

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

Dr. Mounzer Hammad*
Hussin Aldarwish**

(Received 5 / 10 / 2022. Accepted 2 / 1 / 2023)

□ ABSTRACT □

This research involves analysis The Flood Resulting from Supposed Collapse About AL THAWRA Dam in Alsanober basin in Lattakia governorate. Where the mathematical model of the study area was built using the topographic maps at various scales with the digital elevation model, collecting dataA 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: Arc GIS, Google Earth, HEC-RAS, we have come up with inundation maps that show the areas affected by the maximum water speeds and the great water depths, according to the cause of the collapse, to be used in the development of emergency plans.

The results of the worst scenario were the collapse resulting from the overtopping, a flood wave of great flow $35503 \text{ m}^3/\text{sec}$, the result is an hour after the start of the collapse, Where the breach reaches its final form after two hours and 34 minutes. The average velocity of a flood wave ranges from (2.39 - 26) m/sec along the stream and the water depths ranged from 6 to 19 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 - Overtopping Failure – GIS – HEC-RAS.

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

** Postgraduate Student (Master), Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: huseinaldarwish1995@gmail.com

تحليل الفيضان الناتج عن انهيار افتراضي لسد الثورة ووضع خرائط الغمر

د. منذر حماد*

حسين الدرويش**

(تاريخ الإيداع 5 / 10 / 2022. قُبِلَ للنشر في 2 / 1 / 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 لمنطقة الدراسة بعد جمع بيانات عن السد والخزان والاستعانة بالخرائط الطبوغرافية مع نموذج 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، وكانت البرمجيات المستخدمة في بناء هذا النموذج هي Arc GIS وHEC-RAS. أظهرت النتائج أن السيناريو الأسوأ هو الانهيار الناتج عن تدفق الماء فوق قمة السد، حيث بلغت الغزارة الاعظمية للموجة الفيضانية $35503\text{m}^3/\text{sec}$ بعد ساعة من بدء الانهيار، يصل الخرق الى الشكل النهائي بعد ساعتين و34 دقيقة، ويتراوح متوسط سرعة الموجة الفيضانية ما بين $2.39\text{m}/\text{sec}$ - 26 على طول المجرى، تراوحت أعماق الغمر بين (6-19) m، تساعد خرائط الغمر التي توضح المناطق المتضررة من سرعات المياه الأعظمية وأعماق المياه الكبيرة، وذلك تبعاً للسبب المؤدي للانهيار، في وضع خطط الطوارئ.

الكلمات المفتاحية: انهيار افتراضي - سد الثورة - خرائط الغمر - تدفق الماء فوق قمة السد - GIS - HEC-RAS.

* أستاذ -قسم الهندسة المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
**طالب دراسات عليا (ماجستير)-قسم الهندسة المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

مقدمة:

يعد انهيار السدود من أخطر الكوارث المتعلقة بمشاريع الهندسة المدنية لما تسببه من أضرار مادية وبشرية. حيث هناك آلاف السدود التي تم إنشاؤها خلال القرون الماضية حول العالم، ولكن أيضاً هناك مئات السدود التي تنهار بسبب التدفقات الكبيرة في الأنهار والعواصف المطرية والتآكل في جسم السد، فعندما يفشل السد تتحرك كميات كبيرة جداً من المياه مهددة حياة الأشخاص وممتلكاتهم، ويعود هذا إلى الوقت القصير المتاح للتحذير والإخلاء. ولكن الخسائر في الأرواح يمكن أن تختلف بشكل كبير حسب امتداد الغمر، والأعماق الحاصلة، وسرعة التدفق وكذلك نسبة السكان المعرضين للخطر، ومقدار الوقت المتاح للتحذير والإخلاء [1]. وذكرت الأبحاث أن متوسط عدد الوفيات في حال فشل السد بدون تحذير مسبق يكون أكبر بـ 19 مرة منه في حالة الفشل مع إنذار مسبق [2,3]. لهذا السبب أصبح تطوير النماذج الرياضية في تحليل الفيضان الناجم عن انهيار السد كما قام بها مجموعة من الباحثين باستخدام برنامجي الـ GIS و HEC-RAS بعد التنبؤ ببارامترات الخرق المتشكل في جسم السد (ارتفاع الخرق-عرض الخرق-الميول الجانبية للخرق) ومن ثم إعداد خرائط الغمر لتقييم المخاطر الناجمة عن الفيضانات الحاصلة ضرورة أساسية لتقليل الخسائر البشرية والأضرار الاقتصادية ورسم السياسات العمرانية [4].

أهمية البحث وأهدافه:

- فهم كيفية حدوث انهيار سد الثورة ونمذجته وفق سيناريوهات مختلفة والتنبؤ بهيدروغراف الفيضان.
- استخدام نتائج النمذجة في وضع خطة طوارئ وربطها مع السلطات المعنية لإتخاذ الإجراءات اللازمة لتفادي الخسائر البشرية والمادية.

أهداف البحث:

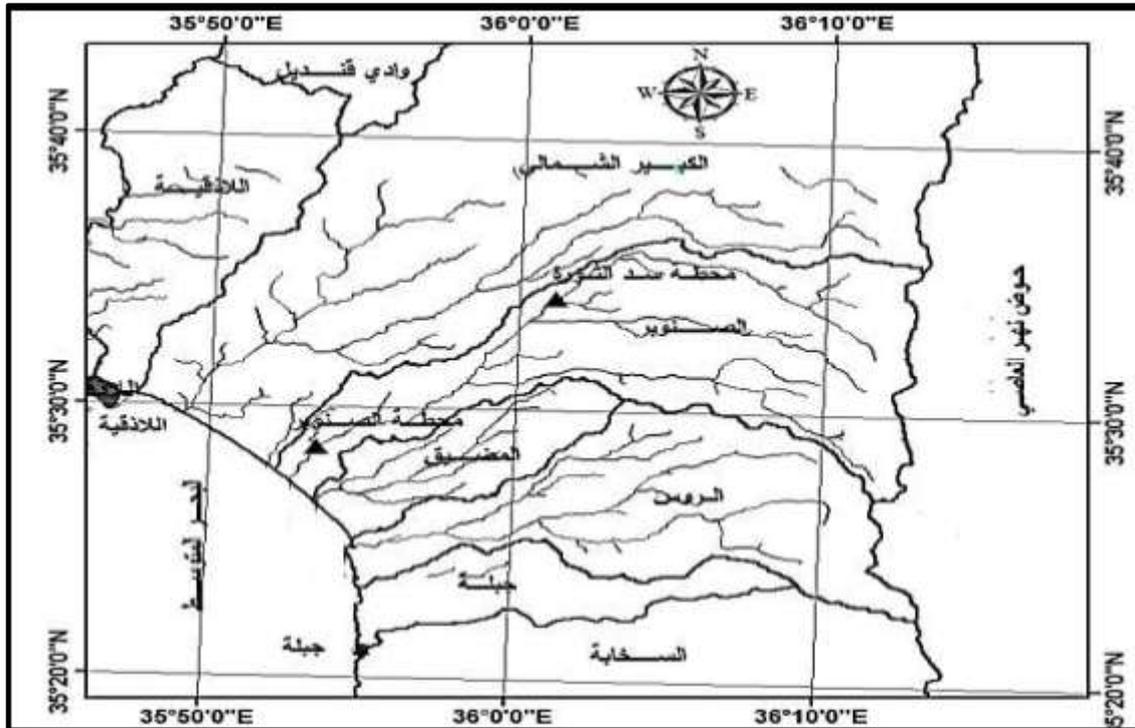
1. تحليل حادثة الانهيار الافتراضي لسد الثورة، والتنبؤ ببارامترات الخرق المسبب للانهيار، وتقدير التدفق الأعظمي الخارج منه، وشكل هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار، والزمن اللازم لتطور الخرق وانهيار السد.
3. إعداد خرائط الغمر الناتجة عن الانهيار لمنطقة البحث.

منطقة البحث:

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

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°36'00") وأبعد نقطة من الجهة الجنوبية تقع على خط عرض (35°25'00") شمال خط الاستواء ومن الجهة

الشرقية أبعد نقطة تقع على خط الطول ($36^{\circ}10'00''$) ومن الجهة الغربية أبعد نقطة تقع ($35^{\circ}53'00''$) شرق خط غرينتش. ويحد حوضه من الشرق حوض نهر العاصي، وتصل بينهما قمم سلسلة الجبال الساحلية، ومن الشمال حوض نهر الكبير الشمالي، وحوض نهر المضيق في الجنوب الغربي، وحوض نهر الروس في الجنوب الشرقي، ويبلغ متوسط ارتفاع الحوض 590 m، وتبلغ مساحته 268.8 km^2 ، ويأخذ شكلاً منحنيًا، ويبلغ طوله 38.5 km، الشكل (1).



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد تنفيذ البحث على تطبيق معادلات زهانغ (XU, and Zhang, 2009) واستخدام الثوابت الخاصة بالانهيار الناتج عن تدفق الماء من فوق قمة السد، وذلك للتنبؤ بخصائص الخرق المسبب لانهيار والغزارة الخارجة منه، ومن ثم استخدام البرمجيات في بناء نموذج لانهيار السد تبعاً للخرق المفترض والقيام بعملية المحاكاة لحادثة الانهيار بالاعتماد على الخرائط الطبوغرافية، وكذلك الاعتماد على المعطيات المرتبطة بالسد والخزان والمجرى المائي، والبرمجيات المستخدمة هي: Arc GIS، Google Earth، HEC-RAS.

