

Two-Dimensional Modeling Of A Hypothetical Failure Of Al-Hwiz Dam And Flood Inundation Mapping

Dr. Izzeddin Hassan *

Dr. Reem Branbo **

Mohamad Khelli ***

(Received 26 / 9 / 2024. Accepted 29 / 6 / 2025)

□ ABSTRACT □

The Al-Hwiz earthfill dam is located on the Barghol River, approximately 40 km southeast of the city of Latakia and around 2–2.5 km northwest of the Sakhaba Dam, within the Latakia Governorate. This study aims to assess the potential for a hypothetical failure of the Al-Hwiz Dam using two-dimensional modeling with the aid of HEC-RAS and GIS software. The modeling was conducted for two failure scenarios: overtopping and piping. The results varied between the two scenarios in terms of inundation area, peak flood wave volume, and the time required for the flood wave to reach designated cross-sections located 2,000 m and 7,000 m downstream of the dam within the study area. The inundated area was estimated at approximately 726 hectares, while the peak flood wave discharge was 2,282 m³/s, occurring 6 hours and 25 minutes after the onset of failure. Based on these findings, we recommend the development of comprehensive and effective emergency and evacuation plans to serve as references for the relevant authorities in the event of similar disasters.

Keywords: two-dimensional modeling, Al-Hwiz Dam, inundation maps, HEC-RAS, GIS

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

* Professor, Water Engineering and Irrigation Department, Faculty of Civil Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. izaldinhassan@tishreen.edu.sy

**Assistant professor, Water Engineering and Irrigation Department, Faculty of Civil Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. reem.branbo@tishreen.edu.sy

***Postgraduate student (Master), Water Engineering and Irrigation Department, Faculty of Civil Engineering, Latakia University, Latakia, Syria. mohammedbouzankhalli@tishreen.edu.sy

نمذجة ثنائية البعد لانهايار افتراضي لسد الحويز ووضع خرائط الغمر

د. عزالدين حسن*

د. ريم برنبو**

محمد خللي***

(تاريخ الإيداع 26 / 9 / 2024. قُبِلَ للنشر في 29 / 6 / 2025)

□ ملخص □

يقع سد الحويز الترابي على نهر برغل إلى الجنوب الشرقي من مدينة اللاذقية بحوالي 40 كم، وإلى الشمال الغربي من سد السخابة بحوالي 2 - 2.5 كم في محافظة اللاذقية. ويهدف البحث لدراسة احتمال انهيار افتراضي لسد الحويز باستخدام النمذجة ثنائية البعد بالاستعانة ببرامج HEC-RAS و GIS. تمت النمذجة من خلال سيناريوهات الانهيار (Overtopping, Pipping)، وكانت النتائج بالنسبة لكل سيناريو مختلفة عن الآخر من حيث مساحة الغمر، وحجم الموجة الفيضانية، وزمن وصول الموجة الفيضانية إلى المقاطع العرضية التي تم أخذها على طول المجرى في منطقة الدراسة بمسافات تبعد عن السد بمقدار (2000, 7000m).

كانت المساحات التي تم غمرها من خلال سيناريوهات الانهيار، وكذلك حجم أعظم موجة فيضانية ناتجة عن الانهيار، والزمن المطلوب لخروج أعظم موجة فيضانية. وقد قدرت مساحة الغمر بحوالي (726) هكتار، بينما كان حجم أعظم موجة فيضانية $2282 \text{ m}^3/\text{sec}$ بعد 6:25 ساعة من بداية النمذجة، لذلك نوصي بإعداد خطط طوارئ وإخلاء متكاملة ومناسبة لتكون مرجع للسلطات المختصة في حالات الكوارث المشابهة

الكلمات المفتاحية: نمذجة ثنائية البعد، سد الحويز، خرائط الغمر، HEC-RAS، GIS

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

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا.

izaldinhassan@tishreen.edu.sy

**دكتور، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا.

reem.branbo@tishreen.edu.sy

*طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا.

