** يسود في القسم الأكبر من المنقطة التربة (الحمراء - البنية) ذات القوام الغريني (السلتي) الطيني بالإضافة للترب القلوية (ph=7-8)، وتبلغ سماكة التربة عند قدم السفوح (0.1-0.25m) وسطياً، وفي وادي النهر تصل حتى (1m) أو أكثر [2].

- **الظروف المناخية لمنطقة الدراسة:** يسود منطقة الدراسة المناخ المتوسطي المعتدل الماطر شتاءً والجاف صيفاً ويتميز بارتفاع نسبة الرطوبة على مدار العام حيث يبلغ المعدل السنوي للرطوبة النسبية للهواء (66%) (بدرجة دنيا شهرية 61% وعظمى 76%)، ومعدلات هطول مطري عالية نسبياً تزيد عن (800mm) سنوياً [4].

4. مواد وطرق البحث:

1.4 البرمجيات المستخدمة في البحث:

- **برنامج Google Earth:** من الأدوات الفعالة في دعم الدراسات الهيدرولوجية والهيدروليكية، حيث يستخدم في تحليل المناطق الجغرافية وتقدير الخصائص المورفولوجية لأحواض التصريف ومجاري الأودية، ويسهم في توفير بيانات مكانية لبناء النماذج العددية وتقييم المخاطر الفيضانية المحتملة [7].

- **برنامج التحليل النهري (Hec-Ras):** يعتبر أحد أهم البرمجيات المستخدمة في النمذجة الهيدروليكية لتحليل الجريان السطحي في الأنهار والقنوات المفتوحة، كما يتيح البرنامج إمكانية محاكاة الموجات الفيضانية الناجمة عن انهيار السدود وتقدير منسوب المياه وسرعة الجريان في مختلف المقاطع النهرية، مما يساهم في تقييم السيناريوهات المختلفة للأخطار المحتملة، واتخاذ التدابير المناسبة لإدارة مخاطر الفيضانات بكفاءة [8].

- **برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS):** يعد من البرمجيات الأساسية في تحليل البيانات الجغرافية ذات العلاقة بالموارد المائية، حيث يستخدم في معالجة الخرائط الرقمية وتحليل الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف، وتحديد المناطق المعرضة للفيضان، وحساب

المساحات والميول والانحدارات، بالإضافة لإمكانية دمجها مع النماذج الهيدروليكية لتوفير بيئة متكاملة تدعم اتخاذ القرار في إدارة المياه ومخاطر الفيضانات [9].

2.4. البناء الطبوغرافي للنموذج:

بهدف الحصول على نموذج طبوغرافي لمنطقة الدراسة تم استخدام بعض الوظائف الطبوغرافية الأساسية التي تتيح التحليل المكاني بواسطة (GIS)، حيث تم تحديد كافة البيانات اللازمة لإعداد النموذج وتشمل:

- الصور الجوية: تم أخذ مجموعة من الصور الجوية لحدود منطقة الدراسة باستخدام برنامج (Google Earth Pro)، تظهر طول النهر وتدرجاته والتغيرات المكانية في عرض المجرى، كما يوضح الشكل (1)، بالإضافة لتحديد موقع جسم السد والبحيرة والمنشآت المائية والمدنية الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

- الخرائط الطبوغرافية: حيث تم تحويلها الى خرائط رقمية باستخدام برنامج (Gis) والتي تم من خلالها تحديد أماكن القرى والأبنية والطرق والمجاري المائية الرئيسية والفرعية الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

- النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM-Digital Elevation Model) الخاص بمنطقة الدراسة بدقة مكانية تبلغ 30×30 متر، والمشتقة من بيانات بعثة رادار المكوك الفضائي (SRTM) وقد جرى إسقاط هذه البيانات على نظام الإحداثيات الجغرافية (WGS_1984_UTM_Zone_37N) بما يضمن توافقها مع الخرائط الجوية والورقية المعتمدة، وبالتالي إنتاج نموذج طبوغرافي ثلاثي الأبعاد يعكس الواقع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة.

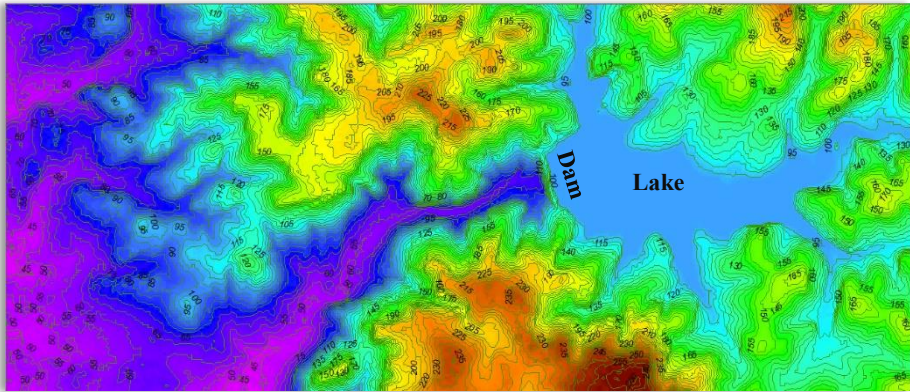
- البيانات الحقلية: تم إجراء مجموعة من الزيارات الميدانية لمنطقة الدراسة بهدف تحديد منسوب المياه في بحيرة السد خلال فترات زمنية مختلفة، بالإضافة لقياس عمق الماء ضمن المجرى خلال مرور تدفقات مختلفة، كما تم تحديد أبعاد المقاطع العرضية للنهر وتغيراتها.

وبناء على البيانات السابقة تم اشتقاق النموذج الطبوغرافي النهائي من خلال دمج وتحليل كافة البيانات المكانية الخاصة بمنطقة الدراسة باستخدام الأداة (Hec-GeoRas) ضمن بيئة (GIS) بما يضمن الوصول إلى تمثيل دقيق للسماوات التضاريسية للمنطقة كما يوضح الشكل (2).

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها



الشكل (1): صورة جوية توضح مسار نهر الأبرش والتغيرات الحاصلة في بعض مقاطعه.



الشكل (2): التمثيل الطبوغرافي للمنطقة باستخدام خطوط تساوي الكونتور.

3.4. محاكاة الجريان المستقر لمعايرة النموذج باستخدام (Hec-Ras):

تم استخدام نموذج الجريان المستقر (Steady Flow) ضمن بيئة (Hec-Ras) بهدف معايرة النموذج الهيدروليكي للمجرى المدروس، وقد تم اختيار هذا النمط من المحاكاة نظراً لأن القياسات الميدانية للتدفق والظروف الهيدروليكية أثناء فترة المعايرة أظهرت تغيراً محدوداً مع الزمن، مما يبرر افتراض ثبات التصريف خلال فترة التحليل. هذا الإجراء يسمح بتحليل التوزيع المكاني لمنسوب سطح الماء بدقة ومقارنة نتائج النموذج مع البيانات الحقلية أو المرجعية، الأمر الذي

يسهم في ضبط المعاملات الهيدروليكية وتحقيق تمثيل أكثر واقعية لخصائص الجريان، تمهيداً لدراسة حالات الجريان غير المستقر والفيضانات الناجمة عن انهيارات السدود.

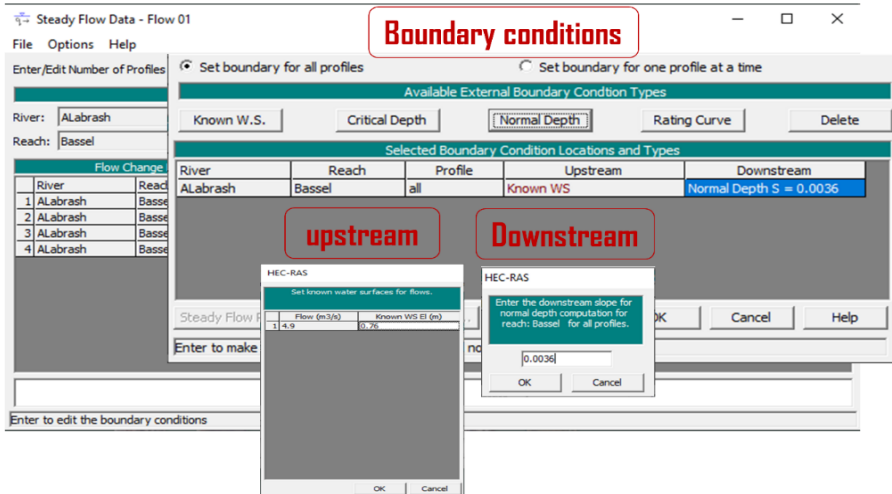
تم ادخال قيم التصريف عند مقاطع مختلفة على طول المجرى حيث تراوحت القيم بين m^3/s (1.2-8.5)، كما تم تحديد الشروط الحدية للنموذج كما هو موضح في الشكل (3):

- الحوز العلوي (Upstream Boundary): تم اعتماد منسوب الماء المقابل للتدفق المدخل كشرط حد مكاني عند بداية المجرى.

- في الحوز السفلي (Downstream Boundary) تم ادخال قيمة الميل الطبيعي لسرير النهر (0.0036) كشرط حدي مكاني عند نهاية المجرى.

