

## Analysis The Flood Resulting From Supposed Collapse About AL-THAWRA Dam And Put The Flood Maps

Dr. Mounzer Hammad \*

(Received 10 / 5 / 2023. Accepted 5 / 7 / 2023)

### □ ABSTRACT □

This research involves analysis The Flood Resulting from Supposed Collapse About AL THAWRA Dam in Alsanober basin in Lattakia city. Where the mathematical model of the study area was built using with the digital elevation model, collecting data related to dam and reservoir, predict the parameters of the expected breach by applying equations (XU, Y. and Zhang, 2009) namely: The height of the breach formed, the width of the breach, the lateral inclinations, time required to develop the breach. by using the software: HEC-RAS. The results of the worst scenario were the collapse resulting from the overtopping, a flood wave of great abundance  $44778 \text{ m}^3/\text{sec}$ , the result is an hour after the start of the collapse, Where the breach reaches its final form after an 50 minutes. The average velocity of a flood wave ranges to (23.45) m/sec along the stream and the water depths ranged from 0 to 20 meter, it is shown on the immersion maps. human losses may occur unless a warning and evacuation is given in time.

**Keywords:** virtual collapse - AL THAWRA Dam - Map Floods-Two-Dimensional Model-GIS – HEC-RAS.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

---

\* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: mounzer.hammad@gmail.com

## نمذجة ثنائية الأبعاد لموجة فيضانية ناتجة عن انهيار افتراضي لسد الثورة

د. منذر حماد\*

(تاريخ الإيداع 10 / 5 / 2023. قُبِلَ للنشر في 5 / 7 / 2023)

### □ ملخص □

يتضمن هذا البحث تحليل الفيضان الناتج عن انهيار افتراضي لسد الثورة وهو سد ركامي بنواة غضارية يقع في حوض الصنوبر في محافظة اللاذقية. وذلك من خلال بناء نموذج رياضي ثنائي الأبعاد لمنطقة الدراسة بعد جمع بيانات عن السد والخزان والاستعانة بنموذج الارتفاعات الرقمية، والتنبؤ ببارامترات الخرق المتوقع بتطبيق معادلات (XU, Y. and Zhang, 2009) وهي: ارتفاع الخرق المتشكل، عرض الخرق، الميول الجانبية، الزمن اللازم لتطور الخرق، وتم استخدام برنامج HEC-RAS في بناء هذا النموذج. أظهرت النتائج خروج موجة فيضانية ضخمة ناتجة عن الانهيار بسبب انسكاب الماء فوق قمة السد (Overtopping)، حيث بلغت غزارتها الاعظمية ( $44778 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) بعد 55 دقيقة من بدء الانهيار، يصل الخرق الى الشكل النهائي بعد ساعتين و34 دقيقة، وتصل سرعة الموجة الفيضانية بالقرب من السد إلى  $23.45 \text{ m/sec}$ ، تراوحت أعماق الغمر بين  $(0 - 20) \text{ m}$ ، وتساعد خرائط الغمر التي توضح المناطق المتضررة من سرعات المياه الأعظمية وأعماق المياه الكبيرة، في وضع خطط الطوارئ.

الكلمات المفتاحية: انهيار افتراضي - سد الثورة - خرائط الغمر - ثنائي الأبعاد - HEC-RAS-GIS.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ -قسم الهندسة المائية والري- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية. [mounzer.hammad@gmail.com](mailto:mounzer.hammad@gmail.com)

**مقدمة:**

توفر السدود فوائد كثيرة للمجتمع، من حيث توفير المياه للشرب والري والأغراض الصناعية. ومع ذلك، فإن خطر انهيارها المحتمل هو من أكثر الكوارث تدميراً. انهيار السد هو حدث كارثي ذو احتمالية منخفضة وعالية الخطورة يمكن أن يؤدي إلى حدوث فيضان مفاجئ قصير الأجل ومدمر للغاية، مع آثار اقتصادية واجتماعية كبيرة على كل المناطق الواقعة في مجرى الحوض السفلي للسد [1]. يمكن أن يكون سبب انهيار السد هو انسكاب الماء فوق عتبه بسبب التصميم غير المناسب للمفيض وعدم كفاية سعة الخزان للتدفقات الكبيرة القادمة نتيجة عاصفة مطرية شديدة، أو بسبب الأنبية، والانزلاقات التي تحصل على الوجه الأمامي والخلفي للسد، أو كنتيجة لتميع التربة بسبب الزلازل وفشل أساسات السد. ذكرت اللجنة الدولية للسدود الكبيرة أن حوالي ثلث حالات انهيار السدود ناتجة عن انسكاب الماء فوق عتبة السد (overtopping). في المقابل، فإن الثلث الثاني ناتج عن الأنبية، والثلث المتبقي من حالات الفشل ناتج عن عوامل أخرى (انزلاقات أو التميع) [2]. تعد دراسة انهيار السدود ورسم خرائط الغمر الناجم عن الفيضان أمراً مهماً وحيوياً لتحديد خصائص الفيضان الناتج عن انهيار السد وامتداد المنطقة المهددة بالغمر لوضع خطة طوارئ ورسم السياسات العمرانية [3]. تم استخدام العديد من النماذج أو البرامج لتحليل حالات انهيار السدود وامتداد موجة الفيضان في اتجاه المجرى عن طريق رسم خرائط الغمر الناجمة عن الفيضان. ويعتبر نموذج نظام تحليل النهر (HEC-RAS) من أكثر النماذج استخداماً، وقد تم تصميمه لعمليات حسابية مختلفة للتدفق الثابت وغير المستقر اعتماداً على النمذجة أحادية البعد وثنائية الأبعاد.

**أهمية البحث وأهدافه:****أهمية البحث:**

• فهم كيفية حدوث انهيار سد الثورة.

• نمذجة الانهيار وفق سيناريوهات مختلفة والتنبؤ بهيدروغراف الفيضان.

**أهداف البحث:**

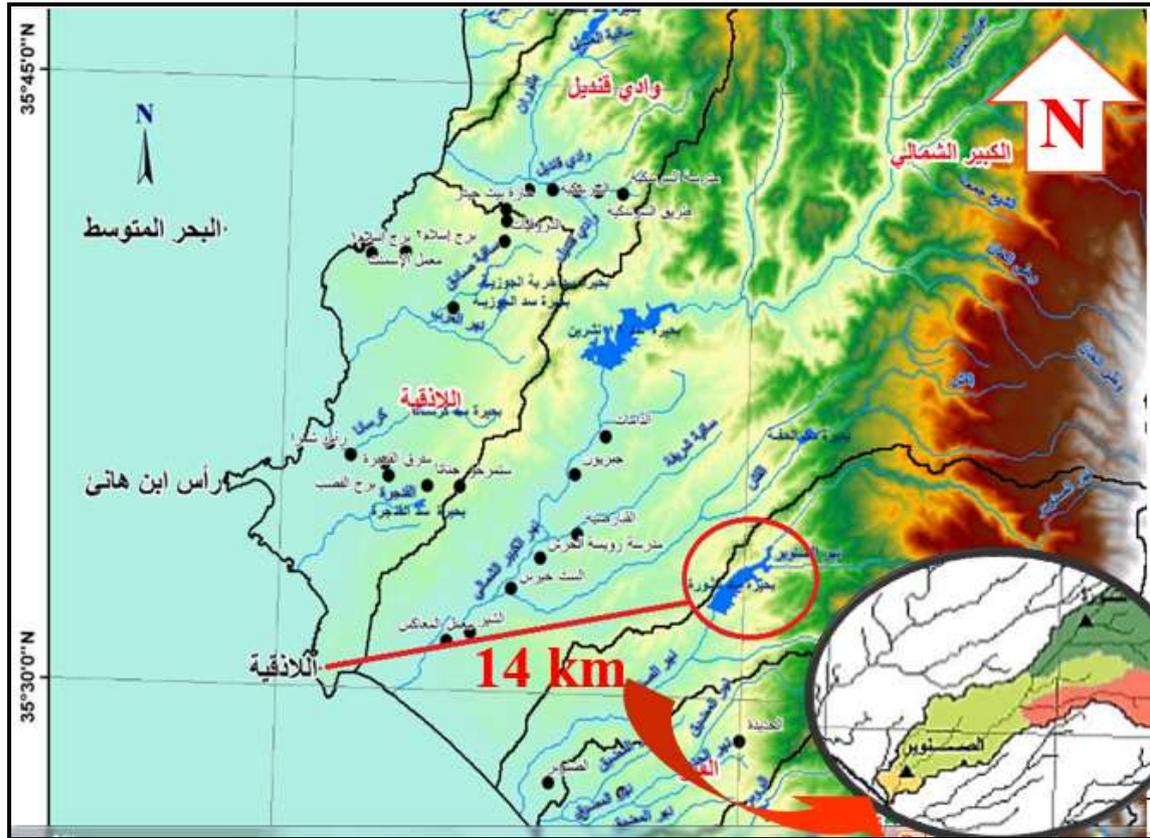
1. تحليل حادثة الانهيار الافتراضي لسد الثورة باستخدام النمذجة ثنائية الأبعاد، والتنبؤ ببارامترات الخرق المسبب للانهيار، وتقدير التدفق الأعظمي الخارج منه، وشكل هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار، والزمن اللازم لتطور الخرق وانهيار السد.

2. إعداد خرائط الغمر الناتجة عن الانهيار لمنطقة البحث.