mohammedbouzankhalli@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تُعدّ السدود بنية أساسية في إدارة الموارد المائية، حيث تلعب دورًا كبيرًا في التخزين والتحكم بالمياه لأغراض متعددة. بما في ذلك الري، وتوليد الطاقة الكهرومائية، وتوفير المياه. لذلك يُعتبر انهيار السدود من أخطر الكوارث المرتبطة بمشاريع الهندسة المدنية نظرًا لإمكانية حدوث خسائر مادية وبشرية كبيرة، حيث أنه في القرن العشرين، كان هناك ما يقرب 200 من حالات انهيار السدود في جميع أنحاء العالم، والتي سببت كثير من الخسائر في الأرواح بالبنية التحتية والممتلكات العامة والخاصة [1]. كما أنه اعتمادًا على أبحاث سابقة فإن متوسط عدد الوفيات في حال فشل السد بدون تحذير مسبق يكون أكبر بمقدار 19 مرة منه في حالة الفشل مع إنذار مسبق [2]. ويمكن أن يكون انهيار السدود ناتجًا عن أخطاء في البناء أو أحداث طبيعية مثل الأمطار الغزيرة، والتآكل، والفيضانات، وأسباب أخرى متعلقة بالتصميم والتنفيذ وعوامل متعددة. كما أنه عند انهيار السد، يمكن أن يحدث فيضان مفاجئ ومدمر. ويكون الوقت المتاح للتحذير والإخلاء محدود، ويمكن أن تكون الفيضانات الناتجة لها تأثير كبير على الحياة، والممتلكات، وتسبب في خسائر مادية وبشرية جسيمة. من هنا تأتي أهمية تقييم المخاطر الناتجة عن انهيار السدود ولابد من تطوير نماذج وأدوات لتقييم مخاطر الفيضانات ناتجة عن انهيار السدود. من خلال فهم سيناريوهات الفيضانات وتأثيراتها ووجود خرائط غمر مسبقة، يمكن أن تساعد السلطات على اتخاذ قرارات مستنيرة للحد من المخاطر وتقليل الخسائر البشرية والاقتصادية.

أهمية البحث وأهدافه:

يتناول هذا البحث الانهيار الافتراضي لسد الحويز. لذا يعد هذا البحث ضروري لتقييم المخاطر المرتبطة بانهيار السد وتحديد المساحات التي من المحتمل أن تتعرض للغمر الناتج عن انهيار السد، إضافة إلى تحديد المناطق التي يمكن أن تتأثر بالفيضانات، مما يسمح للسلطات بتطوير خطط الإخلاء وتخصيص الموارد بشكل فعال، والاستعداد بشكل أفضل للاستجابات للطوارئ وخطط الإخلاء. كما أنه يعد ضروري من أجل التخطيط الحضري، وتطوير البنية التحتية من خلال تحديد المناطق عالية الخطورة المعرضة للفيضانات في حالة انهيار السد لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن استخدام الأراضي، ولوائح البناء، وتطوير البنية التحتية للتخفيف من العواقب المحتملة لانهيار السد. ويهدف البحث إلى تحليل ونمذجة الانهيار الافتراضي لسد الحويز من خلال برنامج ال HEC-RAS وفق سيناريوهات الانهيار (Overtopping, Piping) باستخدام تقنيات النمذجة ثنائية الأبعاد لتحديد الزمن اللازم للانهيار، وتحديد مناطق الغمر وحجم الموجة الفيضانية العظمى.

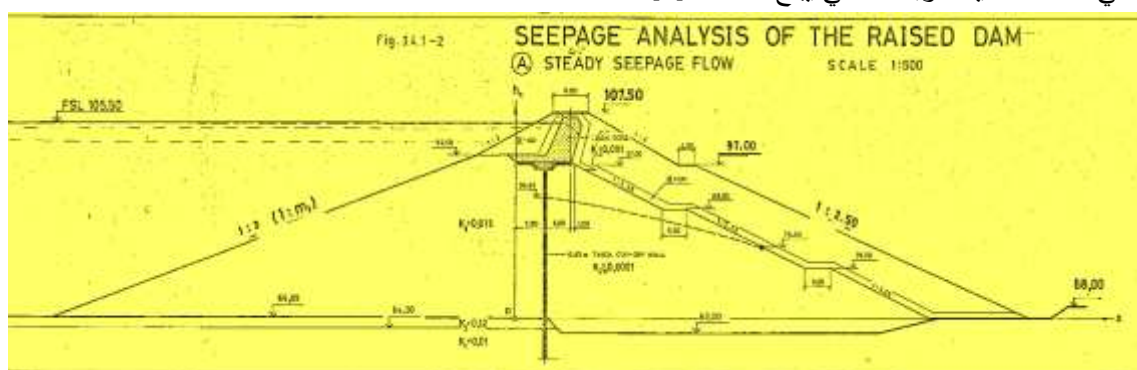
طرائق البحث ومواده:

تستهدف الدراسة سد الحويز والذي يقع على نهر أبو برغل إلى الجنوب الشرقي من مدينة اللاذقية بحوالي 40 كم، وإلى الشمال الغربي من سد السخابة بحوالي 2 - 2.5 كم في محافظة اللاذقية، وهو عبارة عن سد ترابي، ويبين الشكل (1) صورة جوية لسد الحويز مع بحيرة التخزين من Google earth.