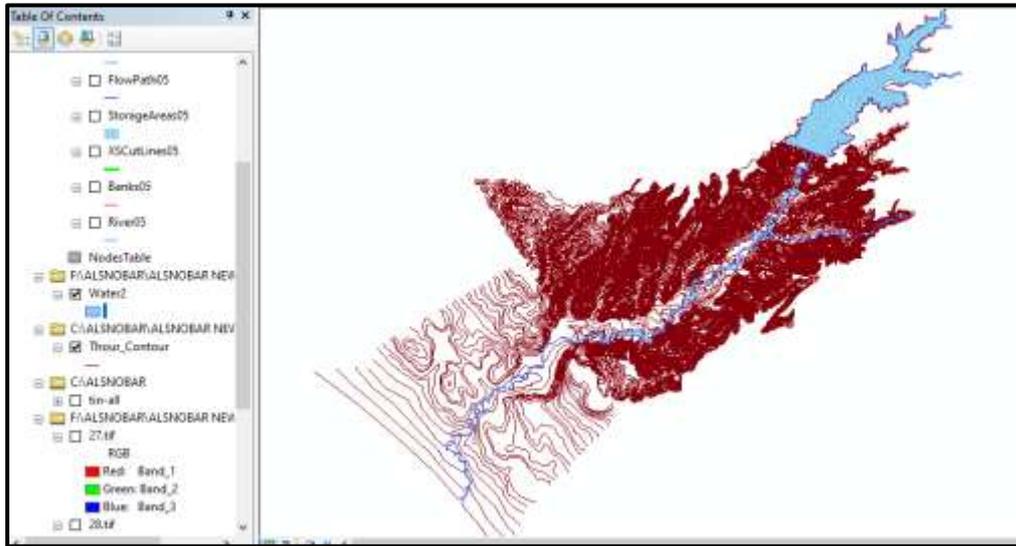
1. معادلات زهانغ 2009 Equations Zhang 2009

نموذج الفشل يتصل بشكل مباشر مع نوع السبب المؤدي لانهيار وكذلك نوع السد [5] وبعد البحث في انهيار السدود تبعاً للأسباب تم التوصل إلى نتيجة مفادها أن 38 % من حالات الفشل حول العالم ناتجة عن تدفق المياه فوق قمة السد مباشرة (التآكل الخارجي)، و 23 % من الفشل بسبب مشاكل الأساس مثل التسرب المفرط، زيادة ضغط المسام، التآكل الداخلي وغيرها، و 6% من الحالات تعود إلى عيوب تصميمية أو تنفيذية أو الزلازل أو التخريبية 33% نتيجة التسرب أو الفشل الأنبوبي على طول القنوات الداخلية للسد.

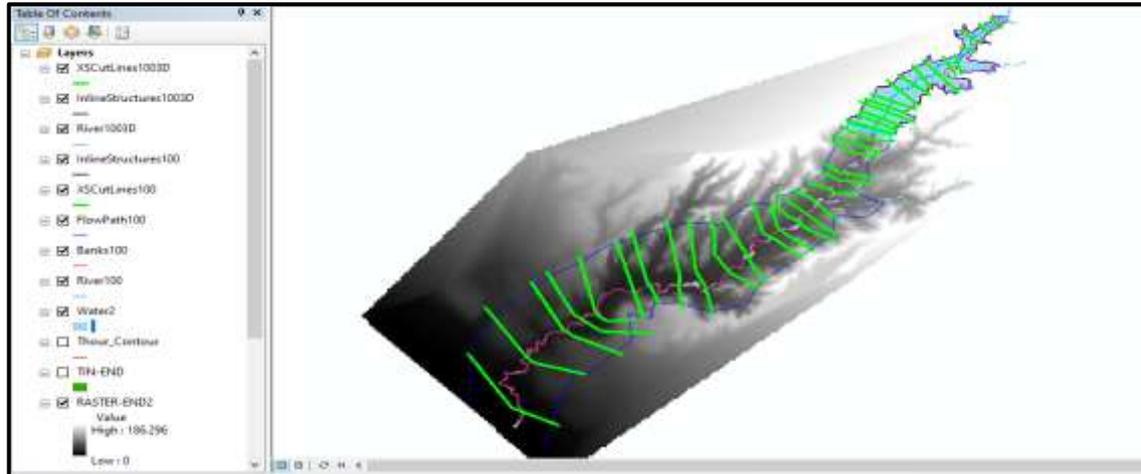
والافتراض الأساسي في هذا البحث هو سيناريو تجاوز الماء فوق قمة السد، والناتج عن حدوث أمطار وعواصف أدت إلى وصول كميات كبيرة من المياه إلى بحيرة السد، وأن المفيض الجانبي غير كافي لتصريفها، كما أن بوابة المفرغ السفلي وبوابة الري لا تفتح بسبب صعوبة الوصول إليها أو حدوث خلل فني، مما سيؤدي لارتفاع منسوب الماء أمام السد بشكل كبير وتدفقها فوق قمة السد. في هذه الحالة ومن المفترض أن يكون سطح الماء الأولي مساوياً لمنسوب قمة السد وهو (163.65 m)، حيث تتم الدراسة تحت أقصى الظروف الهيدرولوجية، والتي بدورها ستسبب أكثر الظروف الفيضانية سلبية وتدمير، ونضيف 0.35 m فوق منسوب القمة [6]، وبالتالي سيكون منسوب سطح الماء 164 m وستكون الغزارة الخارجة من السد قبل حدوث الانهيار هي أقصى غزارة يمررها المفيض الجانبي على اعتبار أن المفرغ السفلي ومأخذ الري لم تعمل، وسيكون حجم التخزين 115 مليون متر مكعب وبناء على هذه الحالة يتم حساب بارامترات الخرق المفترض باستخدام معادلات ازهانك كما سنبيين لاحقاً.

2. نظام المعلومات الجغرافية GIS

تستخدم أنظمة المعلومات الجغرافية للقيام بمختلف عمليات النمذجة السطحية، وللتعامل مع الخرائط والبيانات المتوفرة كافة، ويُعد نظام المعلومات الجغرافية أداة فعالة جداً لتطوير الحلول المتعلقة بالموارد المائية مثل: إدارة الأحواض الساكنة، والمياه الجوفية، وإدارة الفيضان، وقد تم الاستفادة منه في هذا البحث لرقمنة الخرائط الورقية التي تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية في محافظة اللاذقية بمقياس (1:5000) لمنطقة الدراسة وذلك من خلال رسم خطوط الكونتور ضمن طبقة خطوط على الـ GIS والفاصلة الكنتورية 2 m الشكل (2)، ثم تحويل طبقة خطوط الكونتور إلى خارطة ارتفاعات رقمية (Digital Elevation Model) DEM الشكل (3)، وتم ادراج المجاري المائية، ومعالجة البيانات باستخدام شريط الأدوات Hec-GeoRas للحصول على بيانات جاهزة للتصدير إلى برنامج الـ HEC- RAS [7].



الشكل (2) انتهاء مرحلة شف خطوط الكونتور والمجاري المائية وبحيرة التخزين من الخرائط الورقية.

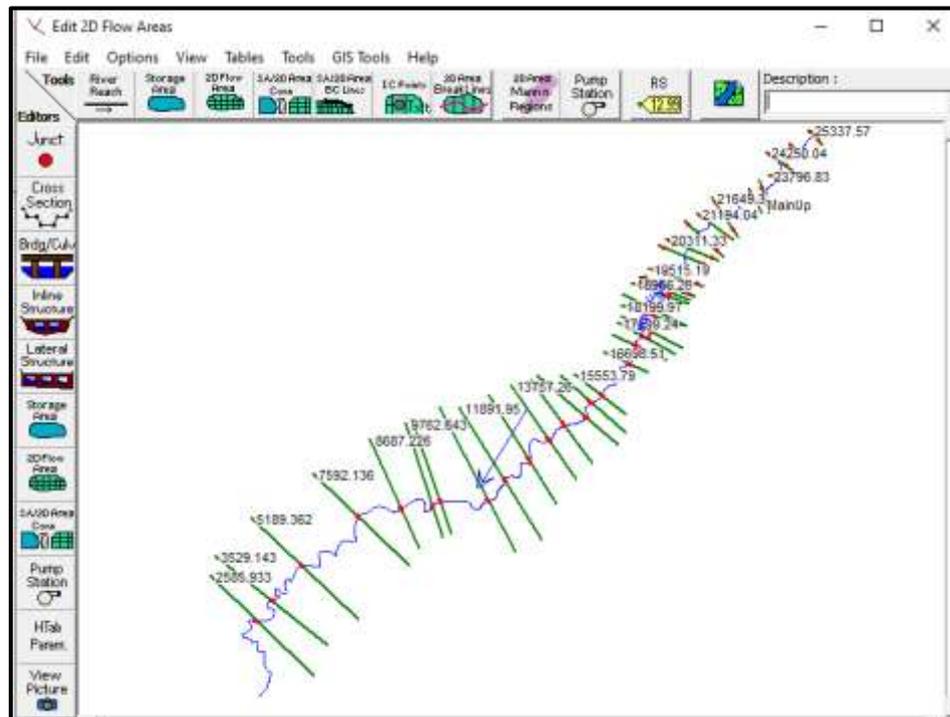


الشكل (3) خريطة الارتفاعات الرقمية لمنطقة الدراسة بعد وضع البيانات المطلوبة عليها.