**منطقة البحث:**

يُعتبر سد الثورة أحد أهم السدود في حوض الساحل، ويبعد حوالي 25 km جنوب شرق مدينة اللاذقية عند قرية طرجانو و 14 Km خط نظر، بُني سد الثورة على نهر طرجانو عند قرية الدرياشية، الارتفاع الأعظمي للسد (76.5 m) والطول عند القمة 1100 m، وهو سد ركامي ذو نواة غضارية، ميل الوجه الأمامي من القمة وحتى المنسوب 121.2m يعادل 1/2 والميل الأدنى منه يعادل 1/2.75، ميول الوجه الخلفي متغيرة وتعادل 1/2 عند القمة و 1/2.75 عند الأساس ويبلغ التخزين التصميمي لبحيرته 97.88 MCM وذلك عند المنسوب 159.25 m.

نهر الصنوبر من أهم أنهار المنطقة الساحلية، يبدأ جريانه من القمم الغربية لسلسلة الجبال الساحلية من ارتفاع 1300m، ويتشكل من وديان متعددة وأنهار صغيرة، وتعد قمة جبل النبي متى أعلى نقطة في الحوض إذ يبلغ ارتفاعها 1562 m، ويصب في البحر المتوسط على بعد 10 km، جنوب مدينة اللاذقية. ويتحدد بخطوط الطول والعرض التي تمر من أبعد نقاط الحوض، وتقع أبعد نقطة لحوض نهر الصنوبر في الجهة الشمالية على خط عرض ( $35^{\circ}25'00''$ ) شمال خط الاستواء أما من الجهة الشرقية فتقع أبعد نقطة على خط الطول ( $36^{\circ}10'00''$ ) بينما تقع النقطة الأبعد من الجهة الغربية عند الخط ( $35^{\circ}53'00''$ ) شرق خط غرينتش.



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.

## طرائق البحث ومواده:

يعتمد تنفيذ البحث على تطبيق معادلات زهانغ (XU, and Zhang, 2009)، ونموذج الارتفاعات الرقمية، مع جمع المعطيات المرتبطة بالسد والخزان، والبرنامج المستخدم هو: HEC-RAS.

### 1. معادلات زهانغ 2009 Equations Zhang

نموذج الانهيار يتصل بشكل مباشر مع السبب المؤدي للانهيار وكذلك نوع السد [4] وبعد البحث في انهيار السدود تبعاً للأسباب تم التوصل إلى نتيجة مفادها أن 38% من حالات الفشل حول العالم ناتجة عن انسكاب المياه فوق عتبة السد مباشرة (التآكل الخارجي)، و 23% من الفشل بسبب مشاكل الأساس مثل التسرب المفرط، زيادة ضغط ماء

المسام، التآكل الداخلي وغيرها، و6% من الحالات تعود إلى عيوب تصميمية أو تنفيذية وربما من الزلازل أو الأعمال التخريبية وحوالي 33% نتيجة التسرب أو الفشل الأنبوبي على طول القنوات الداخلية للسد. الافتراض الأساسي في هذا البحث هو سيناريو انسكاب الماء فوق عتبة السد (Overtopping)، والناتج عن حدوث أمطار وعواصف أدت إلى وصول كميات كبيرة من المياه إلى بحيرة السد، وأن المفيض الجانبي غير كافي لتصريفها.

• حالة انهيار سد بسبب (overtopping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب عتبة السد وعند مرور موجة فيضانية باحتمال 1% 0.

التنبؤ ببارامترات الخرق

1- حساب ارتفاع الخرق:

$$\frac{H_b}{H_d} = 0.453 - 0.025 * \left( \frac{H_d}{H_r} \right) + DT + FM + ER$$

حيث:

$H_b$ : ارتفاع الخرق النهائي بالـ m.

$H_d$ : ارتفاع السد بالـ m  $\leftarrow 76.5$ .

$H_r$ : يعتبر ارتفاع مرجعي للتمييز بين السدود الكبيرة والصغيرة ويساوي 15 m.

DT: ثابت يتعلق بنوع السد 0.145 في حال السدود المزودة بنواة كتيمة، 0.176 للسدود المزودة بشاشة بيتونية، 0.132 للسدود الركامية.

FM: ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين 0.218 للفشل الناتج عن التدفق من فوق القمة، 0.236 للفشل الأنبوبي.

ER: ثابت يتعلق بقابلية التآكل للمواد المكونة للسد وتأخذ القيم التالية في حال القابلية العالية 0.254، قابلية متوسطة 0.168، قابلية منخفضة 0.031.

$$\frac{H_b}{76.5} = 0.453 - 0.025 * \left( \frac{76.5}{15} \right) + 0.145 + 0.218 + 0.168 \quad (1)$$

$$\Rightarrow H_b = 65.522 \text{ m}$$

وهو ارتفاع الخرق المتشكل، وبالتالي منسوب قاع الخرق يساوي:

$$\Rightarrow 98.13 \text{ m}$$

ويتم حساب البارامترات الموافقة لهذا الارتفاع وهي:

2- عرض الخرق الوسطي:

$$\frac{B_{av}}{H_b} = 0.787 * \left( \frac{H_d}{H_r} \right)^{0.133} * \left( \frac{V_w^{1/3}}{H_w} \right)^{0.652} * e^{B3} \quad (2)$$

حيث:

$B_{av}$ : العرض الوسطي للخرق بالـ m.

$V_w$ : حجم الماء في الخزان لحظة فشل السد بالـ  $m^3 \leftarrow 115 \text{ Mm}^3$ .

$H_b$ : ارتفاع الخرق النهائي بالـ m.

$H_d$ : ارتفاع السد بالـ m.

$H_w$ : ارتفاع الماء فوق منسوب قاع الخرق لحظة الفشل.

$B3$ : معامل يتعلق بخصائص السد وقيمته تساوي:

$$B3 = DT + FM + ER \quad (3)$$

$DT$ : ثابت يتعلق بنوع السد  $-0.041$  في حال السدود المزودة بنواة كتيمية،  $-0.026$  للسدود المزودة بشاشة بيتونية،  $-0.226$  للسدود الركامية.

$FM$ : ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين  $0.149$  للفشل الناتج عن التدفق من فوق القمة،  $-0.239$  للفشل الأنبوبي.

$ER$ : ثابت يتعلق بقابلية التآكل للمواد المكونة للسد وتأخذ القيم التالية في حال القابلية العالية  $0.291$ ، قابلية متوسطة  $-0.14$ ، قابلية منخفضة  $-0.391$ .

$$B3 = -0.041 + 0.149 - 0.14 = -0.032$$

$$\frac{B_{av}}{65.522} = 0.787 * \left(\frac{76.5}{15}\right)^{0.133} * \left(\frac{(115 * 10^6)^{1/3}}{65.872}\right)^{0.652} * e^{-0.032}$$

$$\Rightarrow B_{av} = 228.3 \text{ m}$$

3- حساب عرض الخرق من الأعلى:

$$\frac{B_t}{H_b} = 1.062 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.092} * \left(\frac{V_w^3}{H_w}\right)^{0.508} * e^{B2} \quad (4)$$

حيث:

$B_t$ : عرض الخرق من الأعلى بالـ m.

$B2$ : معامل يتعلق بخصائص السد وقيمته تساوي:

$$B2 = DT + FM + ER \quad (5)$$

$DT$ : ثابت يتعلق بنوع السد  $0.061$  في حال السدود المزودة بنواة كتيمية،  $0.088$  للسدود المزودة بشاشة بيتونية،  $-0.0896$  للسدود الركامية.

$FM$ : ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين  $0.299$  للفشل الناتج عن التدفق من فوق القمة،  $-0.239$  للفشل الأنبوبي.

$ER$ : ثابت يتعلق بقابلية التآكل للمواد المكونة للسد وتأخذ القيم التالية في حال القابلية العالية  $0.411$ ، قابلية متوسطة  $-0.062$ ، قابلية منخفضة  $-0.289$ .

$$B3 = 0.061 + 0.299 - 0.062 = 0.298$$

$$\frac{B_t}{65.522} = 1.062 * \left(\frac{76.5}{15}\right)^{0.092} * \left(\frac{(115 * 10^6)^{1/3}}{65.872}\right)^{0.508} * e^{0.289}$$

$$\Rightarrow B_t = 297.9 \text{ m}$$

وتعطى الميول الجانبية للخرق بالمعادلة:

$$Z = \frac{B_t - B_{av}}{H_b} = \frac{297.9 - 228.3}{65.522} = 1.06 \quad (6)$$

4- الزمن اللازم لحدوث الانهيار:

$$\frac{T_f}{T_r} = 0.304 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.707} * \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{1.228} * e^{B5} \quad (7)$$

حيث:

$T_f$ : الزمن اللازم لتشكيل الخرق وانهيار السد بالكامل مقدراً بالساعة.

$T_r$ : زمن ساعة واحدة.

B5: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمه تساوي:

$$B5 = DT + FM + ER \quad (8)$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد -0.327 في حال السدود المزودة بنواة كتيمة، -0.674 للسدود المزودة بشاشة بيتونية، -0.189 للسدود الركامية.

FM: ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين -0.579 للفشل الناتج عن التدفق من فوق القمة، -0.611 للفشل الأنبوبي.

ER: ثابت يتعلق بقابلية التآكل للمواد المكونة للسد وتأخذ القيم التالية في حال القابلية العالية -1.205، قابلية متوسطة -0.564، قابلية منخفضة 0.579.

$$B5 = -0.327 - 0.579 - 0.564 = -1.47$$

$$\frac{T_f}{1} = 0.304 * \left(\frac{76.5}{15}\right)^{0.707} * \left(\frac{(115 * 10^6)^{1/3}}{65.872}\right)^{1.228} * e^{-1.47}$$

$$T_f = 2.57 \text{ Hour}$$

5- حساب التدفق الخارج من الخرق:

$$\frac{Q}{\sqrt{g * V_w^{5/3}}} = 0.175 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.199} * \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{-1.247} * e^{B4} \quad (9)$$

حيث:

Q: التدفق الخارج من الخرق مقدراً  $m^3/sec$ .

g: تسارع الجاذبية الأرضية.