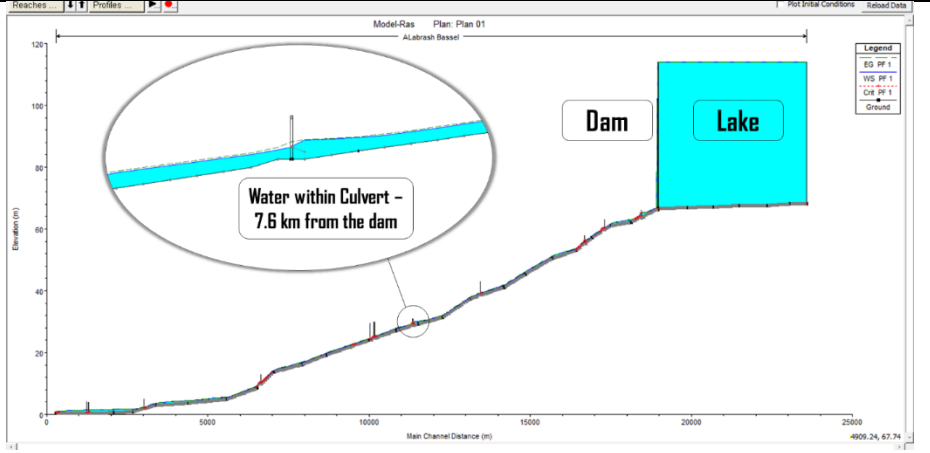
بعد ادخال قيم التدفقات والشروط الموافقة لها تمت معالجة البيانات والحصول على النتائج التالية:

- قيم ارتفاعات الماء ضمن المجرى وتغيراتها على امتداد منطقة الدراسة، والتي تراوحت بين m (0.35-1.4)، بالإضافة إلى مقاطع عرضية وطولية تظهر توزيع وحركة المياه على امتداد المجرى كما هو موضح في الشكل (4).
- سرعة جريان الماء في الحالة المستقرة، والتي تراوحت بين m/sec (0.27-1.69) على امتداد المجرى.
- نماذج ثلاثية الأبعاد توضح ديناميكية الجريان على امتداد المنطقة المدروسة، كما هو موضح في الشكل (5).

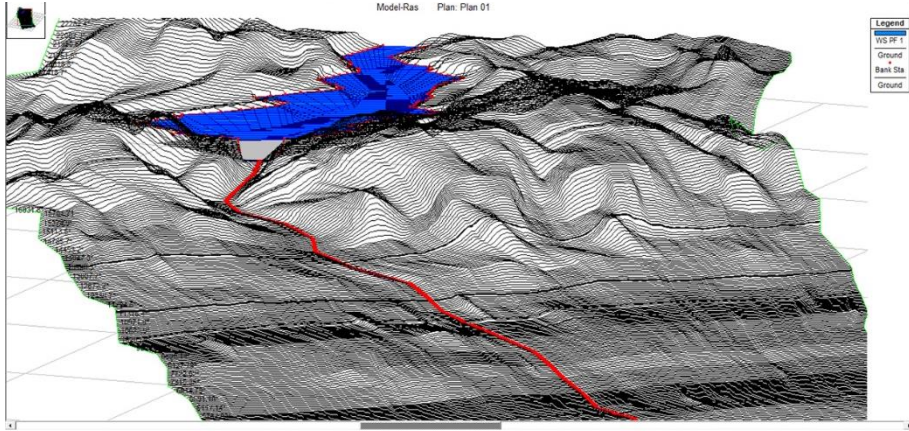


الشكل (3): الشروط الحدية للحوزين العلوي والسفلي.

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها



الشكل (4): مقطع طولي يوضح حركة المياه داخل المجرى وضمن عبارة تبعد عن السد (7.6km).



الشكل (5): نموذج ثلاثي الأبعاد لتوزيع الجريان في الظروف الطبيعية.

المعايرة الهيدروليكية للنموذج:

تمت معايرة النموذج بالاعتماد على طريقة معامل الارتباط الخطي (r) [5]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

تم إجراء المعايرة عند أربعة مواقع من النهر، من خلال قياس معدل التدفق وقيمة ارتفاع الماء الموافقة له في المواقع الأربعة وذلك خلال فترات زمنية متباعدة تعكس التغيرات الموسمية في

التدفق، حيث تم قياس معدل التدفق باستخدام البرامه المائيه التي توفر دقة عالية عند معدلات التدفق المتوسطه إلى الكبيره، ونظراً لصعوبه قياس التدفقات الصغيره باستخدام البرامه وذلك بسبب انخفاض فرق المنسوب، تم استخدام مقياس السرعة اليدوي البسيط كأداة مساعدة، حيث تم قياس سرعة المياه من خلال تسجيل الزمن الذي يستغرقه جسم عائم صغير لعبور مسافه محددة داخل المقطع العرضي، ولضمان موثوقية النتائج ودقتها تم تكرار القياسات عدة مرات في كل موقع وأخذ المتوسط كقيمة نهائية.

حيث يوضح الجدول (1) مواقع محطات المعايرة الهيدروليكية على امتداد النهر، كما يوضح الجدول (2) والشكل (6) نتيجة المعايرة عند المحطة الأولى، ويوضح الجدول (3) والشكل (7) نتيجة المعايرة عند المحطة الثانية، والجدول (4) يوضح نتيجة المعايرة عند المحطتين الثالثة والرابعة.

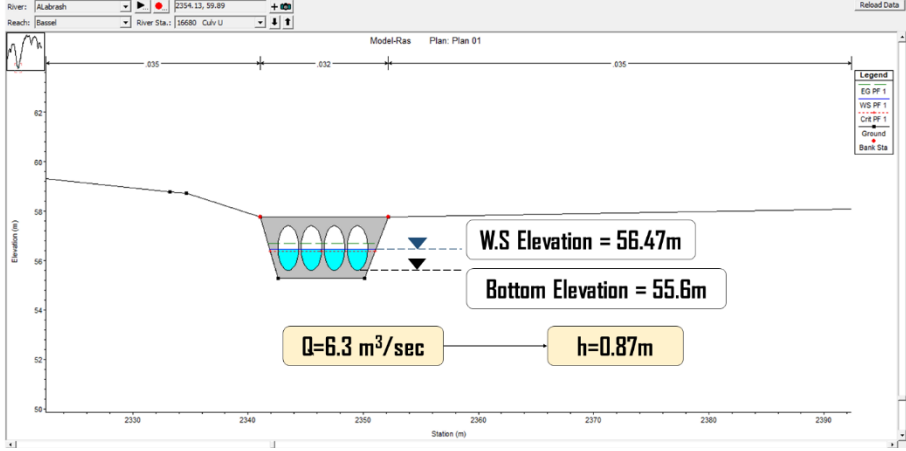
الجدول (1) مواقع محطات المعايرة على امتداد المجرى المائي.

رقم المحطة	1	2	3	4
البعد عن السد (m)	0272	5500	8800	13780
نوع المنشأة في موقع المعايرة	عبارة (دائرية)	جسر	جسر	ضمن المجرى

الجدول (2) نتائج تطبيق قيم التدفق على النموذج ضمن محطة المعايرة الأولى.

تاريخ أخذ القياس	المقاسة h (m)	المحسوبة h (m)	منسوب سطح المياه (m)	منسوب اسفل العبارة (m)	Q (m ³ /sec)
تموز- 2023	0.36	0.31	55.91	55.6	1.7
حزيران - 2023	0.51	0.44	56.04	55.6	2.6
أيار - 2023	0.8	0.76	56.36	55.6	5.2
نيسان - 2023	0.89	0.87	56.47	55.6	6.3
كانون الأول - 2023	0.93	0.9	56.5	55.6	7.4
أذار - 2023	1	0.96	56.56	55.6	8.3
r = 0.998 معامل الارتباط الخطي					

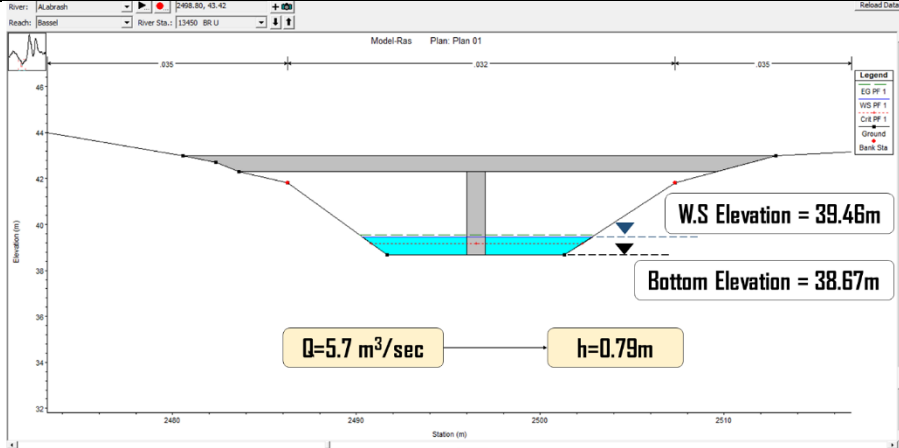
تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (6) ارتفاع الماء عند محطة المعايرة الأولى والنتائج عن امرار تدفق ($6.3 \text{ m}^3/\text{sec}$).

الجدول (3) نتائج تطبيق قيم التدفق على النموذج ضمن محطة المعايرة الثانية.

تاريخ أخذ القياس	المقاسة h (m)	المحسوبة h (m)	منسوب سطح المياه (m)	منسوب أسفل العبارة (m)	Q (m^3/sec)
تموز- 2023	0.29	0.24	38.91	38.67	1.4
حزيران - 2023	0.51	0.46	39.13	38.67	3.2
ايار- 2023	0.64	0.57	39.24	38.67	4.8
ايار - 2023	0.71	0.79	39.46	38.67	5.7
كانون الأول - 2023	0.8	0.88	39.55	38.67	6.1
أذار - 2023	0.89	1.01	39.68	38.67	7.2
r = 0.984 معامل الارتباط الخطي					



الشكل (7) ارتفاع الماء عند محطة المعايرة الثانية والناتج عن امرار تدفق (5.7 m³/sec).