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)، وهو عبارة عن مجموعة برمجيات هندسية تسمح للمستخدم بتأدية الحسابات الهيدروليكية للجريان المستقر وغير المستقر.

بعد معالجة البيانات ضمن بيئة الـ GIS حصلنا على ملف يستطيع برنامج HEC-RAS قراءته، ثم قمنا باستيراد البيانات المطلوبة من هذا الملف ليتم معالجتها ضمن بيئة الـ HEC-RAS (الشكل (4))، وتتضمن هذه المرحلة إدخال البيانات الهندسية وبيانات الجريان وإجراء الحسابات الهيدروليكية [8].



الشكل (4) الملف المستورد من GIS موضع عليه النهر والمقاطع العرضية وبقية البيانات.

النتائج والمناقشة:

- دراسة الحالة الغير المستقرة: حالة انهيار سد من نوع (overtopping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب قمة السد وعند مرور موجة فيضانية باحتمال %0.01.

أولاً: 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 ≤ 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 كتيمية، 0.176 للسدود المزودة بوجوه 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.

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

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

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:

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

حيث:

B_{av} : العرض الوسطي للخرق بالـ m.

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

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:

$$B3 = DT + FM + ER$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد -0.041 في حال السدود المزودة بنواة كتيمية، -0.026 للسدود المزودة بوجوه 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.

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

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

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

3- حساب عرض الخرق من الأعلى:

$$\frac{B_t}{H_b} = 1.062 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.092} * \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{0.508} * e^{B2}$$

حيث:

B_t : عرض الخرق من الأعلى بالـ m.

B2: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمته تساوي:

$$B2 = DT + FM + ER$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد 0.061 في حال السدود المزودة بنواة كتيمة، 0.088 للسدود المزودة بوجوه 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.

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

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

$$\Rightarrow B_t = 297.9 m$$

وتعطى الميول الجانبية للخرق بالمعادلة:

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

4- الزمن اللازم لحدوث الانهيار:

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

حيث:

T_f : الزمن اللازم لتشكل الخرق وانهيار السد بالكامل مقدراً بالساعة.

T_r : زمن ساعة واحدة.

B5: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمته تساوي:

$$B5 = DT + FM + ER$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد -0.327 في حال السدود المزودة بنواة كتيمة، -0.674 للسدود المزودة بوجوه 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:

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

حيث:

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

g: تسارع الجاذبية الأرضية.

B4: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمه تساوي:

$$B4 = DT + FM + ER$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد -0.503 في حال السدود المزودة بنواة كتيمية، -0.591 للسدود المزودة بوجه 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 .

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

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

$$\Rightarrow Q = 63585 m^3/sec$$

وهي قيمة التدفق الخارج من الخرق في لحظة الوصول الى الشكل النهائي لانهيار السد من معادلات (XU, Y.) [10,9] (and Zhang, 2009).

ثانياً: فرضيات الدراسة

❖ نوع الانهيار (overtopping)، أي أنه عندما يحدث الانهيار لسبب ما سوف تتشكل فتحة في جسم السد ابتداء من أعلى قمة السد إلى الأسفل كما في الشكل (5).

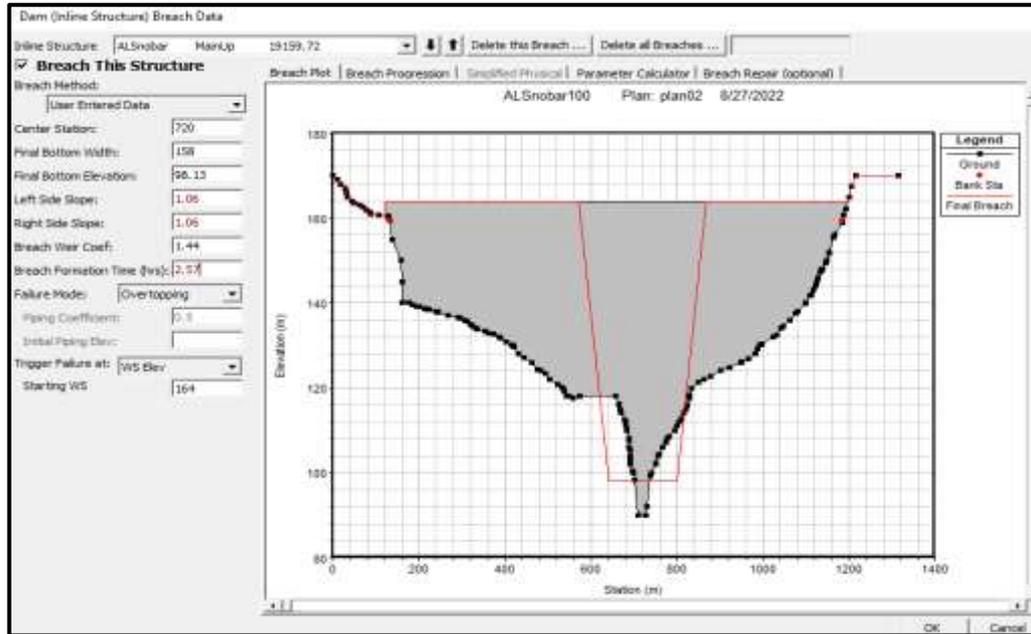
❖ مركز الانهيار (Center Station)، 720 m نختاره عند أخفض نقطة في الوادي.

❖ عرض الخرق من الأسفل (Final Bottom Width) 158 m .

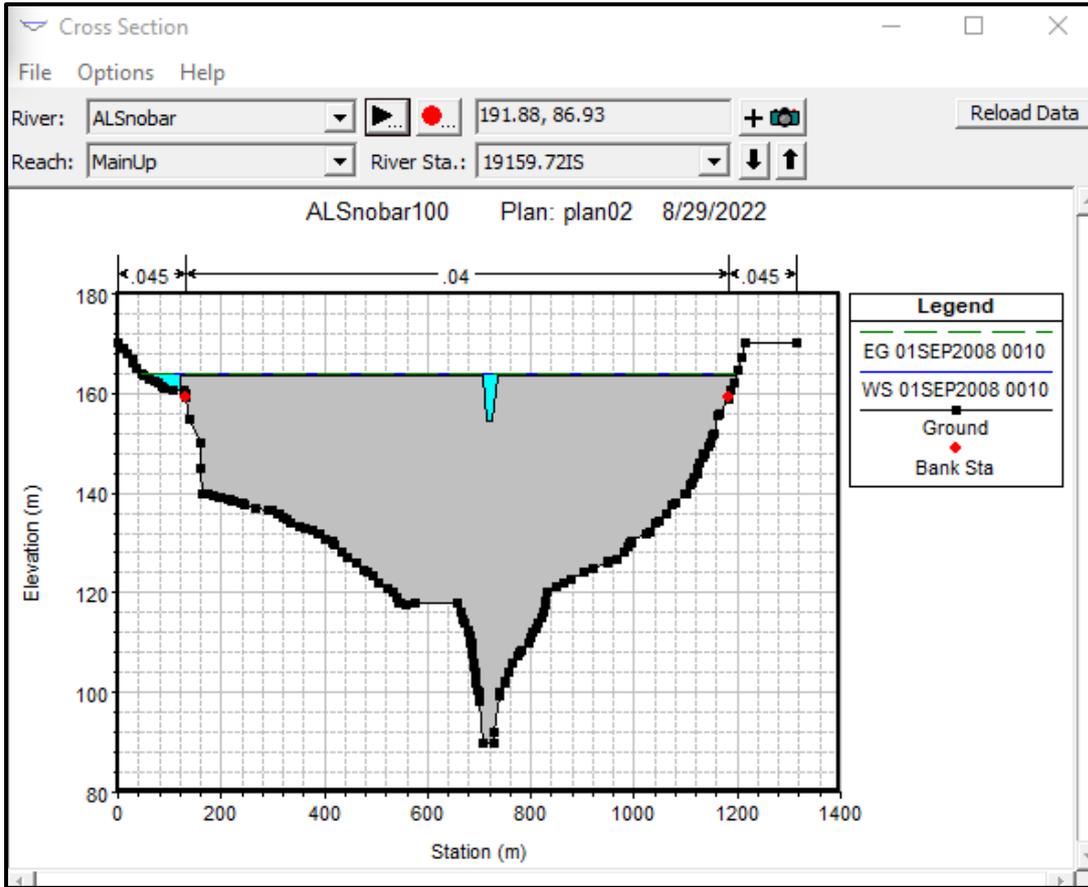
❖ منسوب قاع الخرق (Final Bottom Elevation) 98.13 m .

❖ الميول الجانبية للخرق (Side Slope) 1.06 .