B4: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمه تساوي:

$$B4 = DT + FM + ER \quad (10)$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد -0.503 في حال السدود المزودة بنواة كتيمة، -0.591 للسدود المزودة بشاشة بيتونية، -0.649 للسدود الركامية.

**FM:** ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين -0.705 للفشل الناتج عن التدفق من فوق القمة، -1.039 للفشل الأنبوبي.

**ER:** ثابت يتعلق بقابلية التآكل للمواد المكونة للسد وتأخذ القيم التالية في حال القابلية العالية -0.007، قابلية متوسطة -0.375، قابلية منخفضة -1.362.

$$B4 = -0.503 - 0.705 - 0.375 = -1.583$$

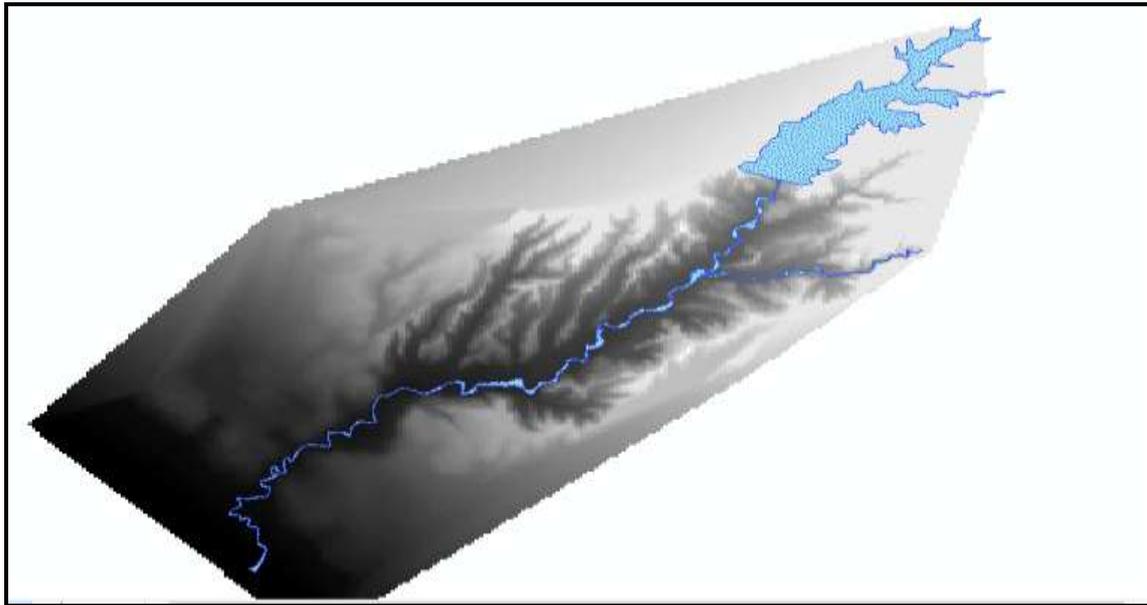
$$\frac{Q}{\sqrt{9.81 * (115 * 10^6)^{5/3}}} = 0.175 * \left(\frac{76.5}{15}\right)^{0.199} * \left(\frac{(115 * 10^6)^{1/3}}{65.872}\right)^{-1.274} * e^{-1.583}$$

$$\Rightarrow Q = 63585 \text{ m}^3/\text{sec}$$

وهو التدفق الخارج من الخرق في لحظة الوصول الى الشكل النهائي لانهباء السد في (XU, Y. and Zhang, 2009) [6,5].

## 2. نموذج الارتفاعات الرقمية DEM (Digital Terrain Model)

تم استنتاجها من عملية رقمنة الخرائط الورقية التي تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية في اللاذقية بمقياس (1:5000) لمنطقة الدراسة، حيث تحولت الى خارطة رقمية، الشكل (2) وتم ادراج المجاري المائية وذلك من خلال شف الخطوط الكنتورية وتحويلها الى ملف (Triangular Irregular Network) TIN، ثم تحويلها الى ملف DEM (Digital Terrain Model)، من أجل استخدامها في RAS- Mapper لبناء النموذج ثنائي الأبعاد [7].



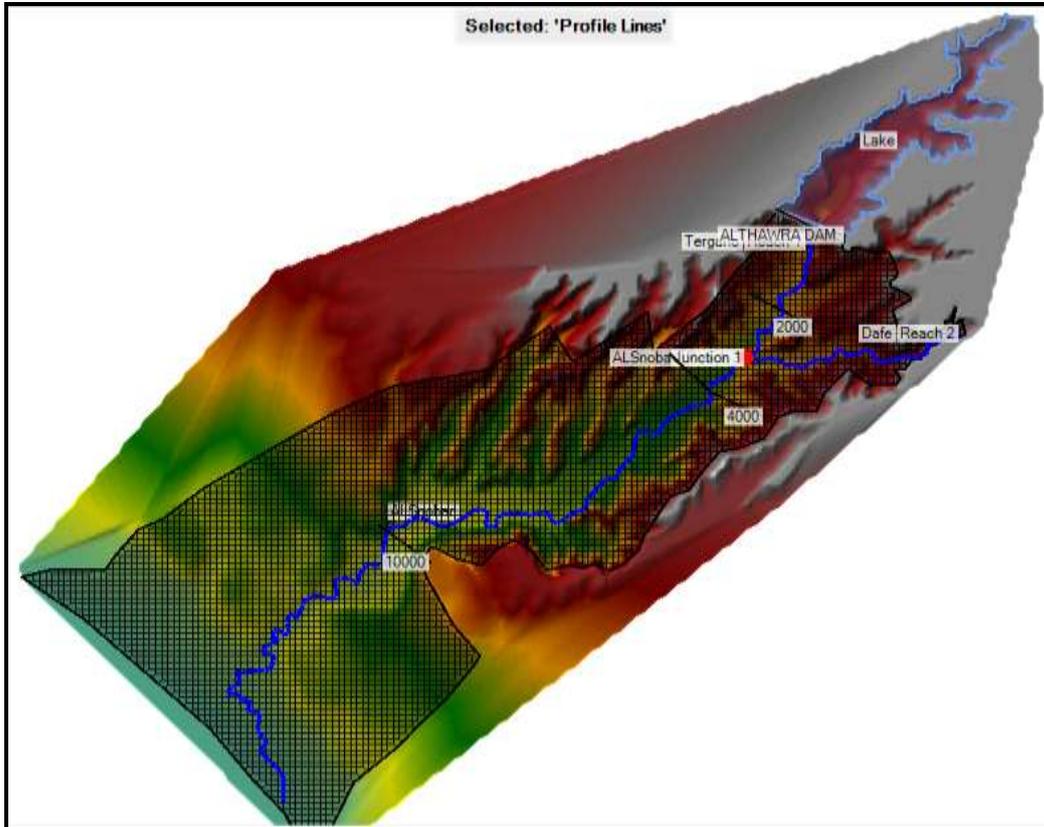
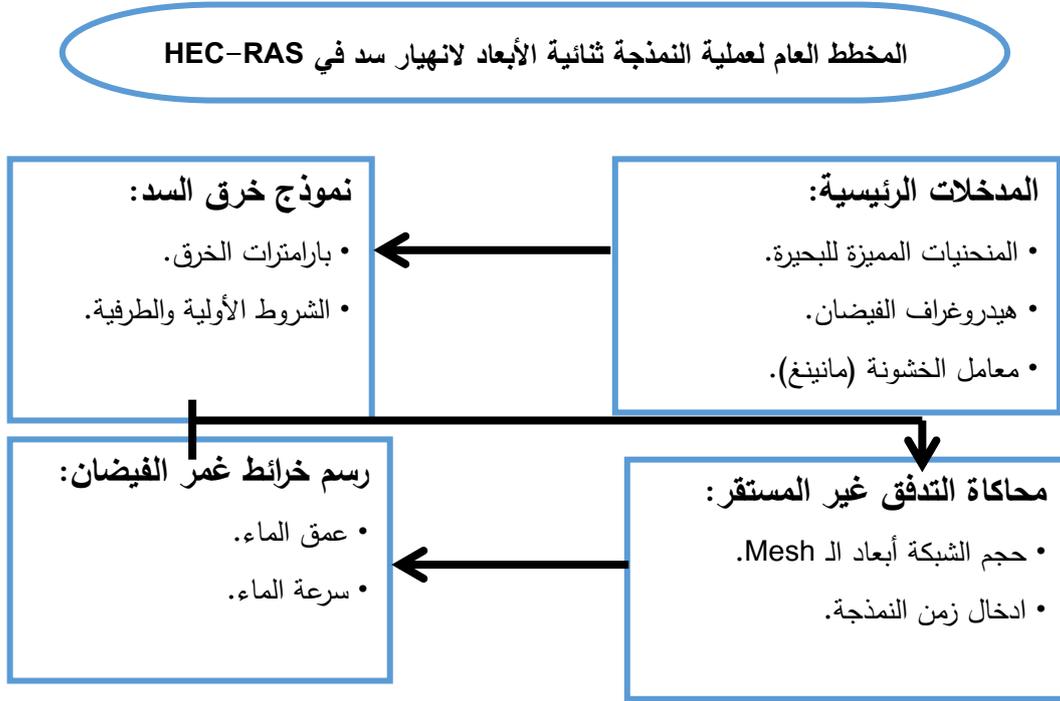
الشكل (2) مخطط طبوغرافي رقمي لمنطقة الدراسة بعد وضع البيانات المطلوبة.