الجدول (4) نتائج معايرة النموذج عند المحطتين الثالثة والرابعة

محطة المعايرة الرابعة			محطة المعايرة الثالثة		
h المقاسة (m)	h المحسوبة (m)	Q (m³/s)	h المقاسة (m)	h المحسوبة (m)	Q (m³/s)
0.42	0.48	2.1	0.35	0.44	1.9
0.71	0.79	5.2	0.47	0.56	2.5
0.79	0.87	6.5	0.73	0.87	5.4
0.84	0.88	7.3	0.9	0.93	7.2
0.91	0.97	8.1	0.96	0.99	7.9
0.97	1.08	9	1.07	1.04	8.8
r = 0.993			r = 0.985		

أظهرت نتائج المعايرة أن معامل الارتباط الخطي بين القيم المحسوبة والمقاسة تجاوز (0.9) عند جميع المحطات، مما يدل على دقة النموذج ويؤكد إمكانية استخدامه في دراسة حالات الجريان غير المستقر وتحليل الموجات الفيضانية.

5. الدراسة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش.

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تحليل هيدروليكي لتطور الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش، وذلك باستخدام النمذجة العددية عبر برنامج التحليل النهري (Hec-Ras)، وقد تم إعداد النموذج لتمثيل سلوك الجريان غير المستقر الناتج عن هذا السيناريو، وذلك

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها

بهدف تقييم مدى تأثير الموجة الفيضانية على مجرى النهر والمناطق المجاورة له من حيث ارتفاع الماء وسرعة الجريان ومدى انتشار الموجة على امتداد منطقة الدراسة، بما يساهم في تحليل مستويات الخطورة المحتملة وتعزيز فعالية خطط الاستجابة لمواجهة حالات الطوارئ الفيضانية.

فرضيات الدراسة:

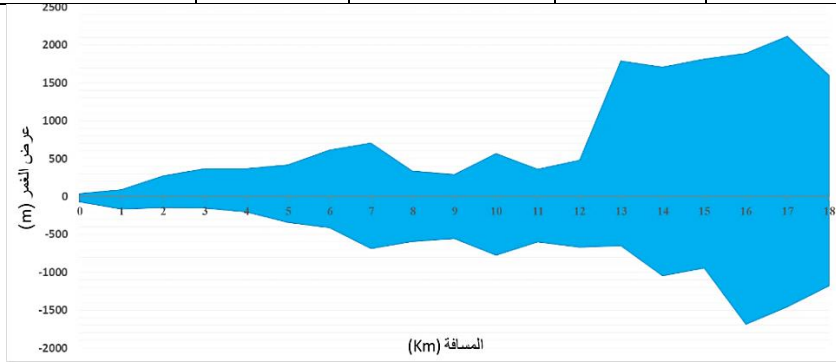
تم تحديد فرضيات ومعاملات الانهيار الخاصة بالسد استناداً إلى التوصيات الواردة ضمن البرنامج HEC-RAS Hydraulic Reference Manual (قسم تحليل انهيار السدود)، والذي يعتمد على معادلات تجريبية مثل (MacDonald & Langridge-Monopolis) و (Froehlich) و (1995) و (Von Thun & Gillette 1990)، وقد جرى تكيف هذه القيم لتناسب مع خصائص السد المدروس (سد ركامي/صخري بنواة غضارية، ارتفاع 50 م، عرض قاعدة 195.2 م، طول 733 م) ومع الظروف الطبوغرافية والهيدروليكية لموقعه.

وبناء عليه تم اعتماد الفرضيات التالية:

- البحيرة بحالة الامتلاء الأعظمي (منسوب سطح الماء: **+114.7m**، حجم التخزين: **103.16M.m³**)
- الانهيار الافتراضي للسد من النوع (piping) حيث تتشكل فتحة صغيرة ضمن جسم السد وتتوسع تدريجياً نتيجة تدفق المياه من خلالها.
- احداثيات مركز بداية الانهيار (**Center Station: 2490m**)
- العرض النهائي لفتحة الانهيار من الأسفل (**Final Bottom Width: 90m**). وهو ضمن النطاق (80-100 م) الموصى به لسدود الردميات بارتفاع يقارب 50 م، وذلك لضمان تمثيل واقعي لتطور فتحة الانهيار بما يتناسب مع عرض قاعدة السد الكبير (195.2 م) وطبيعة الردميات المستخدمة.
- المنسوب السفلي لفتحة الانهيار الأعظمية (**Final bottom Elevation: 72m**). وذلك بما يتوافق مع أدنى منسوب محتمل يمكن أن يصل إليه قاع الفتحة بعد الانهيار استناداً إلى ميول المقطع العرضي لجسم السد.
- معامل فتحة الانهيار: يعبر عن حالة الجريان خلال الفتحة التي تتشكل ضمن جسم السد وفي الحالة النموذجية للتدفق المنتظم مع الزمن تؤخذ القيمة (0.8) أما في حالة التشوهات الغير المنتظمة والحاصلة خلال التدفق ضمن جسم السد ومع الأخذ بالاعتبار الخسائر الحاصلة بالطاقة تؤخذ قيمة المعامل (**0.5**) (piping coefficient).
- الزمن اللازم لتشكيل الفتحة الكاملة (**Breach Formation Time: 3hrs**).

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها
الجدول (5) القيم الأعظمية لعرض الغمر على امتداد منطقة الدراسة.

الضفة اليسرى		الضفة اليمنى		عرض الغمر ضمن المجال
الموقع (البعد عن السد) (m)	القيمة العظمى (m)	الموقع (البعد عن السد) (km)	القيمة العظمى (m)	
4.9	422	4.5	345	(1-5) km
7.2	710	9.3	780	(5-10) km
14.8	1820	13.9	1050	(10-15) km
17.1	2120	16.4	1690	(15-18) km



الشكل (9) الانتشار العرضي الأعظمي لمياه الغمر على جانبي نهر الأبرش.

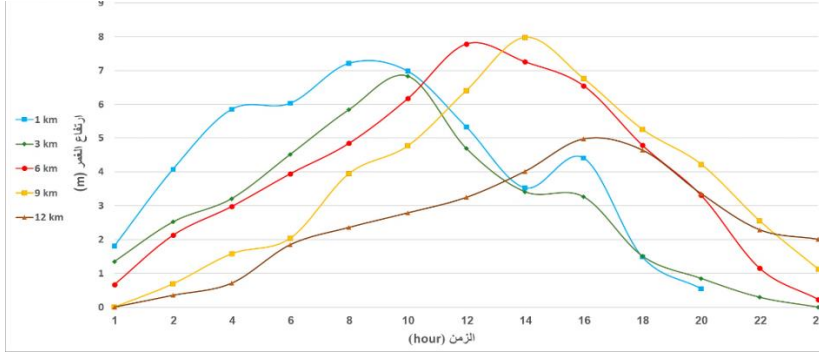
ارتفاع الغمر:

بلغ ارتفاع الغمر الأعظمي (7.98m) عند موقع يبعد عن السد مسافة (9.2km)، حيث تم الوصول إلى هذا الارتفاع بعد مرور (13.8 hour) على بداية تشكل فتحة الانهيار، يوضح الجدول (6) القيم العظمى لارتفاعات الغمر على امتداد منطقة الدراسة، كما يوضح الشكل (10) علاقة ارتفاع الغمر مع الزمن في عدة مواقع خلف السد.

الجدول (6) يوضح ارتفاعات الغمر الأعظمية وتغيراتها مع المسافة.

الزمن (بدءاً من لحظة الانهيار) (hour)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	ضمن المجال (km)	الزمن (بدءاً من لحظة الانهيار) (hour)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	ضمن المجال (km)
15.7	4.98	(10-12) km	9.4	7.23	(0-2) km
17.4	6.2	(12-14) km	10.2	6.83	(2-4) km
16.8	3.71	(14-16) km	11.6	7.79	(4-6) km

18.1	3.58	(16-18) km	12.3	6.89	(6-8) km
			13.8	7.98	(8-10) km



الشكل (10) علاقة ارتفاع الغمر مع الزمن في عدة مواقع خلف السد.

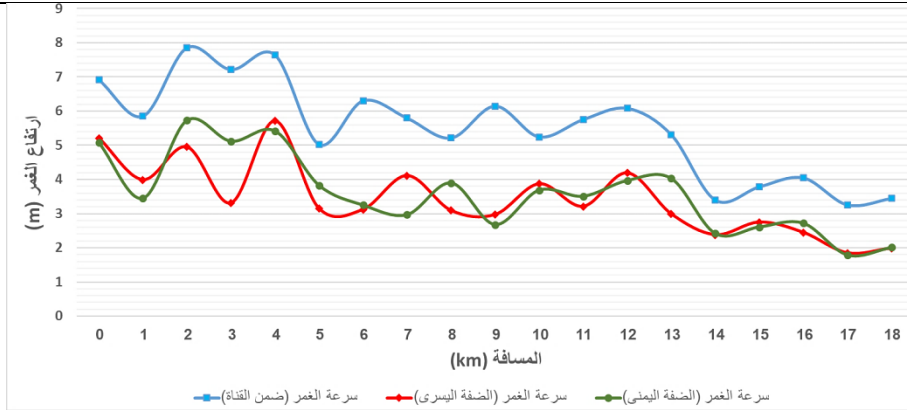
سرعة الغمر:

يوضح الجدول (7) المعطيات الخاصة بسرعة الجريان الأعظمية ضمن المجرى وعلى الضفتين اليمنى واليسرى، كما يوضح الشكل (11) العلاقة بين المسافة وسرعة الغمر الأعظمية.

الجدول (7) سرعة الغمر الأعظمية ضمن المجرى وعلى جانبيه.