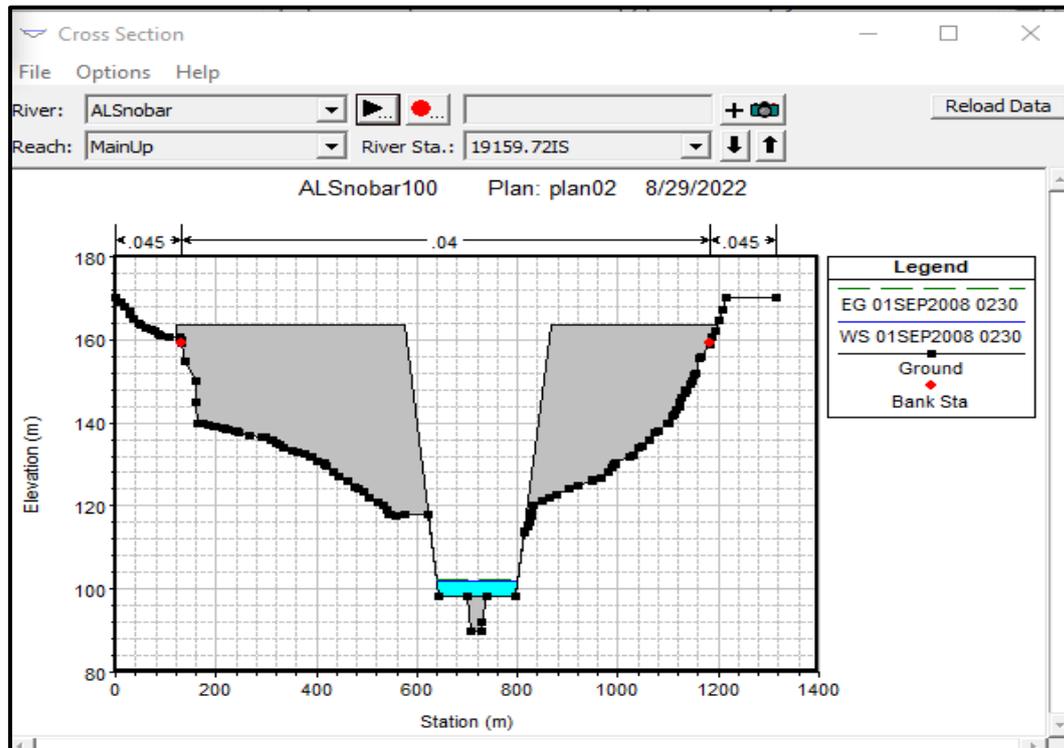
- ❖ الزمن اللازم لتشكيل الخرق بالكامل (Breach Formation Time (hr) 2.57 hour.
- ❖ منسوب الماء في بحيرة التخزين الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل (Starting WS) 164m.
- ❖ تاريخ بداية الدراسة افتراضي حيث تبدأ فتحة الانهيار بالتشكل عند وصول منسوب الماء أمام السد 164 m ثم تتطور حتى تصل إلى الشكل النهائي بعد ساعتين و34 دقيقة، كما في الشكل (6) والشكل (7).
- ❖ الخطوة الزمنية دقيقة واحدة.



الشكل (5) أبعاد فتحة الانهيار حسب (XU, Y. and Zhang, 2009).



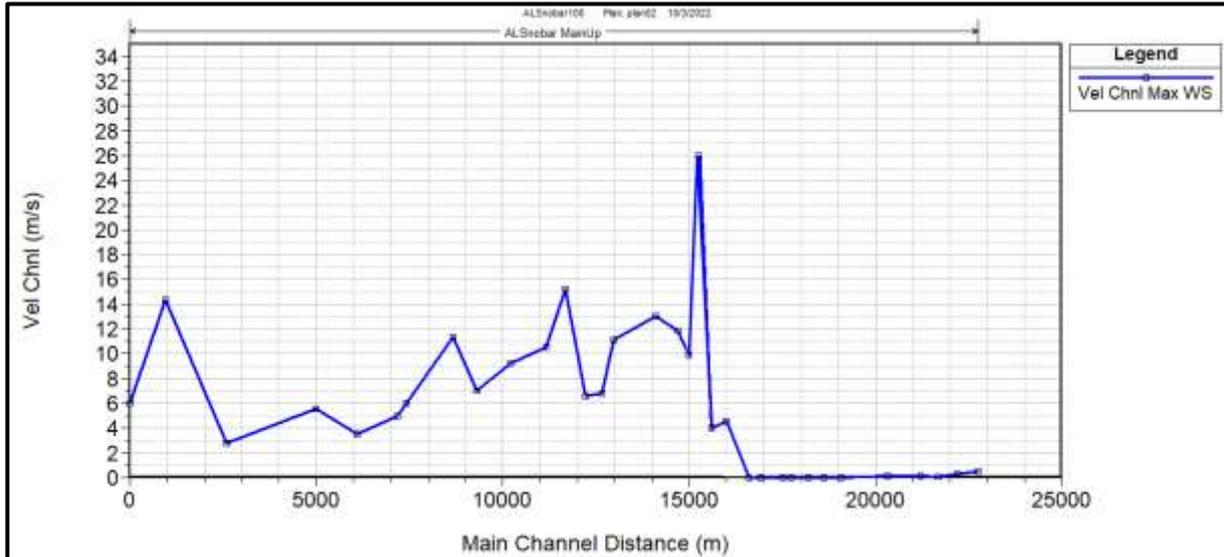
الشكل (6) بداية تشكل فتحة الانهيار بعد 10 دقائق على بداية الانهيار.



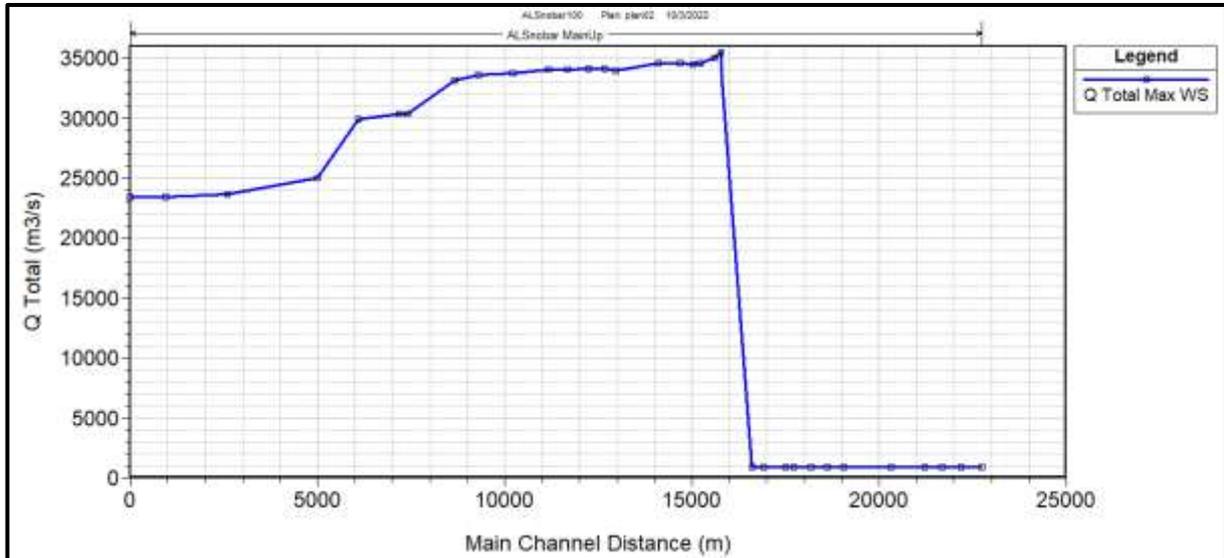
الشكل (7) شكل فتحة الانهيار النهائي.

نتائج تحليل الانهيار (overtopping)

✓ الشكل (8) منحنى يوضح سرعة المياه الأعظمية عند مرور أعظم تدفق وذلك على طول المجرى وعند كل مقطع عرضي، حيث كانت قيمة السرعة العظمى عند المقطع 17795 قيمتها 26 m/sec وأصغر سرعة كانت عند المقطع 5982 حيث بلغت قيمتها 2.39 m/sec. والشكل (9) يوضح منحنى غزارة المياه الأعظمية على كامل المجرى وأكبر قيمة عند أول مقطع عرضي 17363 الذي يبعد عن السد 500 m وتقل قيمة الغزارة الأعظمية مع التقدم باتجاه البحر بسبب الضياعات في المجرى وانتشار المياه على مساحات كبيرة.

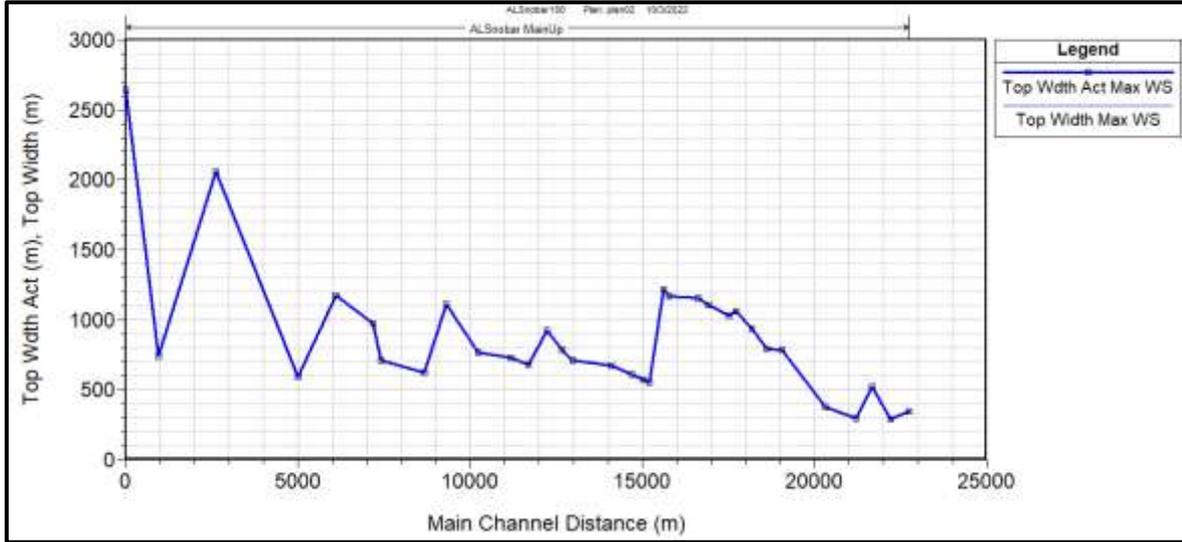


الشكل (8) منحنى سرعة المياه الأعظمية عند كل مقطع عرضي عند مرور أعظم تدفق.