## 3. تحليل البيانات باستخدام برنامج الـ HEC-RAS

هو نظام تحليل الجريان في الأنهار (River Analysis System) تم تطويره من قبل (Hydraulic Engineering Center) المركز الهندسي للهيدروليك في فيلق مهندسي الجيش الأمريكي (Us army corps of engineers software)، يسمح للمستخدم بتأدية الحسابات الهيدروليكية للجريان المستقر وغير المستقر اعتماداً على النمذجة أحادية الأبعاد وثنائية الأبعاد [8].

النمذجة ثنائية الأبعاد هي وظيفة جديدة نسبياً في HEC-RAS (تم إصدارها في 2014).

يتم بناء النموذج ثنائي الأبعاد ضمن برنامج HEC-RAS باستخدام RAS- Mapper الشكل (3) والعمل حسب المخطط التالي [9]:

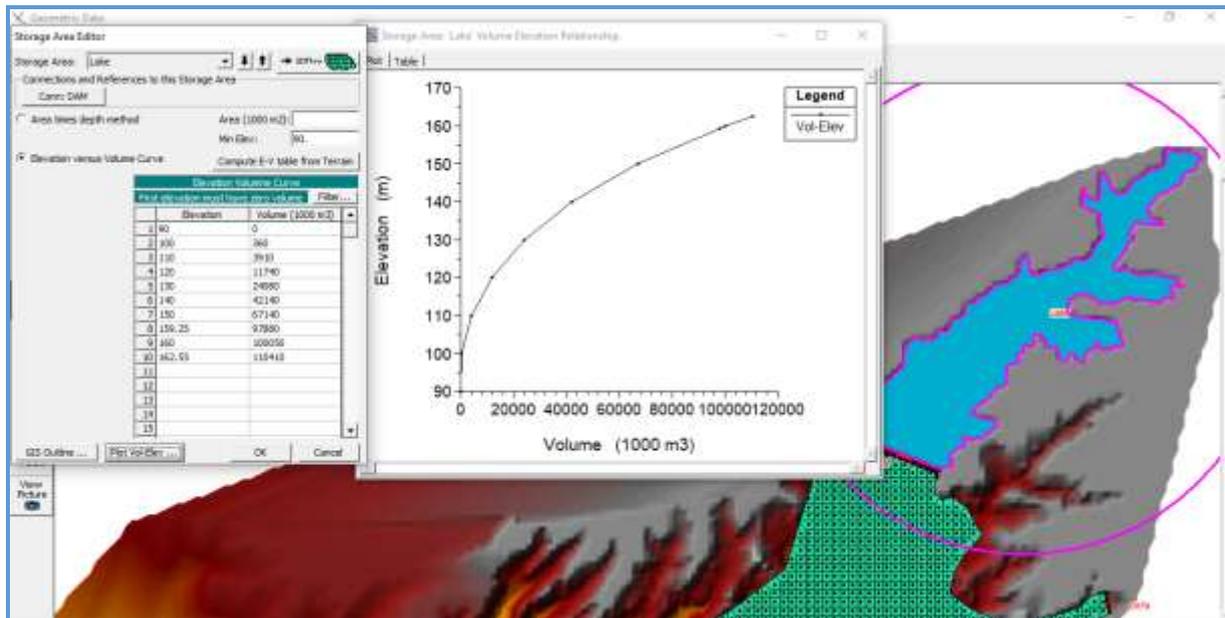


الشكل (3) النموذج ثنائي الأبعاد موضع عليه البحيرة ومنطقة الفيضان والمجاري المائية والسد وأبعاد المقاطع العرضية الاختيارية.

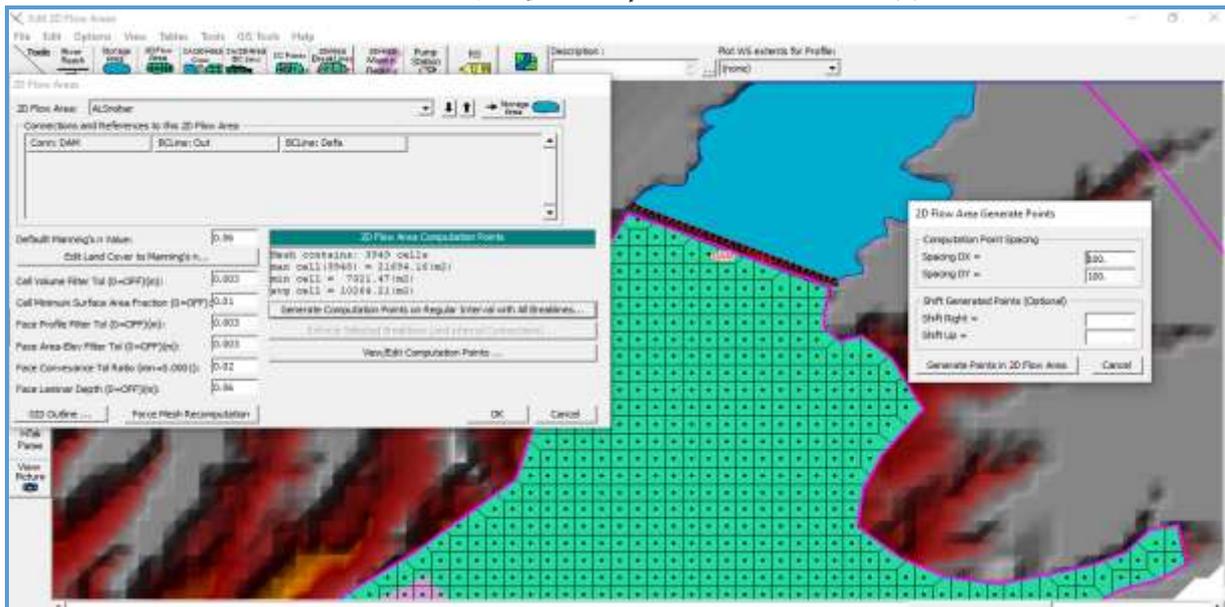
## النتائج والمناقشة:

### أولاً: بناء النموذج الرياضي

قمنا ببناء النموذج ثنائي الأبعاد في برنامج الـ HEC-RAS بتحديد منطقة تخزين بحيرة السد وإدخال منحنى حجم تخزين - منسوب، الذي يظهر حجم التخزين عند كل منسوب الشكل (4)، وتحديد حجم شبكة منطقة التدفق ثنائي الأبعاد، حيث وُجد حسب دراسة سابقة أنه من المناسب استخدام حجم شبكة 100 m في حالة انهيار سد [9] الشكل (5)، ثم تحديد جسم السد وإدخال البيانات المطلوبة، ثم إدخال بارامترات الخرق حسب السيناريو انسكاب الماء فوق قمة السد الشكل (6).



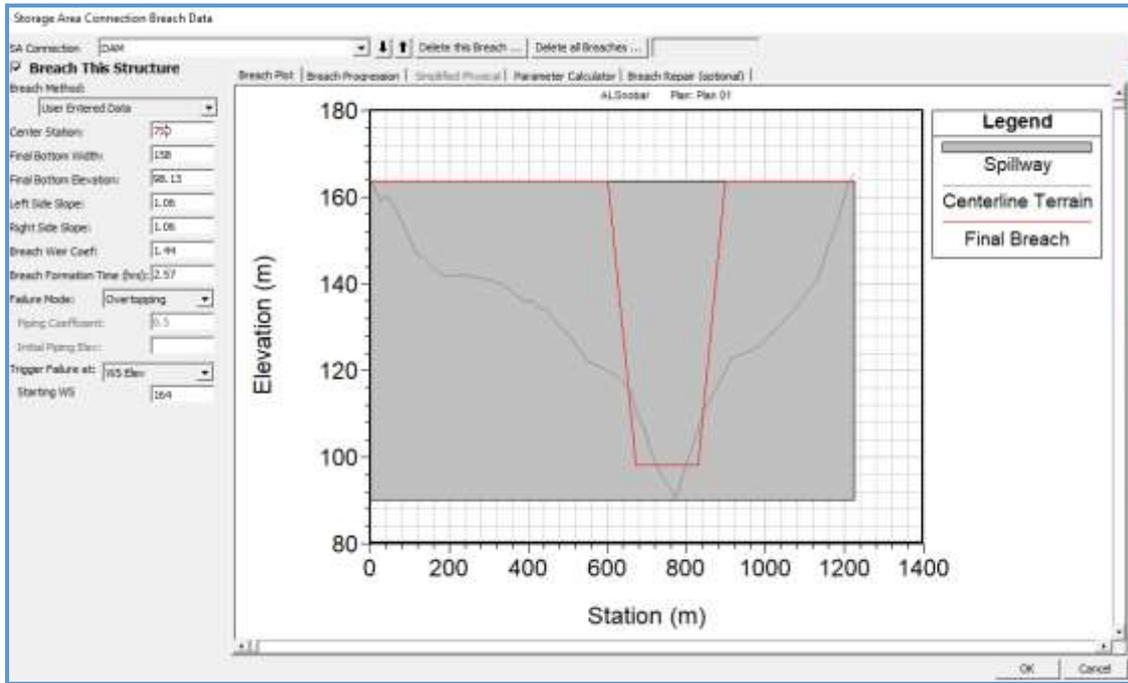
الشكل (4) تحديد منطقة بحيرة التخزين وإدخال منحنى حجم التخزين - منسوب.



الشكل (5) تحديد حجم شبكة منطقة التدفق ثنائي الأبعاد.