الضفة اليسرى	المجرى	الضفة اليمنى	
5.69	7.85	5.73	سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)
3.9	2.2	2.4	الموقع (البعد عن السد) (km)
8.5	9.7	10.1	زمن الوصول للسرعة العظمى من بداية الانهيار (hour)

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (11) القيم العظمى لسرعة الغمر على امتداد منطقة الدراسة.

2.5. دراسة تأثير الموجة الفيضانية على القرى والمنشآت والطرق الواقعة خلف السد.

تم إجراء رفع طبوغرافي وتحليل مكاني للقرى والمنشآت الواقعة خلف سد الأبرش بهدف توصيف موقعها الجغرافي بدقة ضمن منطقة الدراسة من حيث البعد عن جسم السد ومجرى النهر ومنسوبها عن سطح البحر، كما هو موضح في الجدول (8)، وذلك لربطها بالمتغيرات الهيدروليكية للموجة الفيضانية وتحديد مستوى الخطورة المحتمل لكل موقع واتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة.

الجدول (8) البيانات الخاصة بالقرى والمنشآت الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

المنسوب عن سطح البحر (m)	البعد عن النهر (m)	البعد عن السد (m)	الاسم	التسلسل	
240	1989	878	المباركة	1	القرى
225	1319	1061	بلدة القصر	2	
192	970	1770	بلدة تركب	3	
172	410	1841	التوانين	4	
101	1197	4123	الصفصافة	5	
96	2878	4639	عين الزيدة	6	
83	2284	5258	بيت شوفان	7	
75	1385	5905	بحوزي	8	
45	1821	7072	ظهر الشمرة	9	

46	285	9092	دير الحجر	10	المنشآت
44	86	9185	الهويسية	11	
45	103	9485	الريحانية	12	
38	1093	10725	الجماسية	13	
30	1736	10990	زاهد	14	
38	147	12050	تل كزل	15	
8	1937	14680	الحمدانية	16	
6	395	17750	عرب الشاطئ	17	
198.2	1710	1260	ثانوية تركيب	1	
175.2	948	2110	مدرسة تركيب الإعدادية	2	
46	161	4327	محطة معالجة الصرف	3	
43.3	217	5728	مبنى شركة صناعية	4	
49.5	374	5807	معمل الأعلاف	5	
35.1	129	7510	مستودعات حبوب	6	
33.5	226	8827	مشتل زراعي	7	
30.8	517	8871	مرملة	8	
32.6	276	9680	مول تجاري	9	
29.8	373	10992	روضة أطفال	10	
27.4	497	11258	مدرسة (تل كزل)	11	
17.6	1126	14551	شركة لإنتاج الفلين	12	
6.4	1022	17564	مدرسة (عرب الشاطئ)	13	
2.2	1183	17803	محطة ضخ الصرف	14	
3.6	97	17876	تجمع أبنية وشاليهات	15	

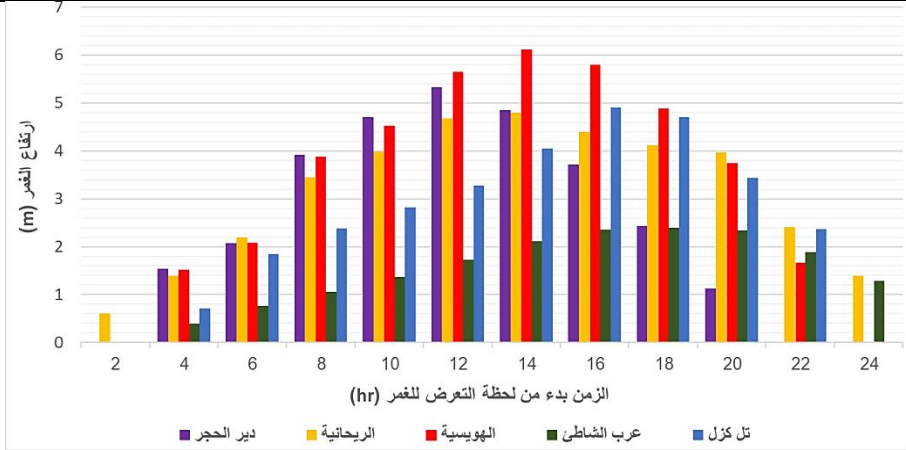
القرى:

بناء على المعطيات الخاصة بكل قرية من حيث موقعها الجغرافي ومنسوبها عن سطح البحر، كما هو موضح في الجدول (8)، ومن خلال مقاطعتها مع مخططات الغمر الناتجة عن الموجة الفيضانية تم تحديد جميع القرى التي تتعرض للغمر كما هو موضح في الجدول (9)، كما يوضح الشكلين (11) (12) علاقة ارتفاع وسرعة الغمر مع الزمن.

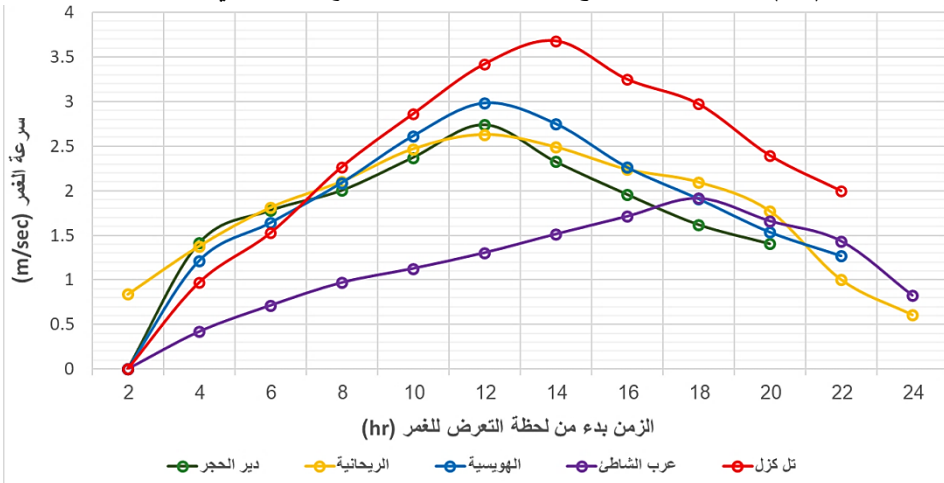
تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها

الجدول (9) نتائج الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على القرى الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

القرى المتأثرة بالفيضان					
الهويسة	عرب الشاطئ	تل كزل	الريحانية	دير الحجر	
50.1	8.4	42.9	49.8	51.3	منسوب الغمر الأعظمي (m)
3.2	4.0	3.5	1.9	3.4	زمن التعرض للغمر (hour)
20.7	20	18.8	22.1	16.2	استمرارية الغمر (hour)
6.1	2.4	4.9	4.8	5.3	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)
2.98	1.91	3.68	2.63	2.74	سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)
336.2	1717.5	525.8	325.9	581.1	عرض الغمر الأعظمي عند الموقع (m)
5.8	7.2	5.5	7.1	6.2	زمن الوصول إلى عرض الغمر الأعظمي (hour)
250.2	1322.5	378.9	195.9	296.1	مسافة دخول المياه ضمن حدود القرية (m)



الشكل (11) العلاقة بين ارتفاع الغمر والزمن عند جميع القرى التي تتعرض للغمر.



الشكل (12) العلاقة بين سرعة الغمر والزمن عند جميع القرى التي تتعرض للغمر.

مناقشة النتائج:

- نلاحظ من الجدول (9) أن القرى التي تتعرض للغمر تشمل (دير الحجر - الريحانية - تل كزل - عرب الشاطئ - الهويسية) حيث تجاوزت مدة الغمر عند جميع القرى (16 ساعة).
- نلاحظ من الشكل (12) أن سرعة الغمر تجاوزت (3m/sec) عند قرية تل كزل واستمرت لمدة (6 ساعات) وبالتالي تصنف ضمن مستويات الخطر العالية والتي تؤدي لإحداث جرف للتربة وضرر بالمزروعات والبيوت البلاستيكية.

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها

- نلاحظ من الجدول (9) أن عرض الغمر الكبير عند عرب الشاطئ والبالغ (1.72km) سيؤدي إلى تعرض أكثر من نصف القرية للغمر والتي تمتد بشكل موازي لشاطئ البحر.

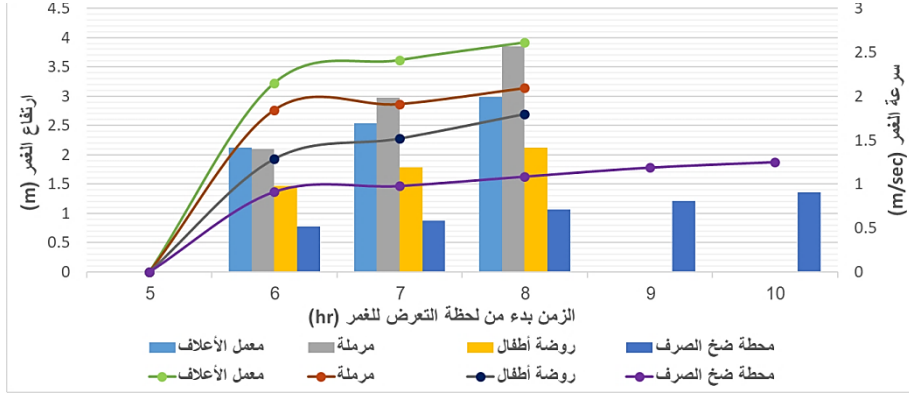
المنشآت:

تعد موجات الغمر الناتجة عن انهيار السدود من أبرز الأخطار التي تهدد سلامة المنشآت ويعتمد تأثيرها على عدة عوامل تشمل ارتفاع واستمرارية الغمر وسرعة الجريان، فكلما زاد الارتفاع، ارتفعت احتمالية تسرب المياه واتلاف المكونات الداخلية، بينما تؤدي الاستمرار الطويل للغمر إلى تدهور الأساسات والمواد الإنشائية، وتشكل السرعات العالية للجريان خطراً مباشراً على استقرار الهياكل خاصة في المنشآت الخفيفة وغير المدعمة، يوضح الجدول (10) تأثير الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على المنشآت الواقعة ضمن منطقة الدراسة، كما توضح الأشكال (13) (14) (15) التغيرات الزمنية لكل من سرعة وارتفاع الغمر عند جميع المنشآت المتأثرة بالفيضان .