الشكل (1): صورة جوية لسد الحويز مع بحيرة التخزين

يبين الشكل (2) منسوب قمة السد 107.5m، وعرض 8m. كما يبلغ الارتفاع الاعظمي للسد 42m وميل الوجه الأمامي 1:3 أما ميل الوجه الخلفي يبلغ 1:2.5 [3]



الشكل (2): مقطع عرضي لسد الحويز

الجدول (1): البيانات الرئيسية لسد الحويز

107.5 m	منسوب قمة السد
8 m	عرض قمة السد
365 m	طول قمة السد
42 m	الارتفاع الأعظمي
105.5 m	منسوب التشغيل الأعظمي
1V:3H	ميل الوجه الأمامي
1V:2.5H	ميل الوجه الخلفي
15.2 Mm ³	حجم التخزين المفيد
16.3 Mm ³	حجم التخزين الإجمالي
ترابي بنواة كتيمية (ماتعة رشح)	نوع السد

يعتمد تنفيذ البحث على تطبيق معادلات زهانغ (XU, and Zhang, 2009)، واستخدام البرمجيات، والخرائط الطبوغرافية بمقاييس مختلفة، مع جمع المعطيات المرتبطة بالسد وبحيرة التخزين. حيث يتم حساب بارامترات الخرق (ارتفاع الخرق، ومنسوب قاع الخرق، وميل جوانب الخرق، والعرض الوسطي للخرق، والزمن اللازم لتشكيل الخرق) [4]. ثم استخدام برنامج الـ GIS لتوليد الخرائط الطبوغرافية لمجرى نهر البرغل والمنطقة المحيطة وبحيرة سد الحويز. سنقوم باستخدام الثوابت الخاصة ب قابلية التآكل المنخفضة بسبب وجود ستارة مانعة للرشح مكونة من خليط الاسمنت والبيتوناييت في نواة السد حيث أنه قام كل من (Walenna, Ghataora) من جامعة برمنغهام بدراسة خليط الاسمنت مع البيتوناييت من حيث قابلية التآكل باستخدام اختبار تآكل الحفرة (HET) وهي طريقة تستخدم في الهندسة الجيوتقنية لقياس مقاومة التربة للتآكل، وهو ذو صلة على وجه التحديد بموضوع التآكل الداخلي في السدود بالاعتماد على معلمين أساسيين لتقييم قابلية التآكل لخليط الاسمنت والبيتوناييت (CBB) وهما إجهاد القص الهيدروليكي ومعدل التآكل. توصلت الدراسة الى أن خليط الاسمنت والبيتوناييت الذين تم دراستهما في هذه الدراسة تم تصنيفهما كقابلية تآكل منخفضة إلى منخفضة جدًا. [5]

1 - حساب ارتفاع الخرق:

$$\frac{H_b}{H_d} = 0.453 - 0.025 * \left(\frac{H_d}{H_r} \right) + DT + FM + ER \quad (1 - 5)$$

حيث:

H_b : ارتفاع الخرق النهائي بالـ m.

H_d : ارتفاع السد مقدارًا بالـ m ويساوي 42m

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

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 انسكاب المياه عبر 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.

$$\frac{H_b}{H_d} = 0.453 - 0.025 * \left(\frac{42}{15} \right) + 0.145 + 0.218 + 0.031$$

$$H_b = 32.63 \text{ m}$$

وهو ارتفاع الخرق المتشكل، وبالتالي منسوب قاع الخرق يساوي:

$$107.5 - 32.63 = 74.87 \text{ m}$$

2 - عرض الخرق الوسطي

$$\frac{B_{av}}{H_b} = 0.787 * \left(\frac{H_d}{H_r} \right)^{0.133} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w} \right)^{0.652} * e^{B3} \quad (2 - 5)$$

حيث:

B_{av} : العرض الوسطي للخرق بالـ m .