### ثانياً: فرضيات انهيار السد

- ❖ نوع الانهيار (overtopping)، أي أنه عندما يحدث الانهيار لسبب ما سوف تتشكل فتحة في جسم السد ابتداءً من أعلى عتبة السد إلى الأسفل.
- ❖ مركز الانهيار (Center Station)، 750 m ابتداءً من الـ 0 من جهة الكنف اليميني للسد، نختاره عند أخفض نقطة في الوادي.
- ❖ عرض الخرق من الأسفل (Final Bottom Width) 158 m.
- ❖ منسوب قاع الخرق (Final Bottom Elevation) 98.13 m.
- ❖ الميل الجانبية للخرق (Side Slope) 1.06.
- ❖ الزمن اللازم لتشكيل الخرق بالكامل (Breach Formation Time (hr)) 2.57 hour.
- ❖ منسوب الماء في بحيرة التخزين الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل (Starting WS) 164m.
- ❖ تاريخ بداية الدراسة افتراضي حيث تبدأ فتحة الانهيار بالتشكل عند وصول منسوب الماء أمام السد 164 m ثم تتطور حتى تصل إلى الشكل النهائي بعد ساعتين و34 دقيقة.
- ❖ الخطوة الزمنية دقيقة واحدة.

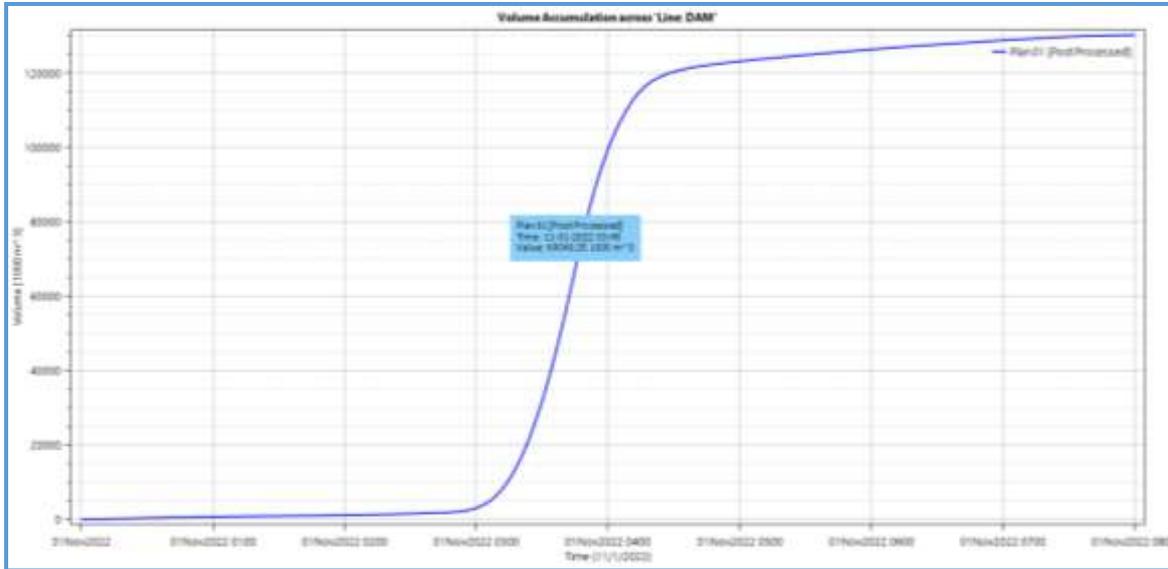


الشكل (6) أبعاد فتحة الانهيار حسب (XU, Y. and Zhang, 2009).

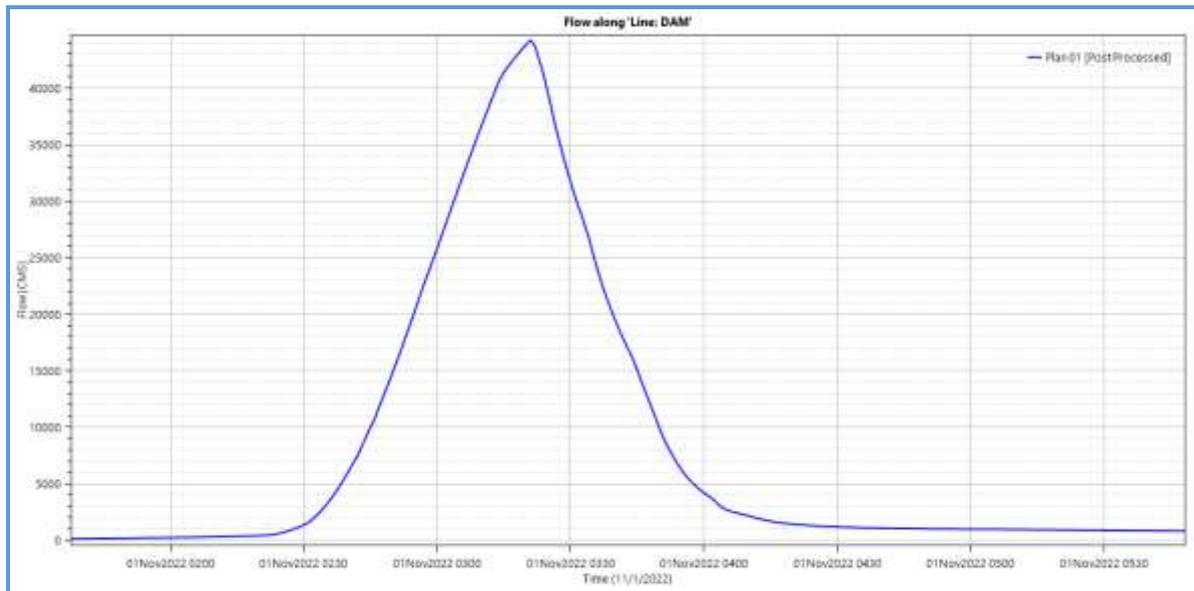
### ثالثاً: نتائج تحليل الانهيار (Overtopping)

- ✓ يتم الانهيار عند مرور عاصفة مطرية غزيرة جداً غير مصمم عليها السد وانسكاب الماء فوق قمة السد ليبدأ الخرق بالتشكل بعد أن وصل الماء إلى المنسوب 164m ابتداءً من قمة السد وحتى يصل إلى شكله النهائي، وخروج 127 MCM وهو مجموع الحجم المحصور بين منسوب التخزين الأعظمي 162.55 m ومنسوب قعر الخرق المتشكل 98 m يساوي 110 MCM إضافة إلى حجم الموجة الفيضانية القادمة 17 MCM كما هو موضح في

الشكل (7). ويبين الشكل (8) هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار، حيث كانت أعظم غزارة يمررها الخرق  $44778 \text{ m}^3/\text{sec}$  وذلك بعد ثلاثة ساعات و 45 دقيقة على بداية النمذجة التي هي بداية العاصفة المطرية.

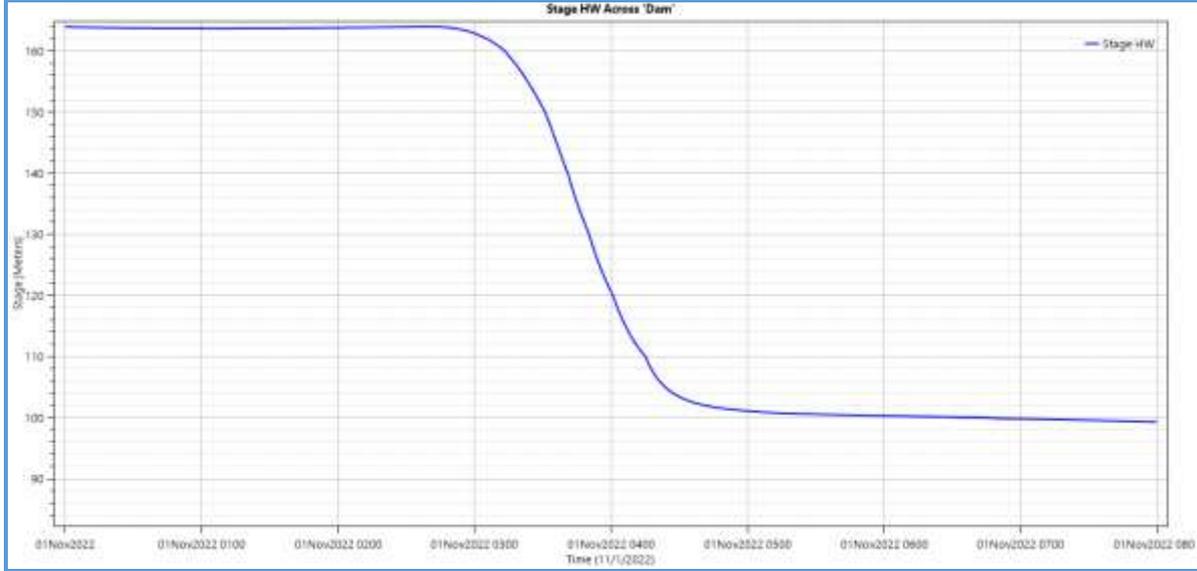


الشكل (7) منحنى يوضح العلاقة بين الزمن والحجم الناتج عبر الخرق المتشكل.