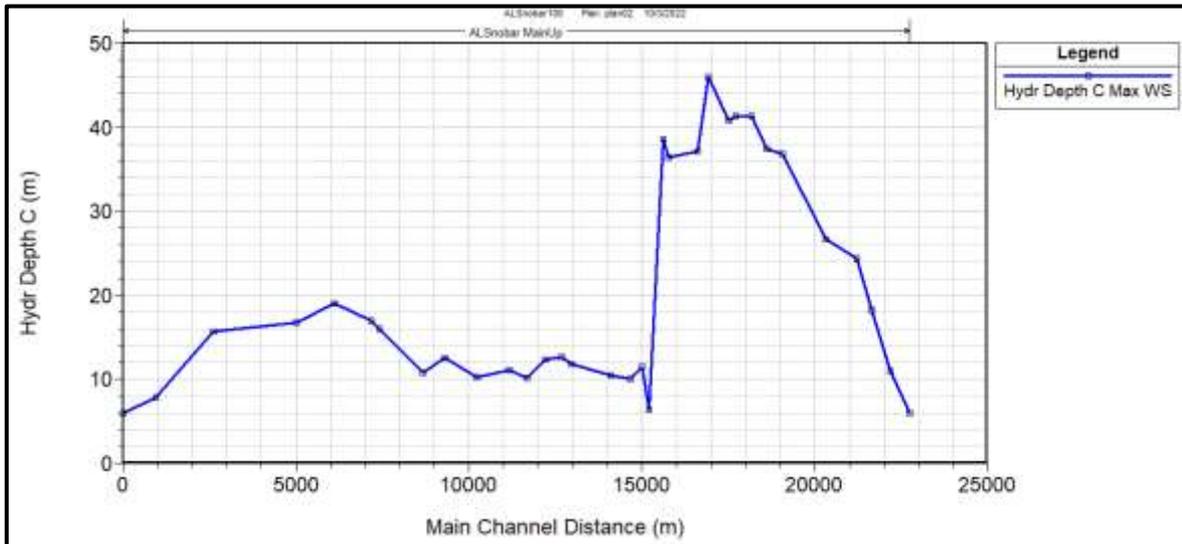


الشكل (9) منحنى غزارة المياه الأعظمية عند كل مقطع عرضي على كامل طول المجرى وأعظم غزارة عند المقطع 17363 وقيمتها $35502.9 \text{ m}^3/\text{sec}$

✓ عرض مناطق الغمر الأعظمية عند كل مقطع عرضي على طول المجرى المائي حيث يتراوح عرض مناطق الغمر بين (2642 – 552) الشكل (10)، وعمق مياه الفيضان عند كل مقطع عرضي على طول المجرى الشكل (11).

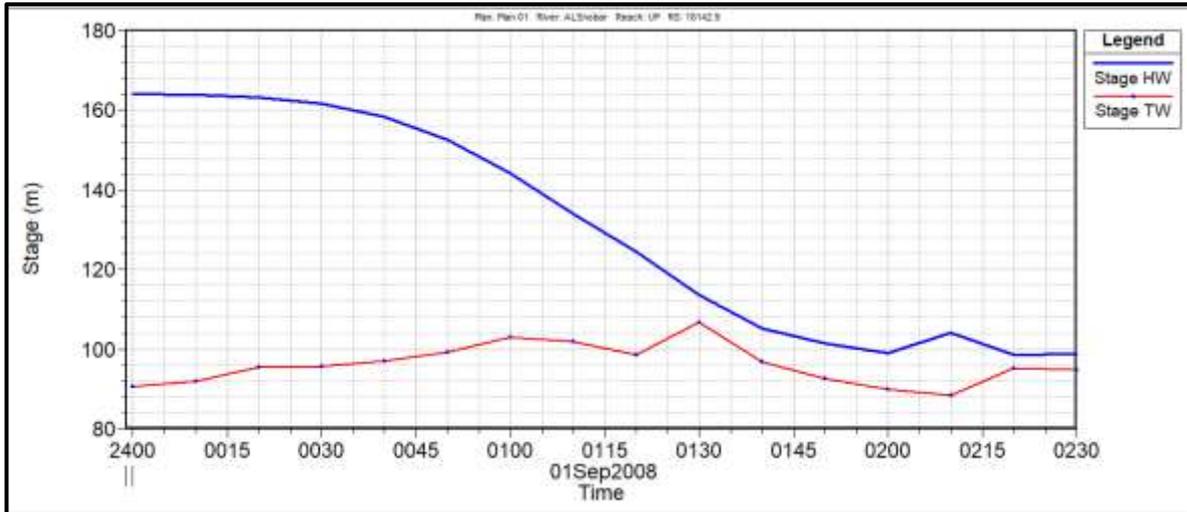


الشكل (10) منحنى عرض منطقة الغمر الأعظمية عند كل مقطع عرضي على طول المجرى.



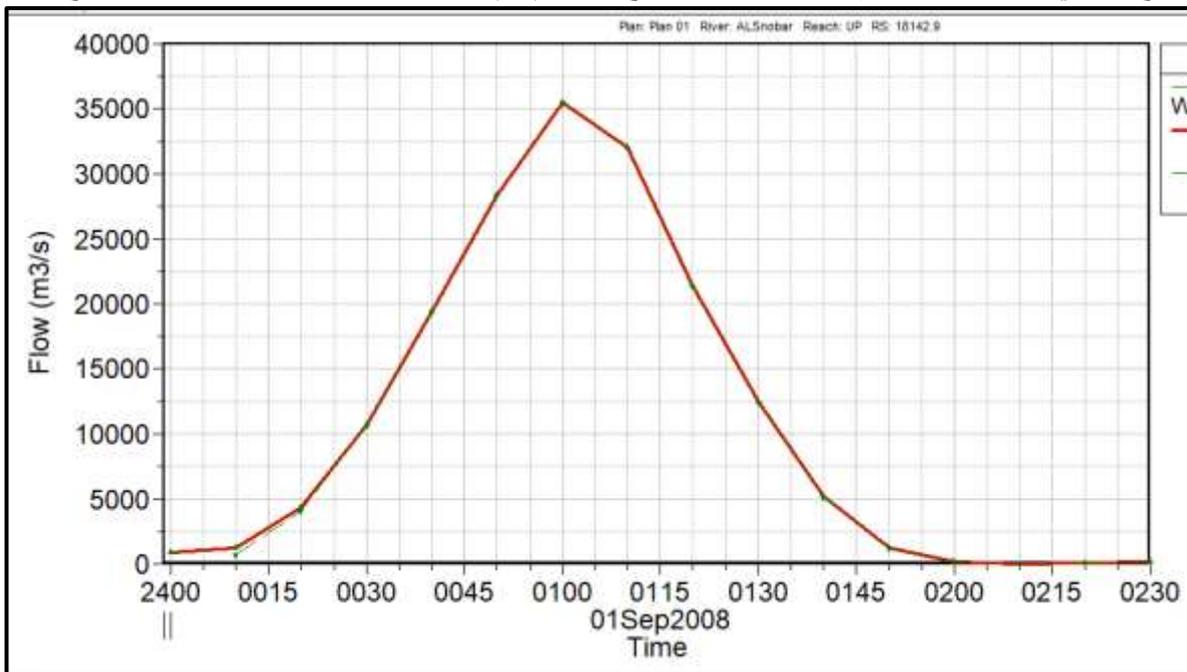
الشكل (11) منحنى عمق الغمر الأعظمي عند كل مقطع عرضي على طول المجرى.

✓ الشكل (12) يوضح انخفاض منسوب الماء أمام السد لحظة الانهيار، نلاحظ أن الانهيار حصل في اليوم الأول من النمذجة واستمرت فتحة الانهيار بالتشكل حتى الوصول إلى الشكل النهائي لها بعد ساعتين و34 دقيقة من بدء النمذجة حيث كان منسوب الماء أمام السد 164 m في بداية النمذجة قبل الانهيار إلى أن وصل إلى المنسوب 106 m بعد ساعة ونصف على بداية الانهيار.