V_w : حجم الماء في الخزان لحظة فشل السد بالـ m^3 وتساوي $19.92Mm^3$

H_b : ارتفاع الخرق النهائي بالـ $32.63 m$.

H_d : ارتفاع السد بالـ $42 m$.

H_w : ارتفاع الماء فوق منسوب قاع الخرق لحظة الفشل.

$$32.63 + 0.15 = 32.78 m$$

$B3$: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمتها تساوي:

$$B3 = DT + FM + ER$$

(3 – 5)

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 انسكاب المياه عبر 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 .

$$B3 = -0.041 + 0.149 - 0.391$$

$$B3 = -0.283 m$$

$$\frac{B_{av}}{32.63} = 0.787 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.133} + \left(\frac{(19.92 * 10^6)^{1/3}}{32.78}\right)^{0.652} * e^{-0.283}$$

$$B_{av} = 88 m$$

3- حساب عرض الخرق من الأعلى:

$$\frac{B_t}{H_b} = 1.062 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.092} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{0.508} * e^{B2} \quad (4 - 5)$$

حيث أن:

B_t : عرض الخرق من الأعلى بالـ m .

$B2$: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمتها تساوي:

$$B2 = DT + FM + ER$$

(5 – 5)

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

FM : ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين 0.299 للفشل الناتج عن انسكاب المياه عبر 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 .

$$B2 = 0.061 + 0.299 - 0.289$$

$$B2 = 0.071$$

$$\frac{B_t}{H_b} = 1.062 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.092} + \left(\frac{(19.92 * 10^6)^{1/3}}{32.78}\right)^{0.508} * e^{0.071}$$

$$B_t = 119.7 \text{ m}$$

وتعطى الميل الجانبية للخرق بالمعادلة:

$$Z = \frac{B_t - B_{av}}{H_b} = \frac{119.7 - 88}{32.63} \quad (6 - 5)$$

$$Z = 0.97$$

4 - الزمن اللازم لحدوث الانهيار :

$$\frac{T_f}{T_r} = 0.304 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.707} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{1.228} * e^{B5} \quad (7 - 5)$$

حيث أن:

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

T_r : زمن ساعة واحدة.

$B5$: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمه تساوي:

$$B5 = DT + FM + ER \quad (8 - 5)$$

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

FM : ثابت يتعلق بنموذج الفشل وبأخذ القيمتين التاليتين -0.597 - للفشل الناتج عن انسكاب المياه عبر القمة 0.611 - للفشل الأنبوبي.

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

$$B5 = -0.327 - 0.579 + 0.579 = -0.345$$

$$\frac{T_f}{T_r} = 0.304 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.707} + \left(\frac{(19.92 * 10^6)^{1/3}}{32.78}\right)^{1.228} * e^{-0.345}$$

$$T_f = 5.97 \text{ hour}$$

5 - حساب تدفق الذروة الخارج من الخرق:

$$\frac{Q_p}{\sqrt{g * V_w^{5/3}}} = 0.175 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.199} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{-1.274} * e^{B4} \quad (9 - 5)$$

حيث أن:

Q_p : تدفق الذروة الخارج من الخرق مقدراً m^3/sec . و: تسارع الجاذبية الأرضية m^2/sec

$B4$: معامل يتعلق بخصائص السد وقيمه تساوي:

$$B4 = DT + FM + ER \quad (10 - 5)$$

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

FM: ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين 0.705 - للفشل الناتج عن انسكاب المياه عبر القمة، - 1.362 للفشل الأنبوبي.