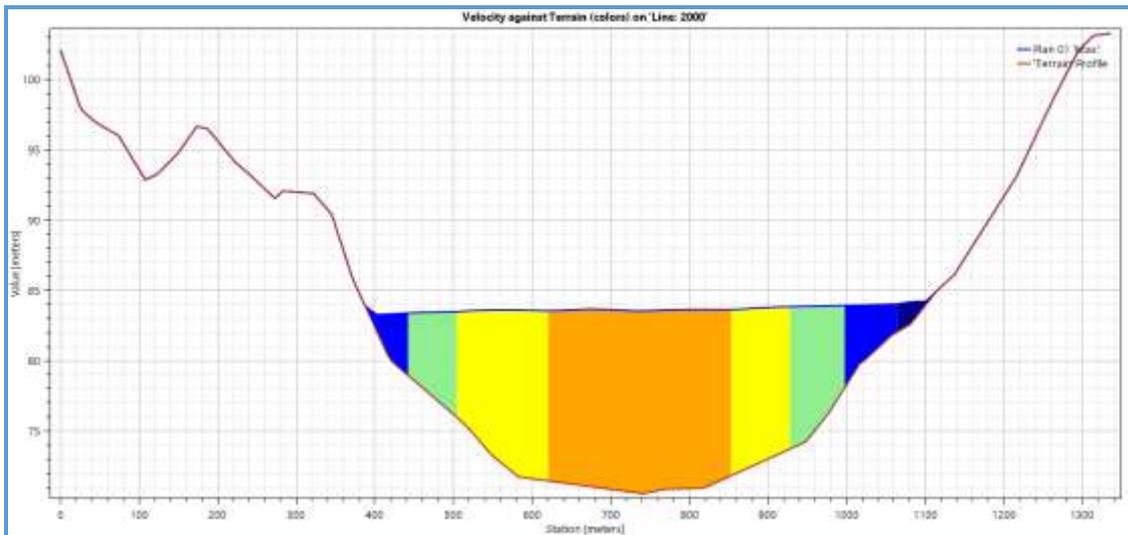
الشكل (8) هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد حيث كانت أعظم قيمة  $44778 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

✓ يوضح الشكل (9) انخفاض منسوب الماء أمام السد لحظة الانهيار، نلاحظ أن الانهيار بدأ عند تشكل الخرق وانخفاض المنسوب عن 164m بعد ساعتين و 50 دقيقة على بداية النمذجة، مما يدل على بدء تشكل الخرق وتدفق الماء عبره، واستمرار فتحة الانهيار بالتشكل حتى الوصول إلى الشكل النهائي لها بعد ساعتين و 34 دقيقة.

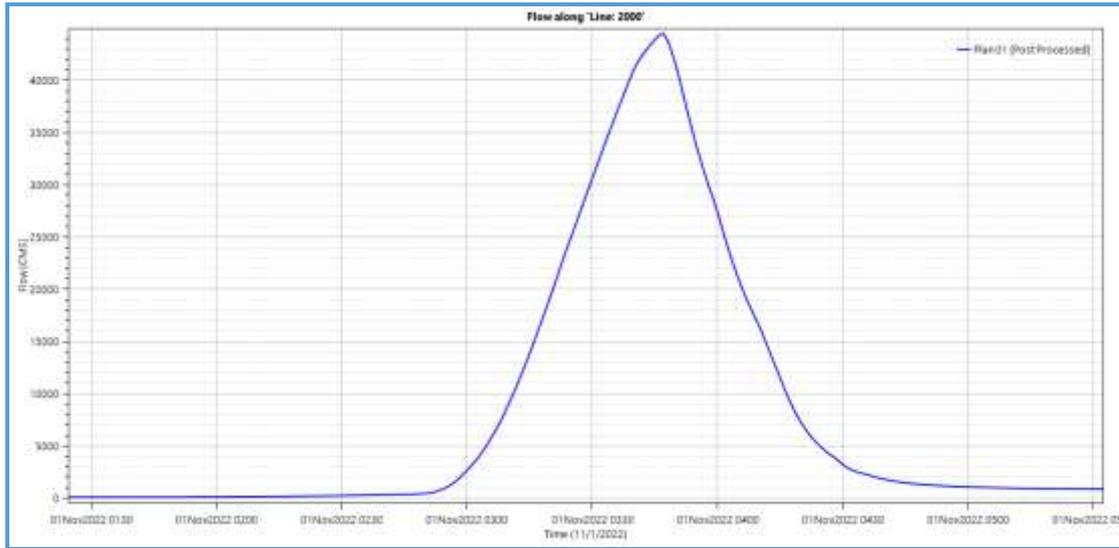


الشكل (9) انخفاض منسوب الماء أمام السد عند بداية الانهيار.

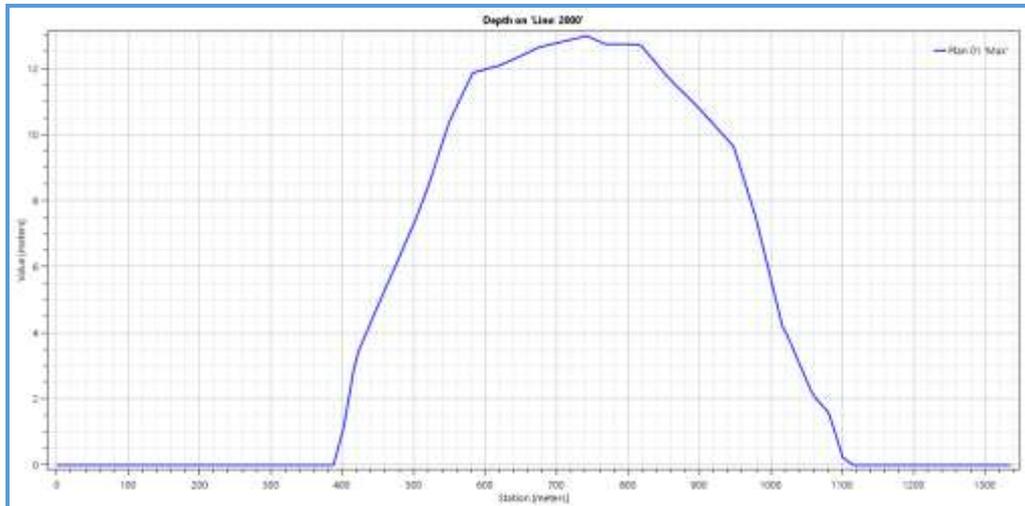
✓ يسمح RAS- Mapper بأخذ خطوط جانبية أو مقاطع عرضية بالطول والاتجاه المطلوبين في منطقة الدراسة لسهولة الحصول على نتائج العمق وسرعة المياه ومخطط الموجة الفيضانية في أي نقطة على الخريطة. تسهل هذه الخاصية المقارنة بين السيناريوهات المختلفة وتتيح للمستخدمين إمكانية رؤية القيم في أي مكان. لذلك، تم أخذ ثلاثة مقاطع عرضية إختيارية وحصلنا على النتائج التالية المقطع العرضي (1) وهو يبعد عن جسم السد مسافة 2 Km الشكل (10) ونتج هيدروغراف الموجة الفيضانية حيث وصلت أعظم غزارة إلى  $44488 \text{ m}^3/\text{sec}$  الشكل (11) وكان أكبر عمق للمياه في هذا المقطع 13.1 m الشكل (12)، يوضح الشكل (13) توزع سرعة المياه في هذا المقطع بقيمة أعظمية  $8.57 \text{ m/sec}$ . نوضح المقطع العرضي (2) الذي يبعد عن جسم السد مسافة 4 Km في الشكل (14)، أما الشكلين (15) و(16) فيظهران هيدروغراف الموجة الفيضانية ومنحني توزع سرعة المياه لهذا المقطع على التوالي. وأخيراً المقطع العرضي (3) الذي يبعد عن السد مسافة 10 Km الشكل (17).



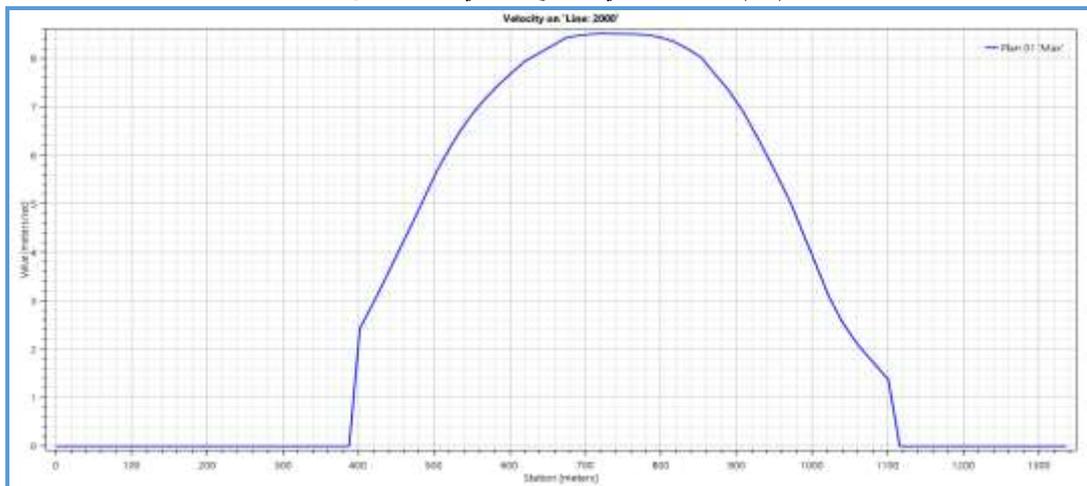
الشكل (10) المقطع العرضي 1 وعمق الماء الأعظمي عنده 13.1 m.