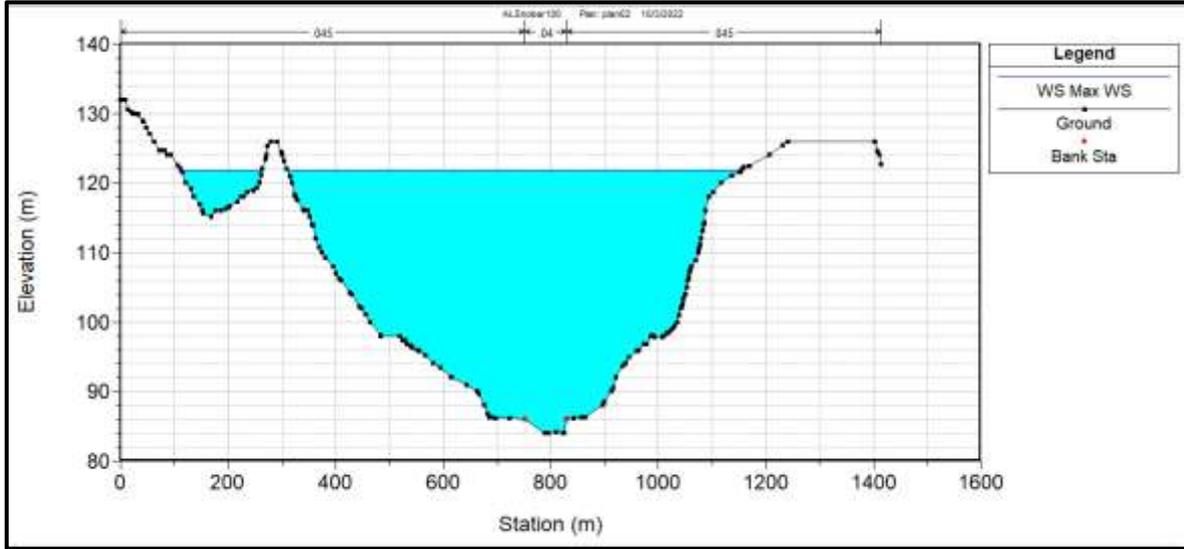


الشكل (12) انخفاض منسوب الماء أمام السد لحظة الانهيار.

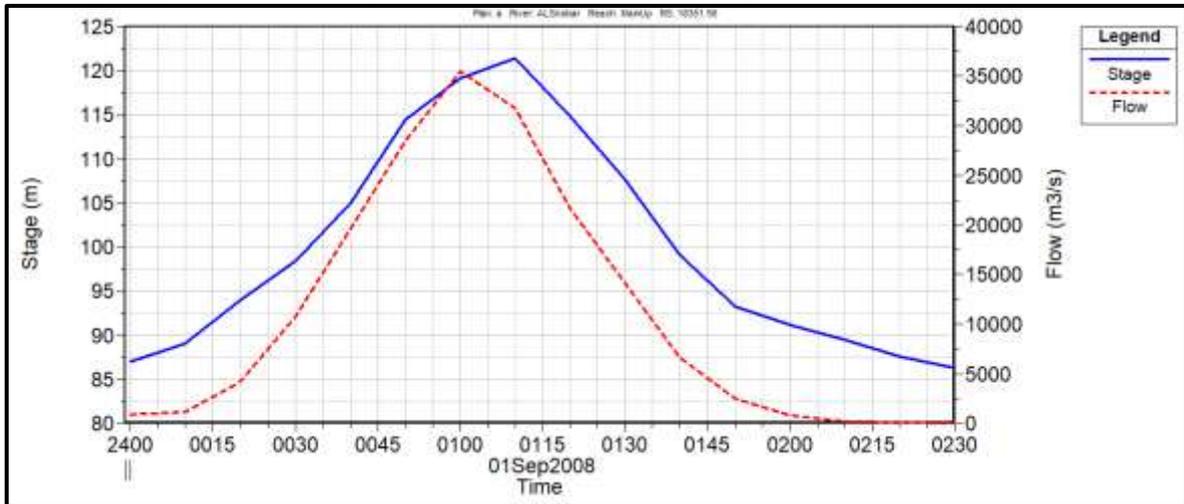
✓ يوضح الشكل (13) هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد، حيث كانت قيمة الغزارة الاعظمية الناتجة بعد ساعة من بدء الانهيار $35503.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ وخروج مياه بمقدار 110.567 MCM من البحيرة عبر الخرق المتشكل. الشكل (14) يوضح عمق الماء الأعظمي في المقطع الواقع على بُعد 500 m عن جسم السد. يبين الشكل (15) هيدروغراف الموجة الفيضانية في هذا المقطع. أما الشكل (16) فيبين عمق الماء الأعظمي في آخر مقطع عرضي وهو يبعد عن جسم السد 14 Km . يوضح الشكل (17) هيدروغراف الموجة الفيضانية لهذا المقطع.



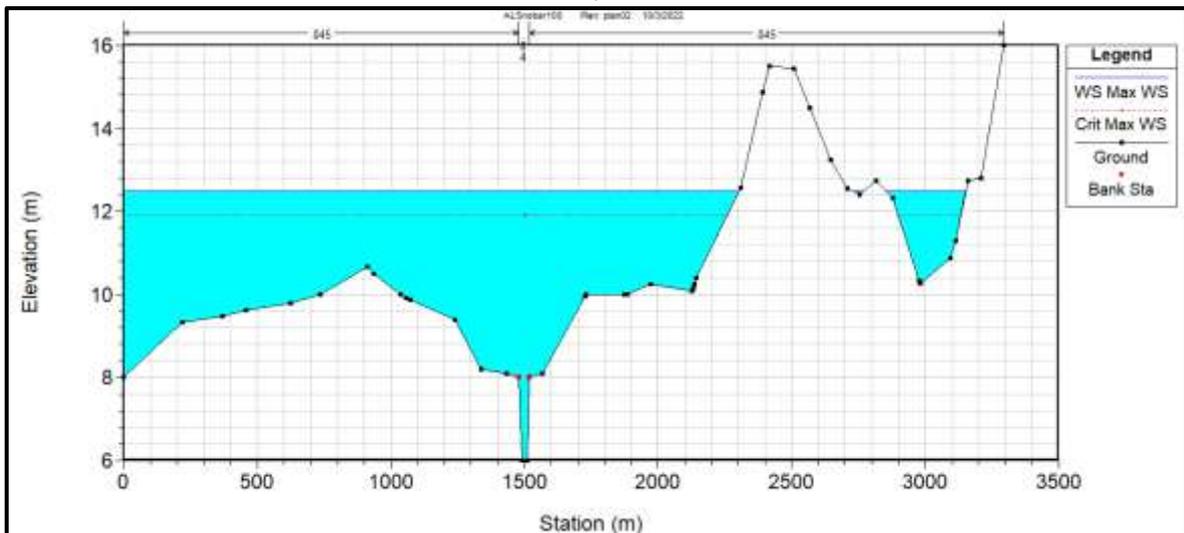
الشكل (13) هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد.



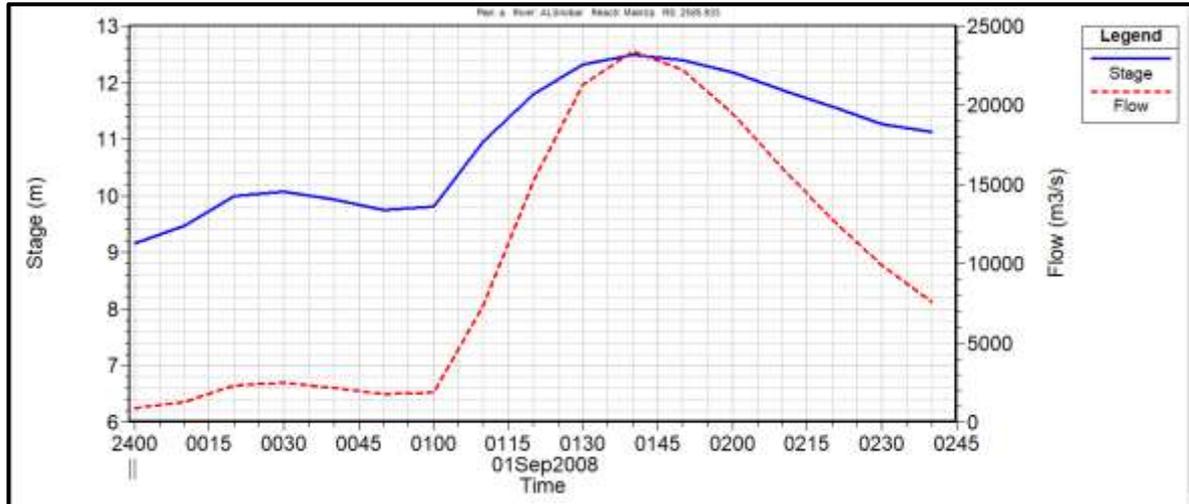
الشكل (14) المقطع العرضي وعمق الماء الأعظمي عند المقطع رقم 17363 بعد السد مباشرة الذي يبعد عن جسم السد حوالي 500 m.



الشكل (15) منحنى تغير الغزارة ومنسوب الماء مع الزمن في مقطع يقع بعد السد مباشرة حيث يمر تدفق الذروة بعد ساعة على بدء الانهيار بقيمة $35502.9 \text{ m}^3/\text{sec}$.