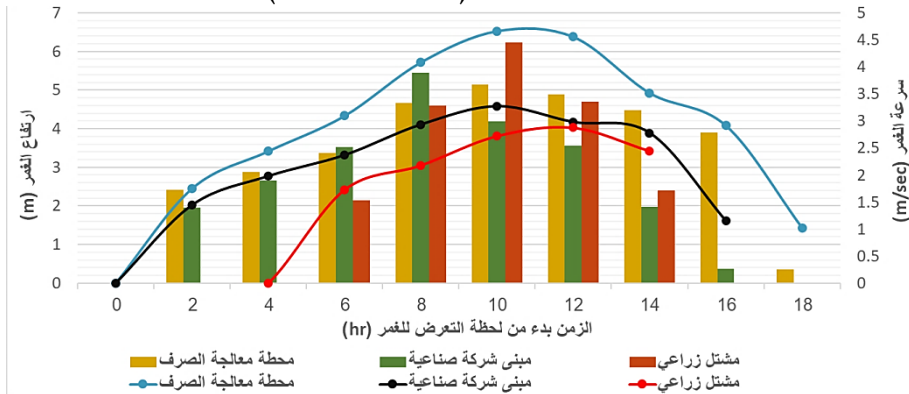
الجدول (10) نتائج الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على المنشآت الواقعة خلف السد.

المنشآت المتأثرة بالفيضان					
سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	استمرارية الغمر (hour)	زمن التعرض للغمر (hour)	منسوب الغمر الأعظمي (m)	
4.66	5.14	14.6	1.8	51.10	محطة معالجة الصرف
3.27	5.45	13.4	2.3	48.75	مبنى شركة صناعية
2.61	2.98	2.3	5.8	52.48	معمل الأعلاف
3.29	5.81	20.2	1.7	40.91	مستودعات لحفظ الحبوب
2.87	6.23	9.1	4.9	39.73	مشتل زراعي
2.09	3.85	2.0	5.9	34.65	مرملة
3.48	5.74	20.8	3.2	38.34	مول تجاري
1.79	2.12	2.1	6.1	31.92	روضة أطفال
1.84	2.24	19.3	4.7	8.64	مدرسة (عرب الشاطئ)
1.25	1.36	3.9	6.0	3.56	محطة ضخ الصرف

1.93	2.19	20.4	3.6	5.79	تجمع منازل وشاليهات
------	------	------	-----	------	---------------------

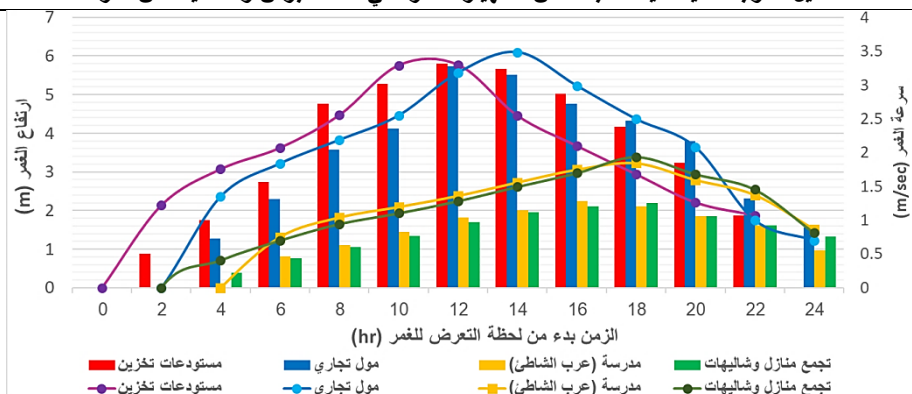


الشكل (13) التغير في سرعة وارتفاع الغمر مع الزمن بالنسبة للمنشآت التي تتعرض للغمر لمدة زمنية قصيرة (أقل من 3 ساعات)



الشكل (14) التغير في سرعة وارتفاع الغمر مع الزمن بالنسبة للمنشآت التي تتعرض للغمر لمدة زمنية متوسطة (من 3 حتى 15 ساعة)

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (15) التغير في سرعة وارتفاع الغمر مع الزمن بالنسبة للمنشآت التي تتعرض للغمر لمدة زمنية طويلة (أكثر من 19 ساعة)

مناقشة النتائج:

أظهرت نتائج المحاكاة الهيدروليكية أن منسوب الغمر الأعظمي عند مواقع المنشآت تراوح بين (31.24m) و(64.86m) بينما تجاوزت استمرارية الغمر في بعض المواقع (20) ساعة، وتجاوزت السرعة العظمى للجريان عند بعض المنشآت (4.6m/sec)، ما يشير إلى احتمالية حدوث أضرار انشائية كبيرة، وقد تبين أن منشآت خدمية وحيوية مثل محطات المعالجة والمدارس ورياض الأطفال تقع ضمن مناطق ذات خطورة عالية نتيجة اجتماع ارتفاع الغمر وسرعة الجريان وزمن الغمر في آن واحد، أما المنشآت ذات زمن الغمر الطويل كالمراكز التجارية والمشاريع الزراعية، فتواجه تهديداً مستمراً يتطلب تعزيز شبكات التصريف وإنشاء حواجز وقائية على أطراف المنشآت. وتشير هذه النتائج إلى ضرورة اتخاذ إجراءات وقائية عاجلة وتخطيط مكاني محكم يراعي سيناريوهات الغمر المستقبلية ضمن منطقة الدراسة.

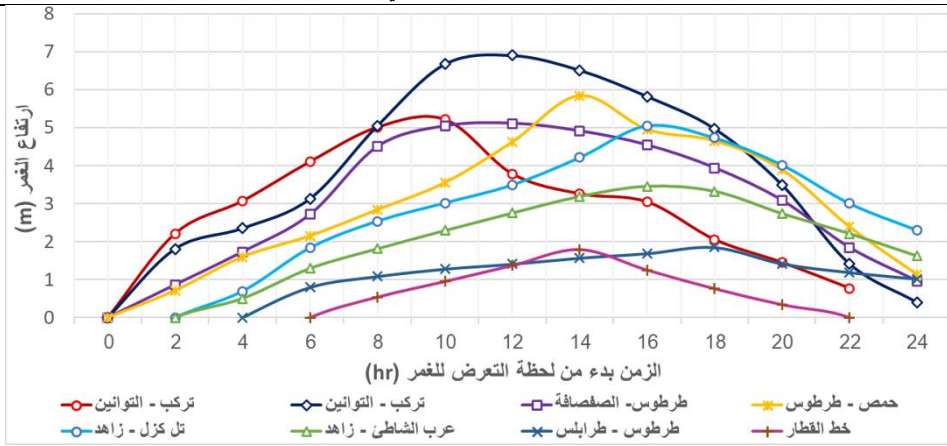
الطرق:

تم تحديد مناسيب الغمر الحاصلة في منطقة تقاطع الطرق مع النهر ومن خلال مقاطعتها مع منسوب أعلى الطريق تم تحديد جميع الطرق التي تتعرض للغمر كما هو موضح في الجدول (11)، كما يوضح الشكلين (16) (17) العلاقة الزمنية لسرعة وارتفاع الغمر على امتداد الطرق المتأثرة بالفيضان.

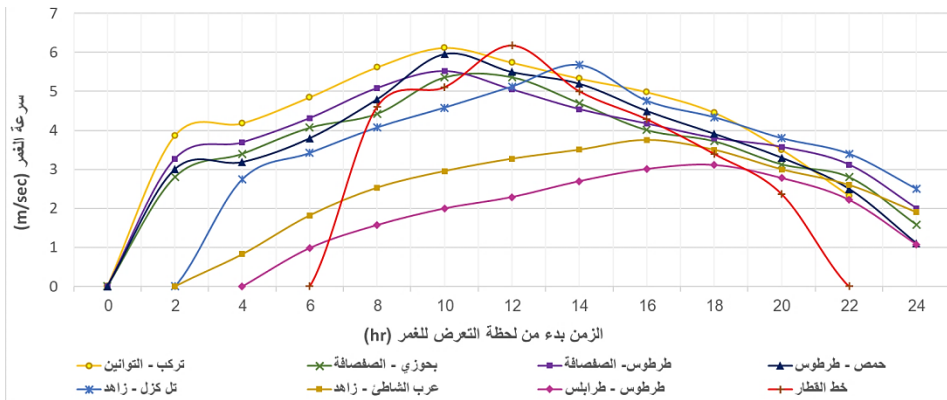
الجدول (11) نتائج الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على الطرقات الواقعة خلف السد.