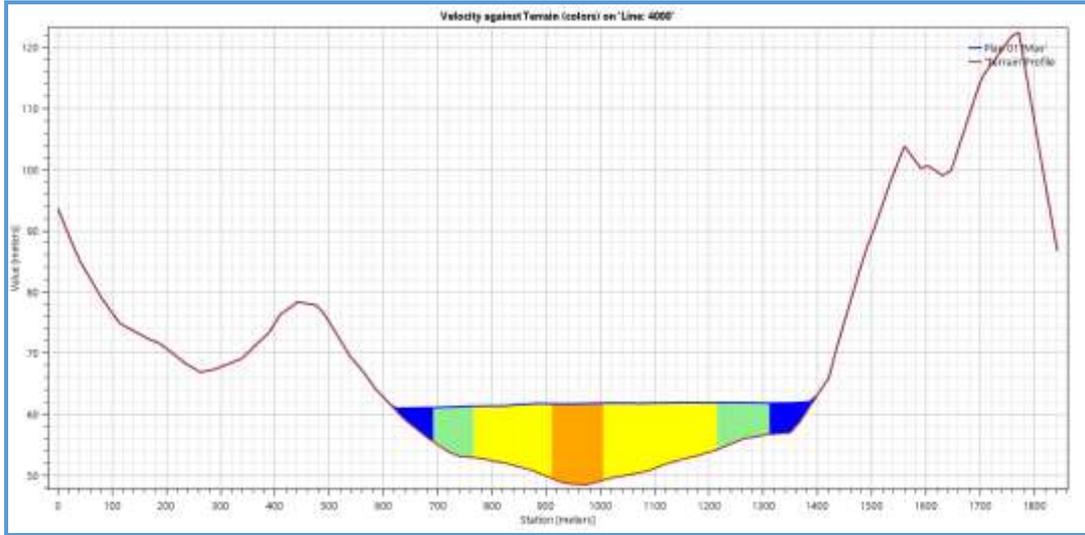
الشكل (11) هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة في المقطع 1 وصلت الغزارة الأعظمية إلى 44488 m<sup>3</sup>/sec بعد ثلاثة ساعات و 47 دقيقة.



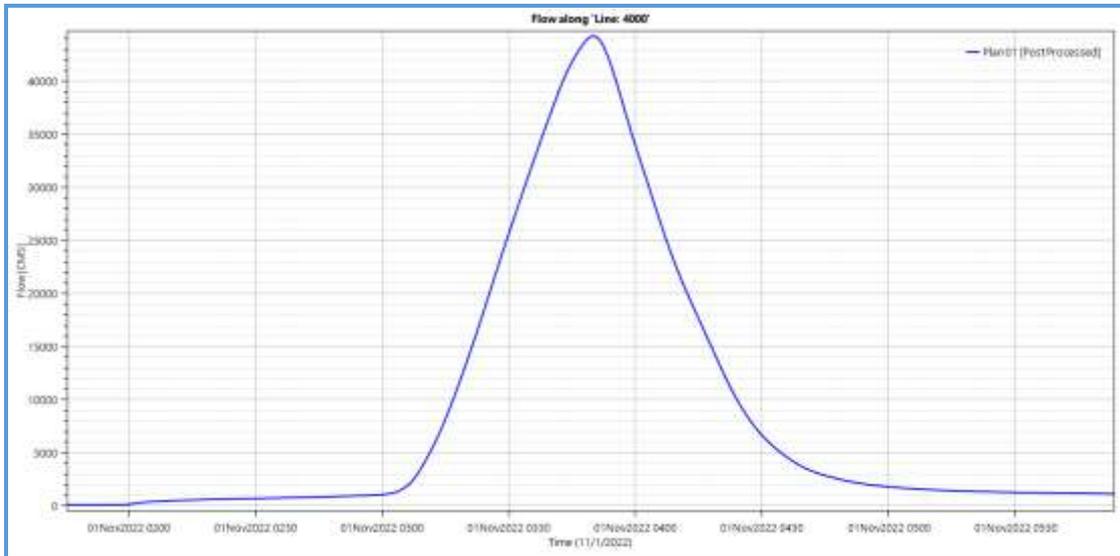
الشكل (12) عمق المياه في المقطع العرضي 1 وصل إلى 13.1 m.



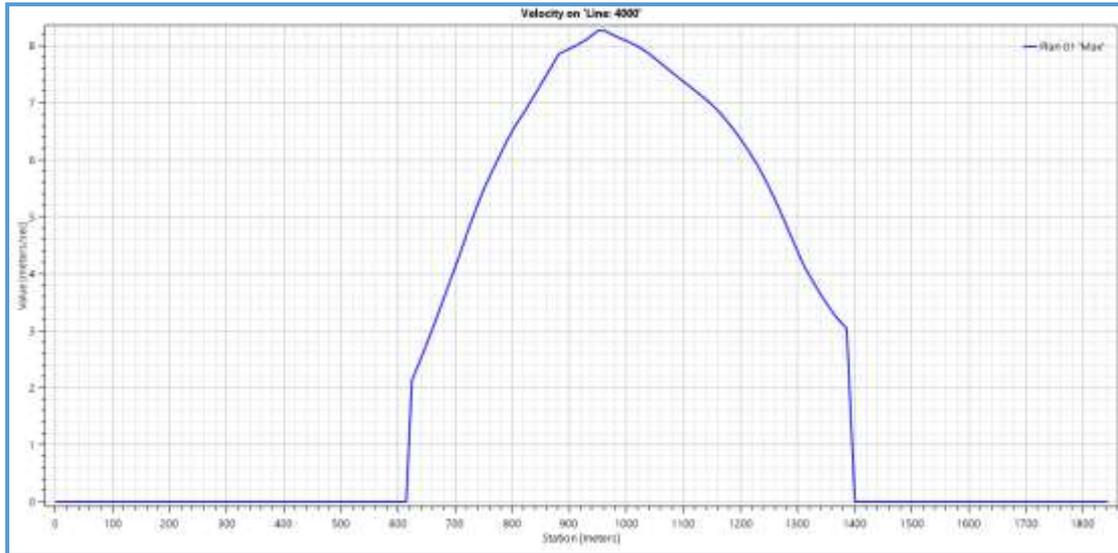
الشكل (13) توزيع السرعة في المقطع العرضي 1 وكانت أكبر قيمة 8.57 m/sec.



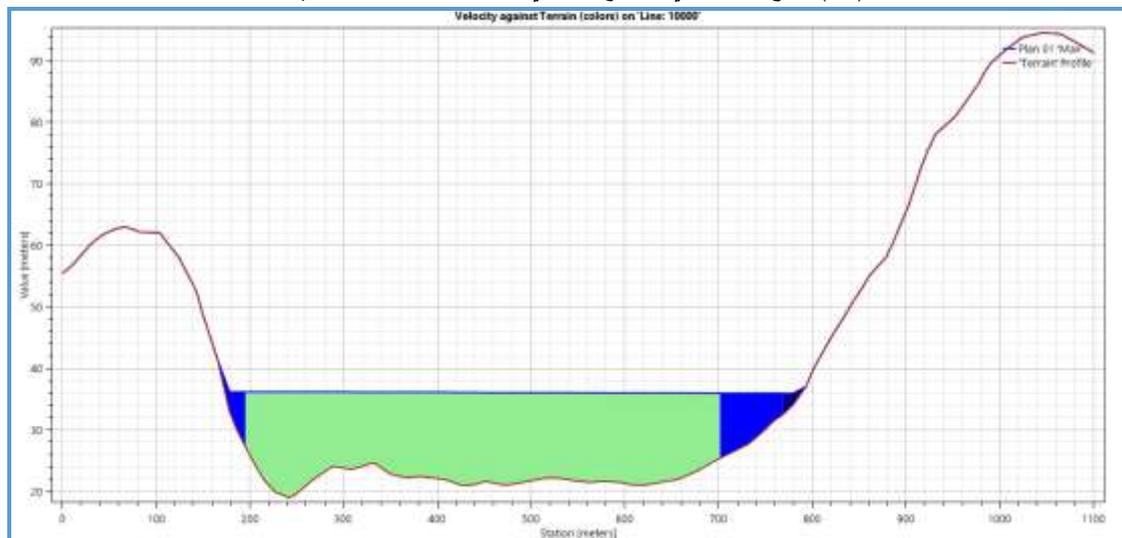
الشكل (14) المقطع العرضي 2 وعمق الماء الأعظمي عنده 13.38 m.



الشكل (15) هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة في المقطع 2 وصلت الغزارة الأعظمية إلى  $44293 \text{ m}^3/\text{sec}$  بعد ثلاثة ساعات و 50 دقيقة.