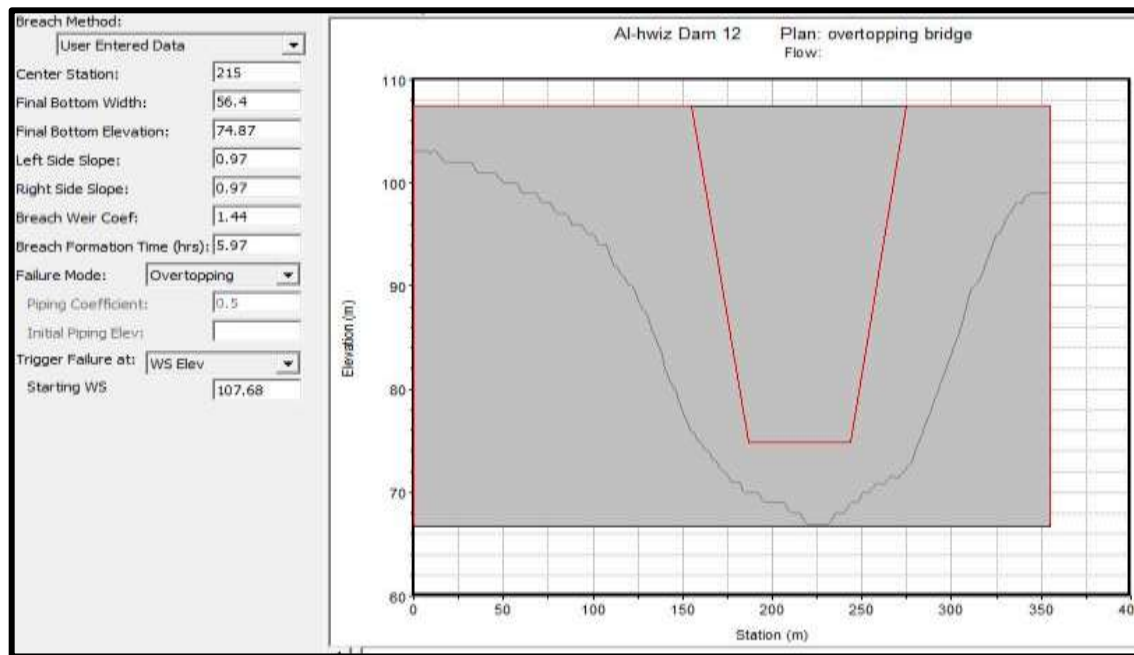
ER: ثابت يتعلق بقابلية التآكل للمواد المكونة للسد وتأخذ القيم التالية في حال القابلية العالية 0.007 - ، قابلية متوسطة 0.375 - ، قابلية منخفضة 1.362 -.

$$B4 = -0.503 - 0.705 - 1.362 = -2.57$$

$$\frac{Q_P}{\sqrt{g * V_w^{5/3}}} = 0.175 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.199} + \left(\frac{(19.92 * 10^6)^{1/3}}{32.78}\right)^{-1.274} * e^{-2.57}$$

$$Q_P = 4221.3 \text{ m}^3/\text{sec}$$

وهو تدفق الذروة الخارج من الخرق



الشكل (3) إدخال بارامترات الانهيار لسيناريو الأول لانسكاب الماء عبر قمة السد

5-1. حساب بارامترات الخرق في حالة السيناريو الثاني تسرب الأنبوبة (Piping)

في هذا السيناريو تم اعتبار منسوب الماء في البحيرة هو منسوب الماء الطبيعي، وأن الانهيار وقع في يوم مشمس نتيجة تسرب الماء من السد بسبب وصول الأنبوب إلى الوجه الخلفي له ومع الوقت توسع هذا الأنبوب على شكل فتحة في جسم السد أدى إلى انهيار السد.

في هذه الحالة إن سطح الماء الأولي من المفترض أن يكون مساوياً لمنسوب المفيض 105.5m أي منسوب التخزين الطبيعي. وبالتالي يكون حجم التخزين المقابل لهذا المنسوب 16.3 MCM.

شكل التآكل شبه منحرف يتركز على ارتفاع معين من قاعدة السد حيث يجب أن يكون مركز الأنبوب على ارتفاع ما بين $(\frac{1}{2}H_d)$ وحتى $(\frac{2}{3}H_d)$ حيث ارتفاع السد وبالتالي يكون المنسوب بين القيمتين $(21 - 28 \text{ m})$ ولتوقع قيمة لمنسوب المحور يتم حساب ارتفاع الخرق الذي يسبب أسوأ سيناريو للفشل الأنبوبي بالاعتماد على معادلات (XU, and Zhang, 2009)، وحساب بقية بارامترات الخرق الموافقة لهذا الارتفاع كما يلي:

1 - حساب ارتفاع الخرق

$$\frac{H_b}{H_d} = 0.453 - 0.025 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right) + DT + FM + ER \quad (10 - 5)$$

$$\frac{H_b}{H_d} = 0.453 - 0.025 * \left(\frac{42}{15}\right) + 0.145 + 0.236 + 0.031$$

$$H_b = 33.4m$$

وهو ارتفاع الخرق المتشكل، وبالتالي نفرض منسوب محور الخرق المتشكل عند 90.8m ويكون منسوب قاع الخرق:

$$90.8 - \left(\frac{33.4}{2}\right) = 74.1m$$

ويتم حساب البارامترات الموافقة لهذا الارتفاع وهي:

2- عرض الخرق الوسطي

$$\frac{B_{av}}{H_b} = 0.787 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.133} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{0.652} * e^{B3} \quad (11 - 5)$$

$$B3 = DT + FM + ER \quad (12 - 5)$$

DT: ثابت يتعلق بنوع السد -0.041 في حال السدود المزودة بنواة كتيمية، -0.026 للسدود المزودة بوجوه بيتونية، -0.0226 للسدود الركامية.