عرض الغمر الأعظمي على جانبي الطريق (m)	سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	استمرارية الغمر (hour)	زمن التعرض للغمر (hour)	الطريق
444.6	6.12	5.21	21.7	0.3	تركب - التوانين
894.5	5.36	6.9	23.4	0.5	بحوزي - الصفصافة
1121.0	5.52	5.11	23.1	0.9	طرطوس - الصفصافة
867.2	5.96	5.84	22.6	1.4	حمص - طرطوس
854.3	6.18	12.1	7.9	6.5	خط القطار
1537	5.67	5.05	21.7	2.3	تل كزل - زاهد
3539.5	3.75	3.46	20.2	3.8	عرب الشاطئ - زاهد
3050.3	3.11	1.85	19.1	4.9	طرطوس - طرابلس

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (16) يوضح تغير ارتفاع الغمر مع الزمن عند جميع الطرقات المتأثرة بالفيضان.



الشكل (17) يوضح تغير سرعة الغمر مع الزمن عند جميع الطرقات المتأثرة بالفيضان.

مناقشة النتائج:

- نلاحظ من الشكل (17) أن سرعة الغمر العظمى عند جميع الطرقات تجاوزت (5m/sec) باستثناء طريقي (عرب الشاطئ وطرابلس) وبالتالي تصنف هذه الطرقات ضمن مستويات الخطر العالية، حيث تؤدي هذه السرعة إلى توليد تيارات جارفة قادرة على اقتلاع المركبات وتدمير البنية التحتية والسطحية مثل الأرصفة والحواجز بالإضافة إلى تآكل الجسور والتأثير على استقرار الأساسات، حيث تساهم هذه الظروف في تفاقم تحديات إدارة الطوارئ والإنقاذ وتعقيد عمليات التصريف والسيطرة على الفيضان.

5) - نلاحظ من الجدول (11) أن جميع الطرقات ستكون خارج الخدمة بشكل كامل بعد مرور (5 ساعات) على بدء تشكل فتحة الانهيار.

- تُظهر النتائج أن جميع الطرقات الواقعة في منطقة الدراسة تعرضت للغمر لفترات زمنية تتجاوز (19 ساعة)، بينما بلغت مدة الغمر عند سكة القطار (7.9 ساعة) فقط، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع منسوبها مقارنة بالمناطق المحيطة بالإضافة للميول الجانبية العالية على طرفي الجسر الحامل للسكة مما يساهم في تسريع تصريف المياه وتقليل مدة الغمر.

6. إجراءات التحكم بالفيضان والتخفيف من آثاره:

تشكل الفيضانات الناتجة عن انهيار السدود تهديداً بالغاً للمناطق الواقعة ضمن مجرى الغمر لما تحمله من طاقة مائية عالية وسرعة انتشار مفاجئة، لذلك تبرز الحاجة إلى تطبيق مجموعة من الإجراءات الهندسية والتخطيطية التي تهدف إلى تقليل سرعة الغمر وخفض ارتفاعه وتوجيهه بعيداً عن المناطق الحساسة.

تشمل تدابير التخفيف من آثار الموجة الفيضانية مجموعة من الإجراءات المترابطة تُنفذ على مستويين [5]:

1- على نطاق الحوض الفيضاني لضبط التوزع المكاني للغمر وتشمل:

- وضع استراتيجيات متكاملة لإدارة استخدامات الأراضي في المناطق الفيضانية، مثل تحديد مناطق حظر البناء في السهول الفيضانية عالية الخطورة، وتخصيص أحزمة خضراء أو مناطق مفتوحة لامتناس مياه الفيضانات، وتوجيه استخدام الأراضي الزراعية في المناطق المعرضة للغمر نحو زراعة محاصيل تتحمل الغمر المؤقت أو ذات حساسية منخفضة لفيضانات المياه، بالإضافة إلى وضع اشتراطات هندسية خاصة للبناء في المناطق ذات الخطورة المتوسطة وذلك بما يتوافق مع خرائط المخاطر الهيدرولوجية، وإنشاء قواعد بيانات تحتوي على معلومات الفيضانات السابقة والحالية بهدف دعم عمليات التنبؤ بالنماذج الهيدرولوجية وتحسين خطط إدارة الموارد المائية وتقليل المخاطر المستقبلية.
- تصميم المنشآت والبنى التحتية في المناطق المهدة بالغمر وفق معايير انشائية مقاومة للفيضان تشمل رفع وتدعيم الأساسات بالإضافة لاستخدام مواد مقاومة للماء.

2- على امتداد مجرى النهر للتحكم بالتصريف والتخفيف من طاقة الجريان وتشمل:

- تحسين كفاءة المجرى النهري عبر تنفيذ أعمال الصيانة الدورية وتشذيب القناة.
- إقامة الحواجز ومراقبة استمرارية عمل منشآت التحكم المائية.
- إعادة توجيه المجرى بشكل اصطناعي وإنشاء بركة حجز ومحطة تصريف بالضح.

1.6. الإجراءات المقترحة للتخفيف من الآثار السلبية للموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش:

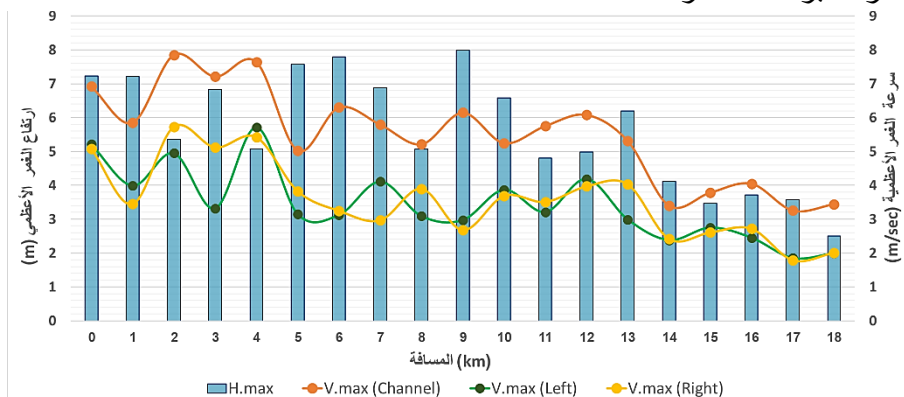
1.1.6. الإجراء الأول: زيادة معامل خشونة ضفاف المجرى (معامل مانغ n) [10].

يعد معامل مانغ أحد العناصر الهيدروليكية الأساسية في نمذجة الجريان السطحي للموجات الفيضانية الناجمة عن انهيار السدود، حيث يمثل الخشونة النسبية لجوانب وقاع المجرى بما في ذلك تأثير الغطاء النباتي، وتضاريس السطح، والعوائق الطبيعية أو الاصطناعية، حيث إن زيادة معامل مانغ تسهم في الحد من اتساع الجبهة المائية أفقياً مع انخفاض الشدة الرأسية للغمر وتراجع طاقة الموجة الفيضانية وبالتالي تأخر زمن وصول الذروة مما يقلل من الآثار المدمرة للموجة الفيضانية، ويتيح وقتاً إضافياً للاستجابة الطارئة.

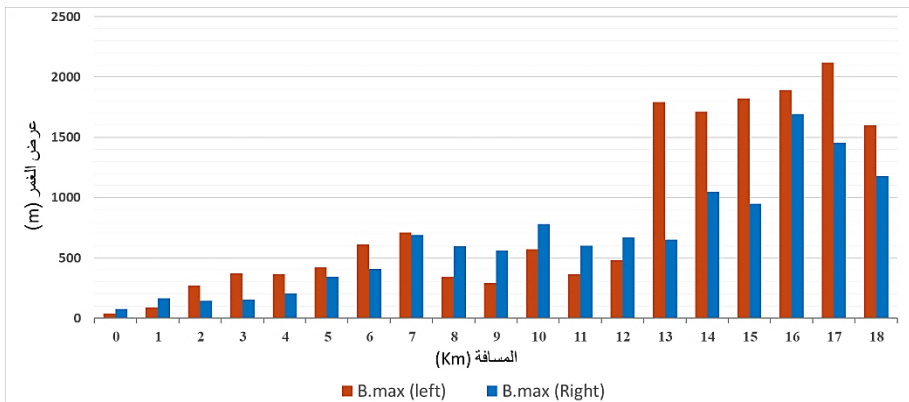
خطوات الحل المقترح:

أولاً: تحدي المتغيرات الهيدروليكية العظمى للموجة الفيضانية قبل تعديل معامل الخشونة:

أظهر المسح الطبوغرافي لضفتي المجرى أن معامل الخشونة الطبيعي في المناطق المعرضة للغمر يتراوح بين (0.035-0.03) وقد تم اعتماد هذا النطاق كأساس في النموذج العددي لمحاكاة الحالة الابتدائية للموجة الفيضانية، ومنه تم تحديد القيم العظمى لسرعة الجريان وارتفاع الغمر وامتداده الجانبي على طول منطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكلين (18) و(19)، وذلك بهدف استخدام هذه القيم كأساس مرجعي لتحليل التغيرات الهيدروليكية الناتجة عن تعديل معامل الخشونة في الخطوة التالية، وتقييم مدى تأثير هذا التعديل على خصائص الموجة الفيضانية وانتشارها عبر منطقة الدراسة.



الشكل (18) القيم العظمى لسرعة وارتفاع الغمر على امتداد منطقة الدراسة.



الشكل (19) الحد الأقصى لامتداد الغمر الجانبي على ضفتي المجرى.

ثانياً: زيادة الخشونة الهيدروليكية للضفاف عبر تكثيف الغطاء النباتي بالتشجير.