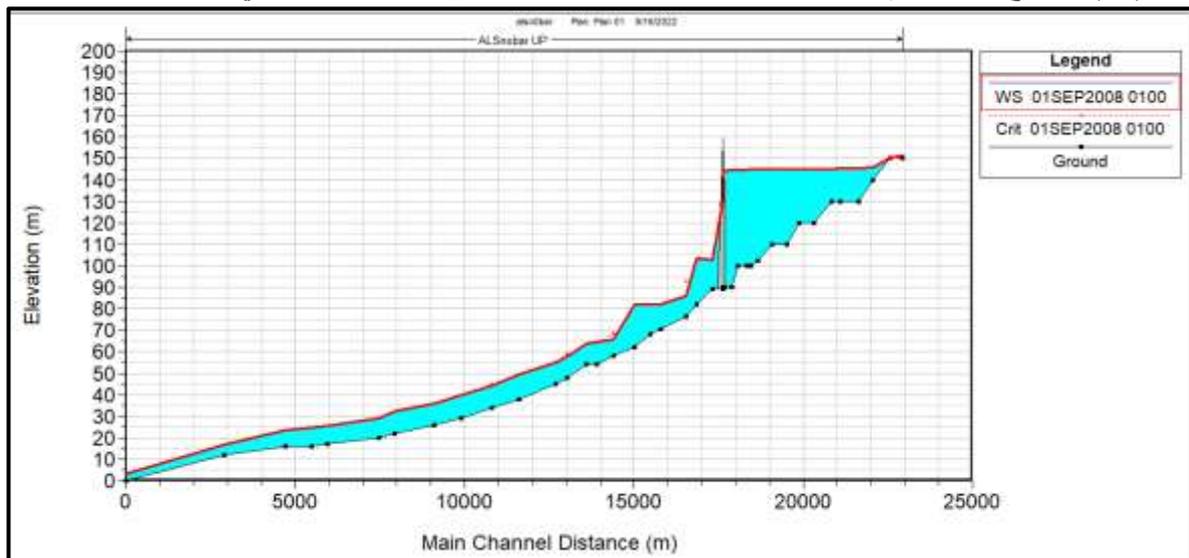


الشكل (16) المقطع العرضي وعمق الماء الأعظمي عند آخر مقطع عرضي الذي يبعد عن جسم السد حوالي 14 Km.

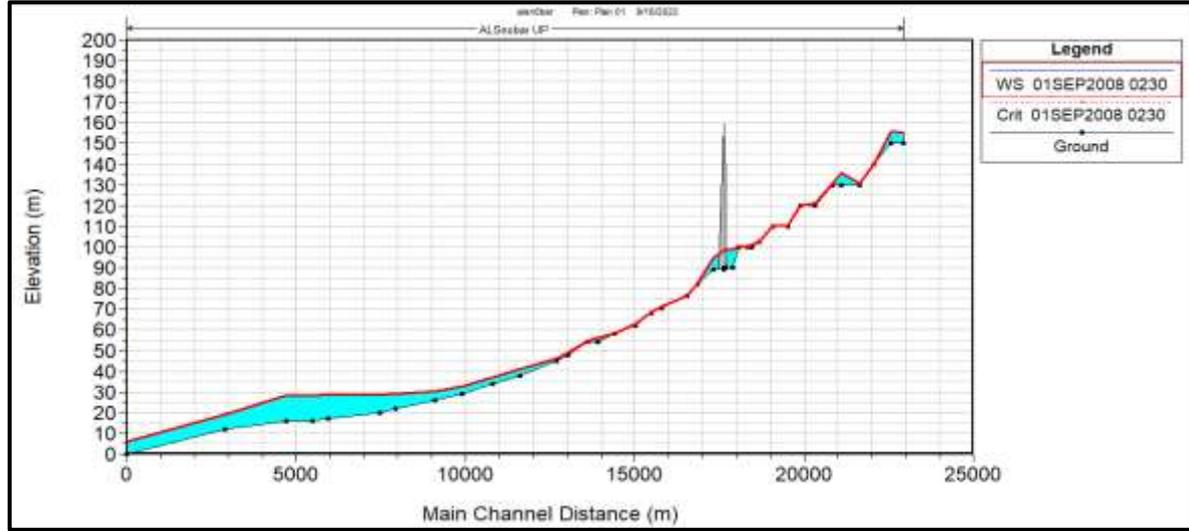


الشكل (17) منحنى تغير الغزارة ومنسوب الماء مع الزمن عند آخر مقطع عرضي في المجرى حيث يمر تدفق الذروة بعد ساعة و 40 دقيقة على بدء الانهيار بقيمة $23402.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ ويكون حجم الماء 98.3 MCM .

✓ مراحل تقدم الموجة الفيضانية على طول المجرى المائي المدروس عند أوقات مختلفة، الأشكال التالية (18)، (19)، توضح مراحل تقدم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار على طول المجرى المائي.

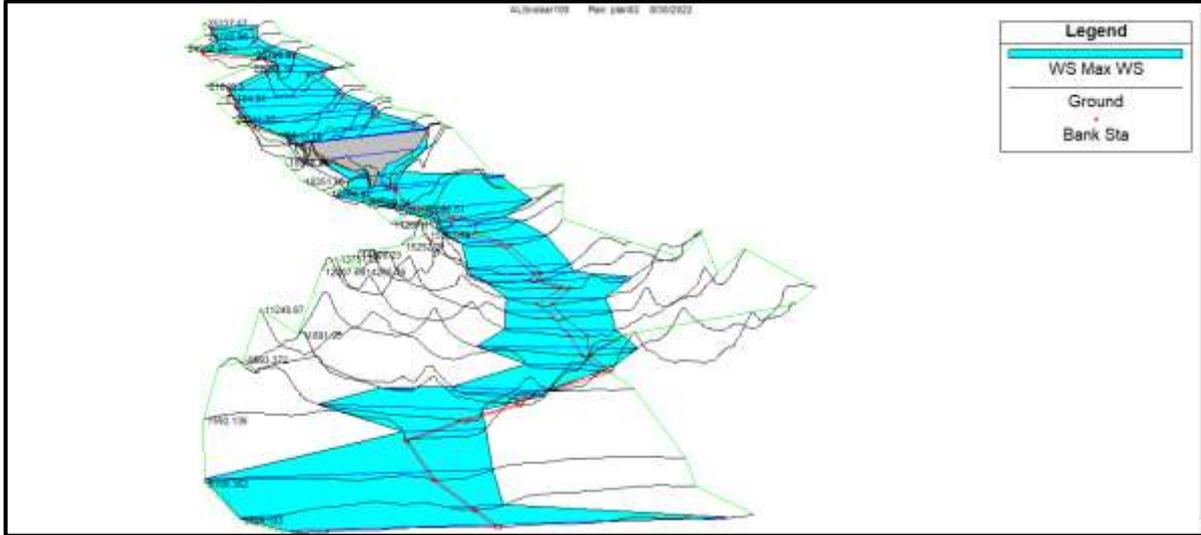


الشكل (18) تقدم الموجة الفيضانية بعد مرور ساعة على بداية الانهيار وخروج أعظم تدفق.



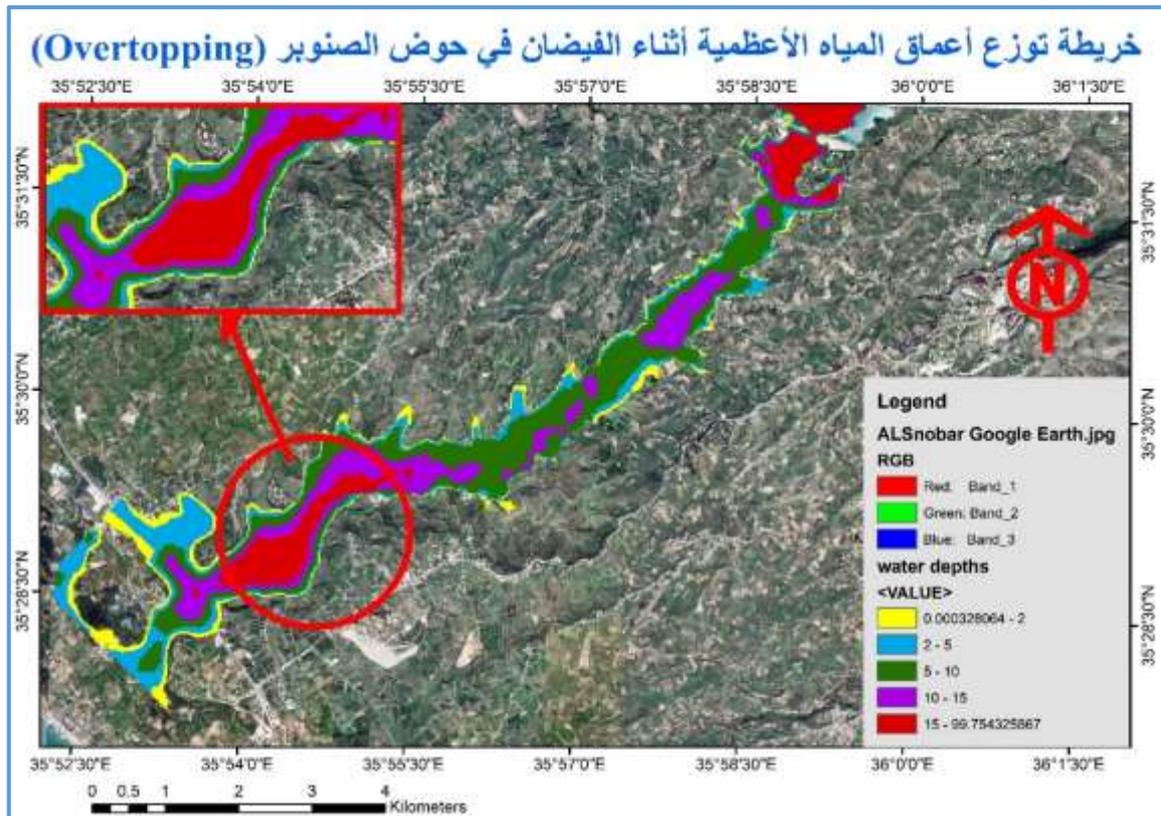
الشكل (19) المقطع الطولي للمجرى ونهاية الموجة الفيضانية في نهاية وقت المحاكاة بعد ساعتين و34 دقيقة.