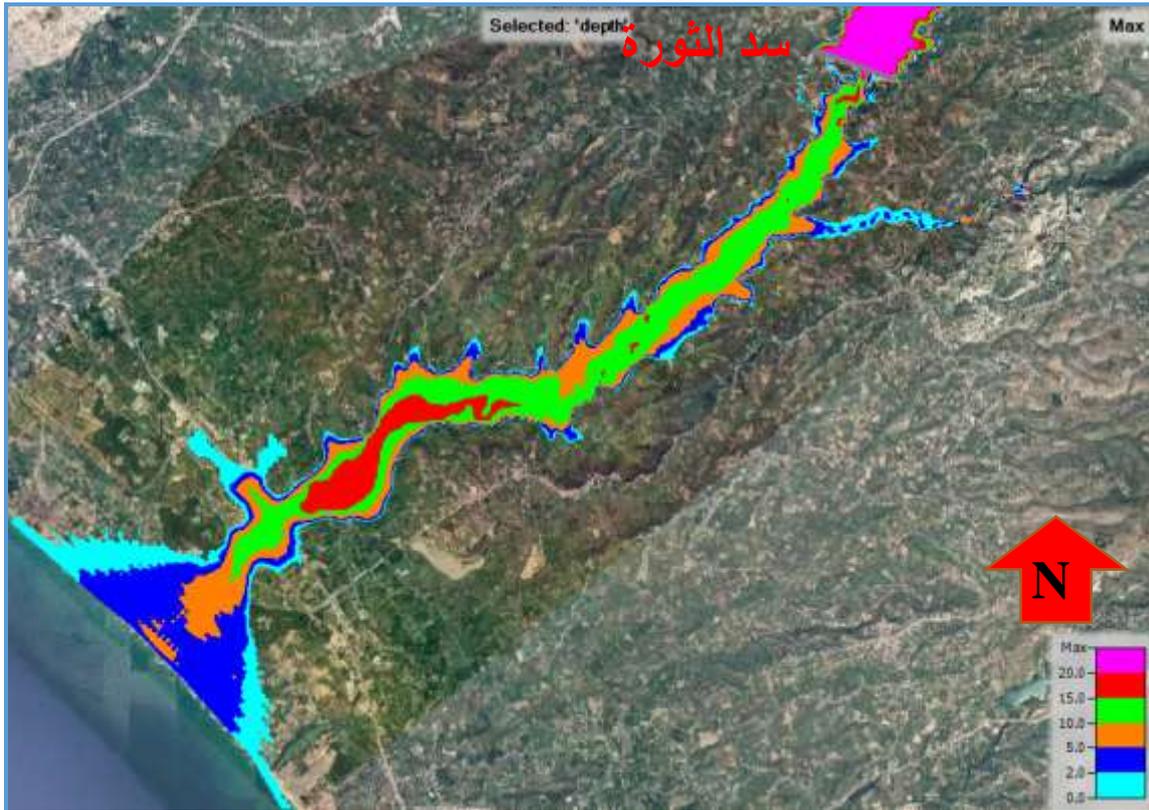


الشكل (16) توزيع السرعة في المقطع العرضي 2 وكانت أكبر قيمة 8.24 m/sec.

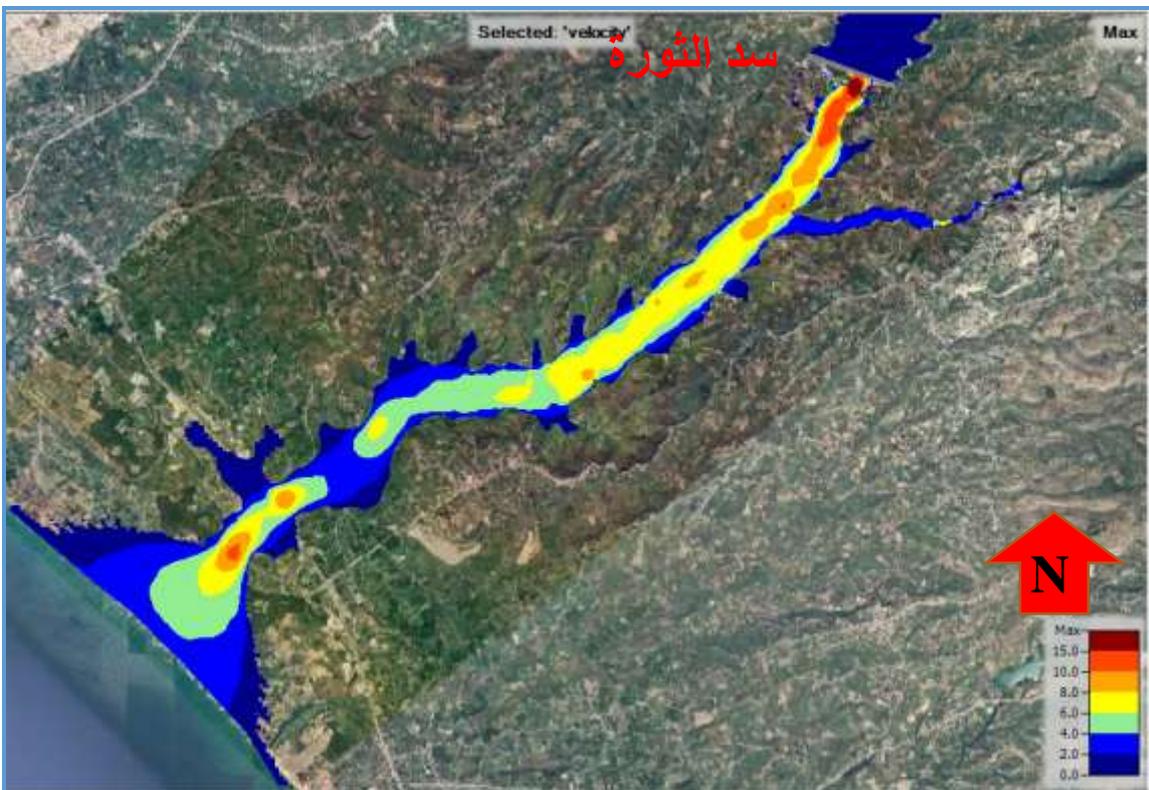


الشكل (17) المقطع العرضي 3 وعمق الماء الأعظمي عنده 17.2m.

في النهاية حصلنا على خرائط الغمر لمنطقة البحث، الشكل (18) خريطة توزيع أعماق المياه الأعظمية في مختلف المناطق المغمورة خلف السد، حيث أن اللون الأزرق السماوي يدل على توزيع أعماق المياه بين 2-0m، واللون الأحمر أعظم غمر للمياه بين 15-20m وهي تتوزع في المنطقة القريبة من السد والمنطقة المحصورة خلف التضيق الحاصل في المجرى عند سكة القطار، وينصح جميع الباحثين بعدم إقامة أو استثمار أبنية سكنية ومنشآت هامة في المناطق التي يزيد عمق المياه فيها عن 2m. الشكل (19) خريطة توضح توزيع سرعات المياه في مناطق الغمر، حيث أن السرعات الأعظمية تتركز في الجزء العلوي من المجرى بسبب الانحدار الشديد وفي وسط المجرى لتقل باتجاه الضفتين بسبب إنخفاض مقاومة الاحتكاك، وأيضاً في الجزء السفلي بعد التضيق.



الشكل (18) خريطة توزيع أعماق الغمر الأعظمية الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد الثورة سيناريو Overtopping.



الشكل (19) خريطة توزيع سرعة المياه أثناء الغمر الأعظمي الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد الثورة سيناريو Overtopping.

**الاستنتاجات والتوصيات:****الاستنتاجات:**

1. ينتج عن الانهيار الافتراضي، موجة فيضانية بغزارة اعظمية قيمتها  $44778 \text{ m}^3/\text{sec}$  الناتجة بعد 55 دقيقة من بدء الانهيار، وخروج مياه بمقدار 127 MCM من البحيرة عبر الخرق المتشكل، تجرف كل ما يعترض طريقها مخلفة دمار وغمر المناطق المأهولة في الحوز السفلي للسد كما هي موضحة على الخريطة، ومن الممكن حدوث خسائر بشرية ما لم يتم الإنذار والإخلاء في الوقت المناسب.
2. في الانهيار الناتج عن انسكاب الماء فوق قمة السد يتطور الخرق المتشكل بسرعة كبيرة حيث يصل الى الشكل النهائي بعد ساعة و34 دقيقة من بداية الانهيار. مما يؤثر بشكل سلبي على الوقت المتاح للإنذار والفترة القصير للإخلاء.
3. في هذا السيناريو وصلت أعظم سرعة خلف السد إلى  $23.45 \text{ m/sec}$ ، وبلغت قيمة الغمر الأعظمي  $19.4\text{m}$  في المنطقة الواقعة قبل سكة القطار عند طريق اللاذقية-طرطوس.

**التوصيات:**

1. إعداد خرائط غمر بدقة عالية لكل المناطق المعرضة للفيضانات في سورية سواء فيضانات ناتجة عن انهيار سد أو فيضانات موسمية.
2. دراسة خشونة المجرى والصفاف بشكل معمق لاختيار معاملات مانينغ بشكل دقيق قدر الإمكان لما له من تأثير مهم على بارامترات الجريان، وتقدير عمق الجريان الناتج.
3. اجراء تخطيط عمراني للمنطقة المعرضة للغمر وعدم السماح بإنشاء أبنية سكنية ومنشآت هامة مثل المدارس أو مشافي أو معامل في المناطق التي يزيد الغمر فيها عن 2 متر.
4. إنشاء خريطة الارتفاعات الرقمية DEM بدقة من 0.5-1 m بواسطة بيانات LIDAR.

**References:**

1. MIRAUDA, D.; ALBANO, R.; SOLE, A.; ADAMOWSKI, J. *Smoothed particle hydrodynamics modeling with advanced boundary conditions for two-dimensional dam-break floods*. Water (Switzerland) 2020, 12, 1142.
2. FROEHLICH, D, C. "Peak Outflow from Breached Embankment Dam." Journal of Water Resources Planning and Management 121, no. 1(January 1995): 90–97.
3. HASSAN, E. Using FLDWAV to Calculate the Flood Runoff Caused by the ZAYZON Dam Collapse. First Scientific Symposium on Dams (Study, Designing, Enforcement, Investment), Tishreen University Faculty of Civil Engineering, April 2003.
4. FROELICH, D. C. *Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties*. U.S.A, Vol. 134, No. 12, December 2008, pages 1708-1721.
5. ABDURRAHMAN. A.; KHALIL. R. *Flood Mapping of Northern Alkabir River Basin Due to Proposed Failure of 16 Tishreen Dam*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Engineering Sciences Series, Vol. (38) No. (5), 2016.
6. XU, Y.; ZHANG, L, M. *Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams*. JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, Vol. 135(12), 2009, 1957 – 1970.
7. ESRI (2011). Arc Map Tools – Tutorial, Version 2.0. USA.
8. Brunner, G. CEIWR-HEC (2010): HEC-RAS User's Manual, CPD-68.

9. IRMAK, Ü, Ç. TWO-DIMENSIONAL DAM BREAK ANALYSES OF BERDAN DAM. Master of Science, Civil Engineering, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY, Turkey, SEPTEMBER 2019.