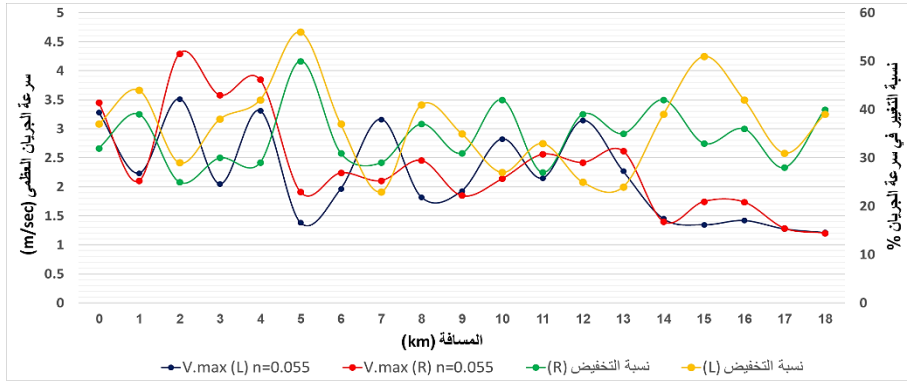
يعد تشجير الضفاف أحد الوسائل الفعالة لزيادة الخشونة الهيدروليكية. إذ يؤدي وجود النباتات ولا سيما الأشجار والشجيرات إلى تحسين مقاومة الضفاف لتدفق لمياه وبالتالي تقليل طاقة الجريان والحد من الآثار الناجمة عن الفيضانات، حيث تم افتراض رفع معامل الخشونة إلى (0.055) من خلال تكثيف الغطاء النباتي بالتشجير على جانبي المجرى وفق المعايير التالية:

- طول المنطقة التي سيتم تشجيرها (18km).
- زراعة الأشجار ذات الجذور العميقة والقوية والتي يمكن أن تنمو ضمن الظروف البيئية لمنطقة الدراسة وتشمل أشجار (البلوط - الصفصاف - الكينا).
- دمج طبقات نباتية متعددة (أشجار - أعشاب) لوفير تأثير خشونة متدرج.
- توفير تباعد مناسب بين الأشجار يتراوح بين (3-5) أمتار، مع التوزيع بشكل شطرنجي من أجل تشتيت طاقة الموجة الفيضانية وخلق مقاومة أكبر للتدفق.

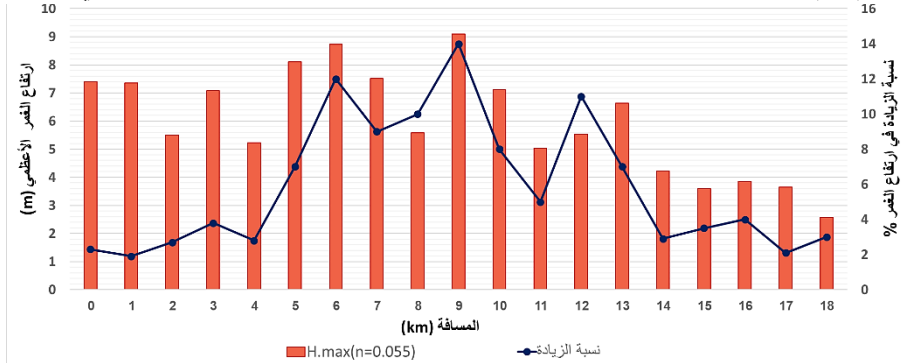
تحليل النتائج:

بهدف تقييم فعالية التدخل البيئي المتمثل في تشجير المنطقة، تم إعداد سيناريو للغمر باستخدام برنامج (Hec-Ras) مع تعديل قيم معامل ماننغ ($n=0.055$) لتعكس تأثير زيادة الغطاء النباتي، وقد تم تحليل نتائج هذا السيناريو من خلال الأشكال (20) (21) (22) والتي تعرض التغيرات في السرعة العظمى للجريان، وارتفاع الغمر وعرضه، بالإضافة إلى نسب التغير المرافقة وذلك بالمقارنة مع الحالة الابتدائية.

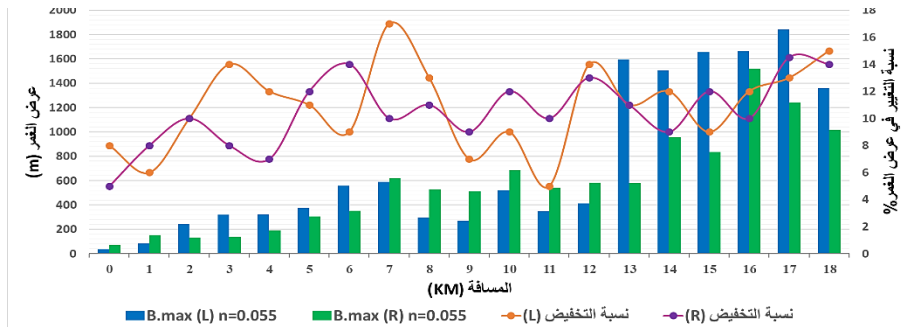
تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها



الشكل (20) سرعة الجريان العظمى بعد تشجير المنطقة ونسب الانخفاض على ضفتي المجرى.



الشكل (21) ارتفاع الغمر الأعظمي ونسبة زيادته بعد تحسين الغطاء النباتي (التشجير).



الشكل (22) عرض الغمر الأعظمي ونسبة الانخفاض على ضفتي النهر بعد تحسين الغطاء النباتي.

تقييم النتائج:

استناداً إلى السيناريو العددي المتمثل في رفع معامل الخشونة إلى (0.055) نتيجة اقتراح تشجير ضفتي النهر، أظهرت نتائج المحاكاة ما يلي:

- سرعة الغمر انخفضت بمتوسط قدره (35.4%) مما يؤكد أن زيادة مقاومة الجريان الناتجة عن الخشونة أدت إلى خفض طاقة الموجة الفيضانية وسرعتها.
- ارتفاع الغمر الأعظمي زاد بمتوسط قدره (5.9%) وهذا يشير إلى أن زيادة الخشونة أدت إلى زيادة في ارتفاع الغمر نتيجة تقليل سرعة الجريان وتراكم المياه محلياً.
- عرض الغمر الأعظمي انخفض بمتوسط قدره (10.5%) أي أن الموجة الفيضانية أصبحت أكثر تركيزاً وضيقة النطاق مما يقلل من مساحة المناطق المتأثرة بالغمر على الأطراف.

وبالتالي نستنتج أن زيادة الخشونة تخفض الطاقة الحركية للموجة الفيضانية، وتحد من امتدادها العرضي، وهذا يعد مؤشراً إيجابياً على فعالية هذا النوع من الإجراءات في إدارة مخاطر الفيضانات ضمن المناطق المعرضة للغمر.

2.1.6. الإجراء الثاني: إعداد خطة طوارئ:

تعد خطة الطوارئ من الإجراءات الأساسية في إدارة المخاطر الناجمة عن الفيضانات، فهي تحدد الإجراءات الفورية الواجب اتخاذها، ومسارات الإخلاء، وأدوار الجهات المعنية، مما يضمن سرعة التصرف وتقليل الفوضى، وتعرف بأنها مستند مكتوب يعدّه القائمين على السد حيث يصف هذا المستند خطة مفصلة لمنع أو تقليل آثار فشل السد أو أحد الهياكل الملحقة به [6].

تتألف خطة الطوارئ الخاصة بسد الأبرش من المحاور التالية: [11]

أولاً: تحديد مستوى الخطر:

يمثل تصنيف مستوى الخطر أحد المحاور الأساسية في خطط الطوارئ للفيضانات، حيث يتم تقسيمه إلى ثلاث درجات وفقاً لحالة السد وحجم الفيضان المحتمل وسرعة تطوره، كما هو موضح في الجدول (12).

الجدول (12) مستوى الطوارئ لحالات الفيضان الناجمة عن السدود.

مستوى الطوارئ	الحالة
1	<ul style="list-style-type: none"> - ارتفاع منسوب المياه في الخزان بنسبة 80-90% من السعة التصميمية. - زيادة معدل التدفق الوارد بنسبة 20-30% أعلى من التدفق الاعتيادي. - اكتشاف تصدعات سطحية طفيفة أو ترسيبات غير مألوفة عند فحص السد الروتيني.
2	<ul style="list-style-type: none"> - سرعة تدفق غير اعتيادية خلال ممرات التصفية أو عند النواة الغضارية. - زيادة مستمرة في تشققات السد أو الانزلاقات الطينية بمعدل محدد (مثلاً أكثر من 2 سم/شهر). - ارتفاع منسوب المياه خلف السد إلى ما يزيد عن 95% من السعة التصميمية للخزان، مع استمرار تدفق المياه.
3	<ul style="list-style-type: none"> - ظهور فتحة ابتدائية في جسم السد أو نواة السد الغضارية. - انخفاض مفاجئ في منسوب المياه خلف السد نتيجة نزيف داخلي. - معدل تدفق مفاجئ ومتزايد في المجرى السفلي يعكس بدء انطلاق موجة فيضانية.

ثانياً: الأدوار والمسؤوليات:

- مراقبي أو مشغلي السد:

1. عند رصد أو تسجيل حادثة طارئة (غير عادية)، يتم مباشرة تحديد مستوى الطوارئ استناداً إلى المعايير المحددة في الجدول (12).
2. يتم على الفور تفعيل نظام الإبلاغ لضمان إخطار المعنيين بالحالة الراهنة.
3. تزويد مكتب إدارة الطوارئ بالحالة الراهنة بهدف دعم عملية اتخاذ القرار بناءً على تحذيرات وإجراءات الإخلاء ذات الصلة.
4. إجراء عملية مراجعة دورية لتحديث وتعديل خطة الطوارئ لضمان توافرها مع المتغيرات والمستجدات الميدانية.

- مكتب الجاهزية:

1. يتولى المكتب مهام التنسيق الرئيسي لتكامل كافة أنشطة الاستجابة لحالات الطوارئ وضمان توحيد الجهود الميدانية.
2. يتولى مهمة تفعيل نظام الإنذار المبكر في القرى التالية (دير الحجر - الريحانية - تل كزل - عرب الشاطئ - الهويسة) والشروع في عملية الإخلاء العاجل للسكان وتوجيههم

إلى مواقع آمنه وقادر على استيعاب الأعداد المتوقعة، كما هو موضح في الجدول (13).