FM: ثابت يتعلق بنموذج الفشل ويأخذ القيمتين التاليتين 0.149 للفشل الناتج عن انسكاب المياه عبر 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.

$$B3 = -0.041 - 0.239 - 0.391$$

$$B3 = -0.671$$

$$\frac{B_{av}}{33.4} = 0.787 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.133} + \left(\frac{(16.3 * 10^6)^{1/3}}{31.4}\right)^{0.652} * e^{-0.671}$$

$$B_{av} = 60.15 m$$

3- حساب عرض الخرق من الأعلى:

$$\frac{B_t}{H_b} = 1.062 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.092} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{0.508} * e^{B2} \quad (13 - 5)$$

$$B2 = DT + FM + ER$$

$$B2 = 0.061 - 0.239 - 0.289 = -0.467 \quad (14 - 5)$$

$$\frac{B_t}{33.4} = 1.062 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.092} + \left(\frac{(16.3 * 10^6)^{1/3}}{31.4}\right)^{0.508} * e^{-0.467}$$

$$B_t = 70.6 \text{ m}$$

نفرض هنا أن الميل الجانبية للخرق مساوية 1.

4- الزمن اللازم لحدوث الانهيار:

$$\frac{T_f}{T_r} = 0.304 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.707} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{1.228} * e^{B5} \quad (15 - 5)$$

$$B5 = DT + FM + ER \quad (16 - 5)$$

$$B5 = -0.327 - 0.611 + 0.579 = -0.359$$

$$\frac{T_f}{1} = 0.304 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.707} + \left(\frac{(16.3 * 10^6)^{1/3}}{31.4}\right)^{1.228} * e^{-0.359}$$

$$T_f = 5.72 \text{ hour}$$

5- حساب تدفق الذروة الخارج من الخرق:

$$\frac{Q_P}{\sqrt{g * V_w^{5/3}}} = 0.175 * \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.199} + \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_w}\right)^{-1.274} * e^{B4} \quad (17 - 5)$$