✓ يمثل الشكل (20) مقطع ثلاثي أبعاد للمنطقة المدروسة موضح عليه المساحات المغمورة نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الثورة وفق سيناريو Overtopping كما يظهرها برنامج الـ HEC-RAS.

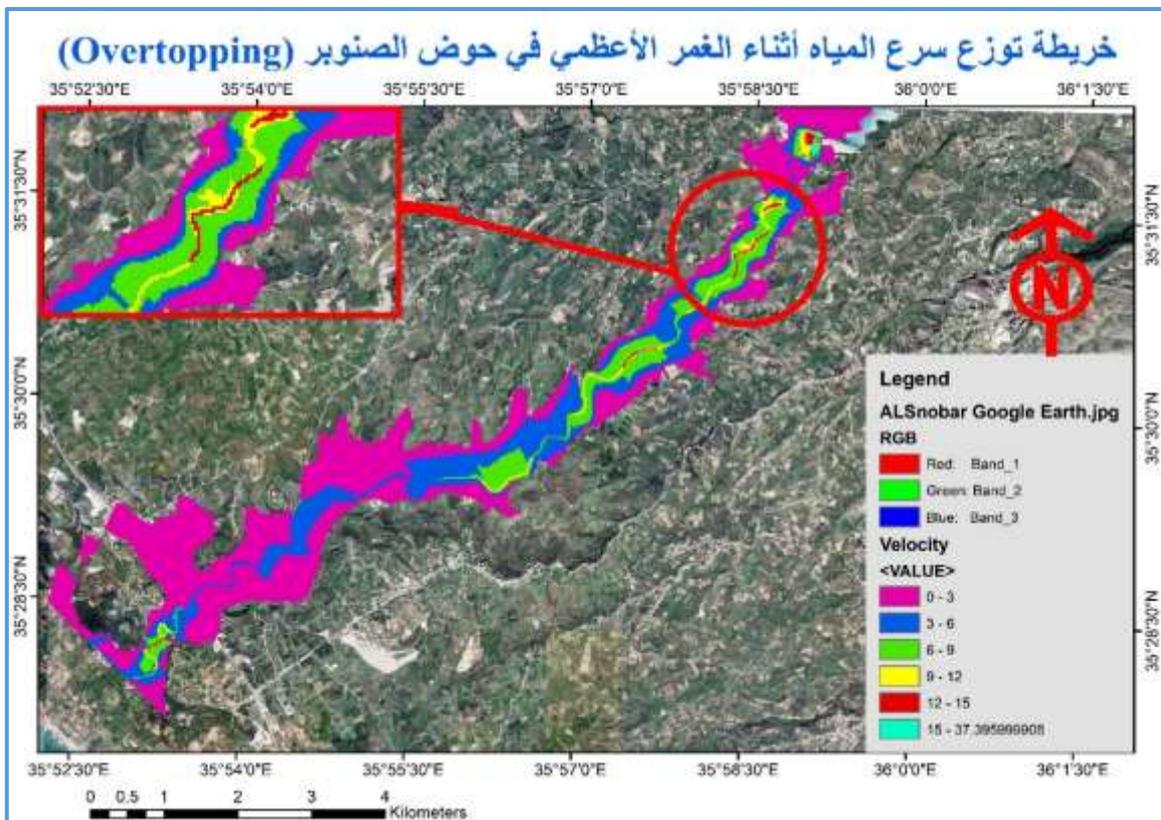


الشكل (20) مقطع ثلاثي الأبعاد يوضع عليه مناطق الغمر للمجرى حوض الصنوبر وفق سيناريو Overtopping على برنامج الـ HEC-RAS.

بعد إظهار النتائج باستخدام برنامج HEC-RAS نقوم بتصديرها إلى برنامج الـ GIS من أجل إخراج خرائط الغمر للمناطق الموجودة خلف السد، الخريطة توضح توزيع أعماق المياه في مختلف المناطق المغمورة، حيث أن اللون الأصفر يدل على توزيع أعماق المياه بين (0-2)m، واللون الأحمر الأعماق الأكبر من 15m وتتوزع في المناطق القريبة من السد والمنطقة المحصورة خلف التضيق الحاصل في المجرى عند سكة القطار الشكل (21)، ويُصح من قبل جميع الباحثين بعدم استثمار وإنشاء أبنية سكنية ومنشآت هامة في المناطق التي يزيد عمق المياه فيها عن 2m. الشكل (22) خريطة توضح توزيع سرعات المياه في مناطق الغمر، حيث أن السرعات الأعظمية تتركز في الجزء العلوي من المجرى بسبب الانحدار الشديد وفي وسط المجرى لنقل باتجاه الضفتين، وأيضاً في الجزء السفلي بعد التضيق.



الشكل (21) خريطة الغمر وأعماق المياه لحظة الغمر الأعظمي وفق سيناريو Overtopping باستخدام برنامج الـ GIS.



الشكل (22) خريطة توزيع سرعة المياه في فترة الغمر الأعظمي وفق سيناريو Overtopping باستخدام برنامج الـ GIS.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. ينتج عن الانهيار الافتراضي، موجة فيضانية بغزارة اعظمية قيمتها $35503 \text{ m}^3/\text{sec}$ الناتجة بعد ساعة من بدء الانهيار، وتتراوح متوسط سرعة الموجة الفيضانية ما بين $(2.39 - 26) \text{ m/sec}$ على طول المجرى، وخروج مياه بمقدار 110.159 MCM من البحيرة عبر الخرق المتشكل، تجرف كل ما يعترض طريقها مخلقة دمار وغمر المناطق المأهولة في الحوز السفلي للسد كما هي موضحة على الخريطة، ومن الممكن حدوث خسائر بشرية ما لم يتم الإنذار والاخلاء في الوقت المناسب.
2. في الانهيار الناتج عن تدفق الماء فوق قمة السد يتطور الخرق المتشكل بسرعة كبيرة حيث يصل الى الشكل النهائي بعد ساعتين و34 دقيقة من بداية الانهيار. مما يؤثر بشكل سلبي على الوقت المتاح للإنذار والفترة القصير للإخلاء.
3. في حالة الانهيار الناتج عن تدفق الماء فوق قمة السد تكون الغزارة الأعظمية الخارجة من الخرق $35503 \text{ m}^3/\text{sec}$ أكبر منها بكثير في حالة الانهيار الناتج عن الأنبية حيث وصلت الغزارة الاعظمية الخارجة من الخرق الى $11384.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ ، وكذلك وصلت أعظم سرعة في أحد المقاطع العرضية الى 26 m/sec أكبر منها بكثير من حالة الانهيار الناتج عن الأنبية في نفس المقطع 12.51 m/sec ، وتراوحت أعماق الغمر بين $(6 - 19) \text{ m}$ في حالة السيناريو الأول و $(1.3 - 10.8) \text{ m}$ في حالة السيناريو الثاني.
4. تراوحت أعماق الغمر بين $(6 - 19) \text{ m}$ ، ووصل أقصى عرض لغمر المياه في المنطقة السهلية القريبة من البحر الى 2642 m وأقل عرض للغمر في المقطع 17795 الواقع في المنطقة الجبلية كان 552 m .
5. بلغت مساحة المنطقة المغمورة التي تجاوز عمق الماء فيها 2 m القيمة 762 ha وفق سيناريو الانهيار المدروس.

التوصيات:

1. إعداد خرائط غمر بدقة عالية لكل المناطق المعرضة للفيضانات في سورية سواء فيضانات ناتجة عن انهيار سد أو فيضانات موسمية.
2. اجراء دراسة انهيار السدود لكافة الحالات الانهيار الممكن أن يتعرض لها السد باستخدام البرامج المتاحة واعداد خطط طوارئ واخلاء متكاملة ومناسبة.
3. التوسع في دراسة كيفية تطور الخرق المتشكلة أثناء الانهيار بالاعتماد على بيانات حقيقية لحالات انهيار سدود مع مراعاة قابلية تآكل تربة السد.
4. اجراء تخطيط عمراني للمنطقة المعرضة للغمر وعدم السماح بإنشاء أبنية سكنية ومنشآت مهمة مثل المدارس أو مشافي أو معامل في المناطق التي يزيد الغمر فيها عن 2 متر .

References:

1. HASSAN, I.: 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.
2. BROICH, K. "Mathematical modelling of dam break erosion caused by overtopping", Proceeding of the 2nd CADAM Meeting, 1998, Munchen, Germany, Available at www.hrwallingford.co.uk/projects/CADAM/.

3. BALOGUN, O.S.; GANIYU, H. O. *Development Of Inundation Map For Hypothetical ASA Dam Break Using HEC-RAS And ARC GIS*. Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment, Vol. 13, NO. 6, 2017, 831-839.
4. UNAL, I, C.; BOZKUS, Z. TWO-DIMENSIONAL DAM BREAK ANALYSES OF BERDAN DAM. Middle East Technical University, Turkey, 2019, 1 – 129.
5. FROELICH, D. C. *Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties*. U.S.A, Vol. 134, No. 12, December 2008, pages 1708-1721.
6. SINGH, V.P.; SCARLATOS, P. D. *Analysis of Gradual Earth–Dam Failure*. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, vol.114, no 1, p21-42.
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. 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.
10. XU, Y.; ZHANG, L, M. *Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams*. JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, Vol. 135(12), 2009, 1957 – 1970.