الجدول (13) خطة الإخلاء للقرى المعرضة للغمر.

مدة الإخلاء العظمى من لحظة الانهيار (hour)	أقرب مكان آمن		القرية المعرضة للغمر
	البعد عن القرية (km)	المنطقة	
3	1.4	قرية الجماسية	دير الحجر
1.5	2.6	قرية زاهد	الريحانية
3.1	1.1	قرية الجماسية	تل كزل
2.7	2.2	قرية ظهر الشمرة	الهويسة
3.5	التوجه إلى المكان الأيمن الموضح بالشكل (23)		عرب الشاطئ



الشكل (23) نقطة التوجه الآمن لسكان عرب الشاطئ والمركبات العابرة للطرق المجاورة. 3. يشرف المكتب على تنفيذ خطة الإخلاء الفورية لكافة المنشآت، وفق التسلسل الموضح في الجدول (14).

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها

الجدول (14) يوضح تسلسل إخلاء المنشآت على حسب الأهمية وزمن التعرض للغمر.

المنشأة	تسلسل الإخلاء	المنشأة	تسلسل الإخلاء
مول تجاري	7	روضة أطفال	1
مشتل زراعي	8	مدرسة (عرب الشاطي)	2
معمل الأعلاف	9	تجمع منازل وشاليهات	3
مرملة	10	مستودعات حبوب واسمنت	4
محطة ضخ الصرف	11	محطة معالجة الصرف	5
		مبنى شركة صناعية	6

4. إصدار تعليمات لازمة بإغلاق جميع الطرق المؤدية إلى المناطق التي تم إخلاؤها.

5. يمتلك المكتب الصلاحية لتحديد وقت انتهاء حالة الطوارئ في الحوز السفلي.

- الدفاع المدني والشرطة:

1. تطبيق أنظمة الاستجابة المباشرة بما في ذلك الإخلاء المنظم للسكان، إغلاق الطرق،

وتطبيق تدابير الحماية الميدانية لحماية الأرواح والممتلكات.

2. اتخاذ الإجراءات اللازمة لتعليق حركة المرور في الطرق المعرضة للغمر ونشر

شاخصات مرورية على مسافات مدروسة كما هو موضح في الجدول (15).

3. توجيه المواطنين والمركبات المارة على الطرقات إلى المناطق الآمنة بما يتوافق مع

الجدول (15).

4. الإسهام في مراجعة وتحديث خطط الاستجابة للطوارئ بناء على التقييمات المستجدة

للمخاطر.

الجدول (15) مواقع شواخص منع المرور ونقاط الأمان لحركة المركبات.

أقرب مكان آمن للمركبات العابرة للطريق (m)	مكان وضع الشاخصة (المسافة عن ضفة النهر) (m)	الطريق
بلدة تركب	600	تركب - التوائين
قرية بحوزي	1100	بحوزي - الصفصافة
قرية ظهر الشمرة	1400	طرطوس - الصفصافة

	1000	حمص - طرطوس
قرية الجماسية	1700	تل كزل - زاهد
التوجه إلى المكان الآمن الموضح في الشكل (23)	3800	عرب الشاطئ - زاهد
	3300	طرطوس - طرابلس

7. الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تبين من الدراسة أن مدة الغمر تجاوزت (16) ساعة عند جميع القرى المتأثرة بالفيضان، إلا أن هذه الاستمرارية لم تكن مرتبطة بشدة وارتفاع الغمر، مما يعكس تأثير الخصائص الطبوغرافية والانحدار المحلي على سلوك انحسار المياه ضمن كل موقع.
- أظهرت الدراسة أن المنشآت الخدمية والحيوية كانت الأكثر عرضة للخطر، خاصة محطة المعالجة والمستودعات التي تعرضت لارتفاع غمر تجاوز (5) أمتار خلال زمن أقل من ساعتين، مما يستعدي تعزيز إجراءات الحماية عند هذه المواقع.
- ضرورة الاستجابة السريعة واتخاذ إجراءات وقائية في المنشآت التعليمية مثل روضة الأطفال والمدرسة، لكونها مواقع حساسة للغمر وتضم فئات عمرية ضعيفة.
- تبين من الدراسة أن جميع الطرقات ستعرض للغمر بعد مرور (4.9) ساعة من بداية الانهيار، وستبقى خارج الخدمة لمدة تتجاوز (19) ساعة، مما يعيق عمليات الإخلاء والاستجابة الطارئة.
- زيادة معامل الخشونة نتيجة تشجير المنطقة أدى إلى انخفاض واضح في سرعة الجريان وعرض الغمر، بينما أدى تراكم المياه الناتج عن تباطؤ الجريان إلى ارتفاع في منسوب الغمر الأعظمي، وهذا أمر يجب مراعاته عند تخطيط ودراسة إجراءات الحماية المكانية.
- تؤكد الدراسة أن إعداد خطة طوارئ واضحة تصنف مستويات الخطر وتحدد الأدوار والمسؤوليات تساهم بشكل فعال في تعزيز جاهزية الاستجابة وتقليل الآثار المحتملة للموجة الفيضانية.

التوصيات:

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها

- ضرورة اعتماد النمذجة العددية كأداة مناسبة لتحليل سيناريوهات الفيضان الناتجة عن انهيارات السدود، بما في ذلك دمج نماذج الجريان المستقر وغير المستقر.
- ضرورة منح المنشآت التعليمية والخدمية الواقعة ضمن مناطق مهددة بالغمر أولوية في خطط الحماية والإخلاء وذلك نظراً لحساسيتها الوظيفية.
- اعتماد زيادة معامل الخشونة كأحد المعايير التصميمية في نمذجة الفيضانات، خصوصاً في المناطق ذات الخطورة العالية وذلك لدوره الفعال في إعادة توزيع الطاقة وتقليل الأضرار.
- ينبغي توجيه الدراسات المستقبلية نحو مقارنة بدائل أخرى لتقليل آثار الموجات الفيضانية مثل انشاء مناطق غمر موجه، أو تحسين المقاطع العرضية للمجري المائية، إلى جانب دراسة تأثير الخصائص المكانية والتوزع العمراني للمنطقة على سلوك الفيضانات.

8. تقييم المنهجية:

نقاط القوة:

- اعتماد نموذج (HEC-RAS) المعروف بموثوقيته العالمية في محاكاة الجريان غير المستقر الناتج عن انهيار السدود.
- الاستناد إلى القياسات الميدانية في معايرة النموذج الرقمي، مما ساهم في تقليل هامش الخطأ وزيادة دقة النتائج.
- توظيف النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) لإجراء تحليل طبوغرافي ثلاثي الأبعاد للتوزع المكاني للغمر.

نقاط الضعف:

- الاعتماد على فرضيات تجريبية لانهيار السد قد لا تعكس بدقة جميع خصائص السد المدروس.
- محدودية دقة البيانات المكانية في المناطق التي تتسم بتباينات دقيقة في الارتفاع.
- صعوبة قياس التدفقات الصغيرة بدقة عالية بسبب القيود المرتبطة بالأدوات المستخدمة.
- محدودية نطاق القياسات الحقلية من حيث التكرار المكاني والزمني، مما قد يؤثر على شمولية تمثيل النموذج.
- هذه القيود لا تقلل من صلاحية النتائج، لكنها تشير إلى الحاجة إلى مزيد من البيانات عالية الدقة ودراسات تفصيلية لتعزيز موثوقية التنبؤات المستقبلية.

9. المراجع:

المراجع العربية

- 1- مريم، امتثال (2015) – دراسة موجة فيضانية ناتجة عن انهيار سد باستخدام برنامج Hec-Ras. رسالة ماجستير في الهندسة المائية، جامعة دمشق.
- 2- إبراهيم، بتول (2019) – تخطيط الموارد المائية وإدارتها في حوض نهر الأبرش. رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة حمص.
- 3- مشروع المراقبة والإدارة البيئية المتكاملة لنهر الأبرش. (2013). تحديد الواقع البيئي الراهن للموارد المائية السطحية في حوض النهر، المرحلة الأولى. وزارة الدولة لشؤون البيئة، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد. دمشق.
- 4- نسطه، ريم (2020) – تحديد حرم المصادر المائية السطحية (دراسة حالة نهر الأبرش). رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة حمص.
- 5- حلاوة، ليلي (2014) - الإدارة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي والتخفيف من آثارها (منطقة الدراسة مجرى نهر العاصي بين سد قطينة والرستن ومجرده). رسالة دكتورا في الهندسة المدنية، جامعة حمص.
- 6- سلوم، حنان (2022) – إعداد خطة طوارئ للسدود باستخدام برنامج Hec-Ras (حالة دراسية سد تل حوش). رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة حمص.

المراجع الأجنبية

- 7- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. Remote Sensing, 13(18), 3778.
- 8- Da Tamiru, H., & Dinka, M. O. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. Journal of Hydrology: Regional Studies, 36, 10855.
- 9- Khayyal, H. K., Zeidan, Z. M., & Beshr, A. A. (2022). Creation and spatial analysis of 3D city modeling based on GIS data. Civil Engineering Journal, 8(1), 105.
- 10- De Doncker, L., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meire, P., & Quintelier, J. (2009). Determination of the Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river. Environmental fluid mechanics, 9, 549-567.
- 11- Plans, D. E. A. (2013) - Guidelines for Developing Guidelines for Developing Dam Emergency Action Plans, Publication no. 92-22.