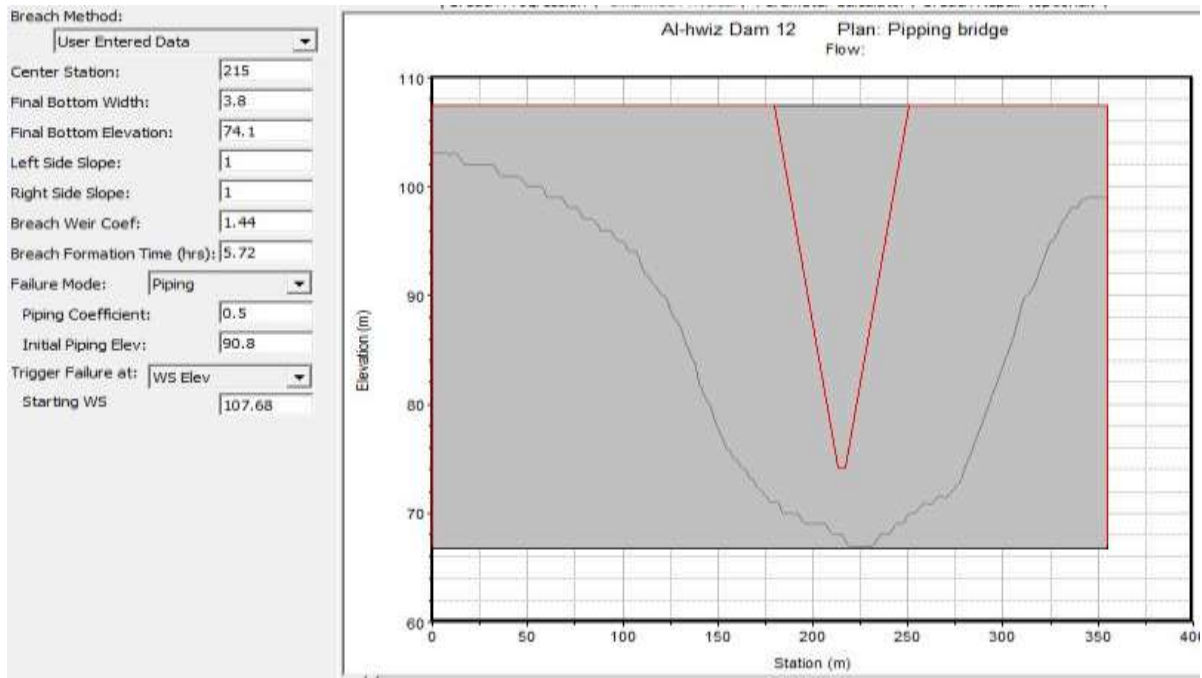
$$B5 = DT + FM + ER \quad (18 - 5)$$

$$B4 = -0.503 - 1.039 - 1.362 = -2.904$$

$$\frac{Q_P}{\sqrt{g * (16.3 * 10^6)^{5/3}}} = 0.175 * \left(\frac{42}{15}\right)^{0.199} + \left(\frac{(16.3 * 10^6)^{1/3}}{31.4}\right)^{-1.274} * e^{-2.904}$$

$$Q_P = 2637.15 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

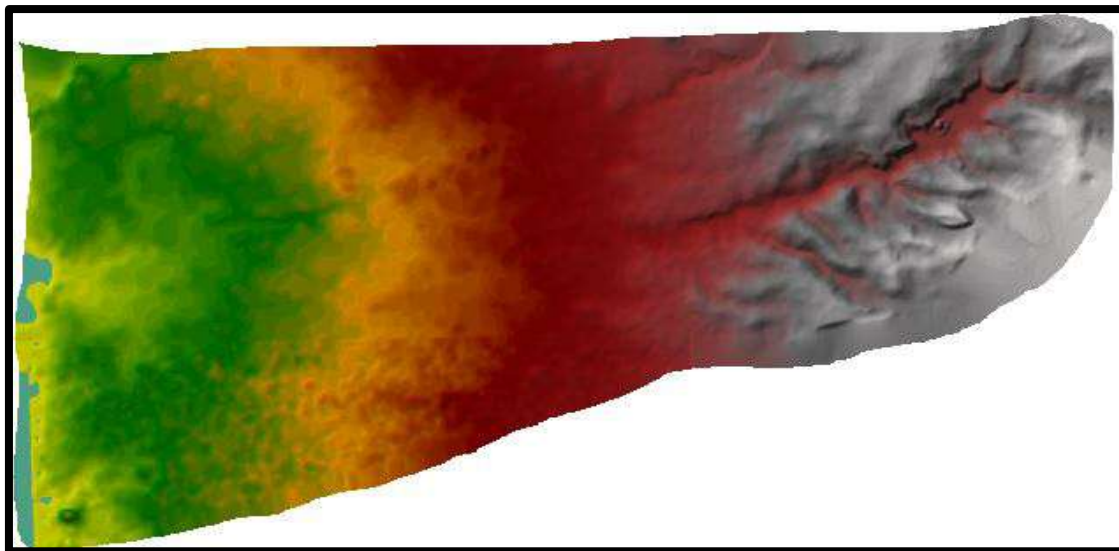
وهو تدفق الذروة الخارج من الخرق



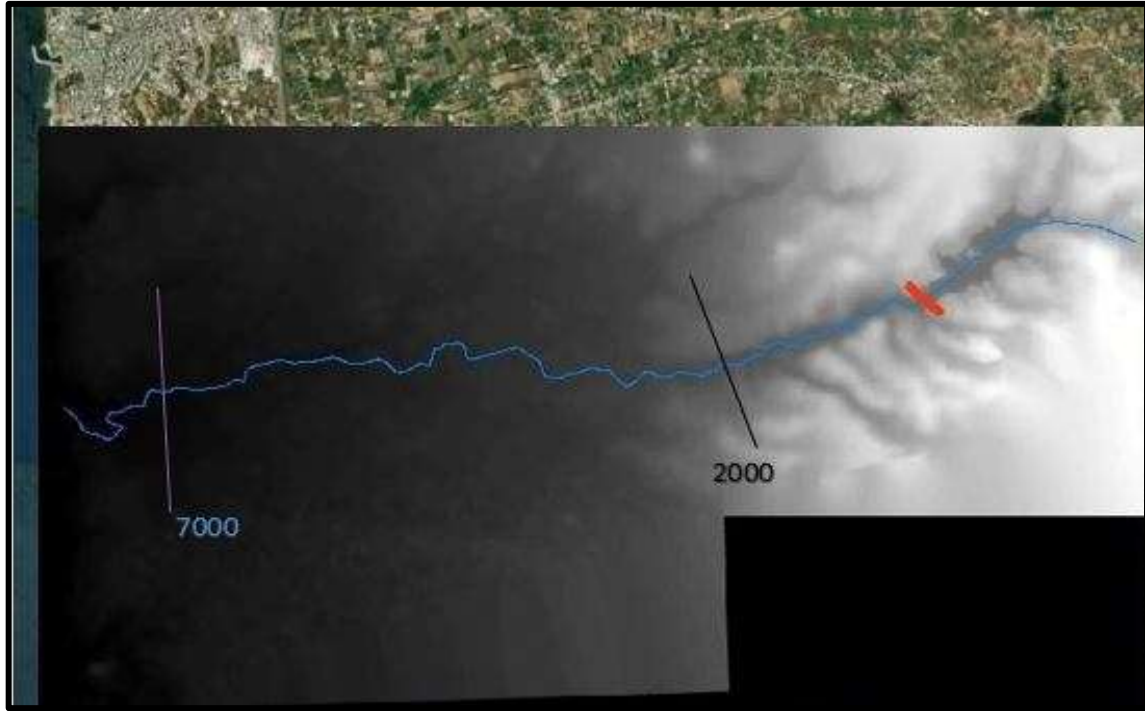
الشكل (4) يوضح ادخال بارمترات فتحة الانتهيار حسب سيناريو ال Piping

إنشاء الخريطة الرقمية باستخدام برنامج GIS

بعد الحصول على الخرائط الورقية بشكل رقمي أي ممسوحة ضوئياً بواسطة Scanner من مديرية الموارد المائية في اللاذقية، تمت عملية الإرجاع الجغرافي لهذه الخرائط georeferencing لتحديد موقعها الجغرافي الحقيقي وذلك في برنامج GIS، وتم رقمنتها (Digitizing) باستخدام برنامج GIS. ثم تحويلها إلى خريطة رقمية (DTM (Digital Terrain Model [6].



الشكل (5): خريطة رقمية (DTM (Digital Terrain Model



الشكل (6): خريطة رقمية مرجعة جغرافيا مبين عليها موقع السد ومجرى النهر والمقاطع العرضية

حساب معامل مانينغ للمنطقة المدروسة

يتم حساب معامل مانينغ استخدام دراسة العالم (Cowan) لتحديد قيمة معامل مانينغ في منطقة الدراسة باستخدام العلاقة التالية:

$$n=(nb+n1+n2+n3+n4) \times m$$

nb : القيمة الأساسية في الحساب والتي تتعلق بالمواد الطبيعية الموجودة ضمن المجاري المائية.

$n1$: قيمة تضاف لتصحيح عدم انتظام المجاري المائية.

$n2$: قيمة تضاف لتصحيح الاختلاف في شكل وحجم المقاطع العرضية.

$n3$: قيمة تتعلق بالعوائق الموجودة ضمن المجرى المائي المكشوف.

$n4$: قيمة تتعلق بشروط التدفق وكمية النباتات والأشجار.

m : معامل تصحيح لحساب التعرج ضمن المجرى المائي.

حيث أن قيمة معامل مانينغ تعتمد على عوامل مختلفة من أهمها: (خشونة السطح، والنباتات، وقنوات الري، وقنوات التصريف، والمواد المترسبة، والعوائق، وشكل وحجم القناة، والتدفقات ضمن المقطع، والتغيرات المناخية، والحمولات ضمن مجرى النهر).

وبشكل عام إن قيمة معامل مانينغ تعطى حسب المعلومات المتوفرة عن السطح المعرض للماء، وعندما تكون المعطيات المتوفرة غير كافية لحساب قيمته يمكن حسابه بشكل مشابه للشروط والقيم المكتسبة من البيانات التجريبية التي تستخدم كدليل في حساب قيمة المعامل [7].

الجدول (2): معامل مانينغ في المنطقة الجبلية

المعاملات	النهر	الضفاف
<i>nb</i>	0.024	0.04
<i>n1</i>	0.004	0.004
<i>n2</i>	0.005	0.005
<i>n3</i>	0.01	0.024
<i>n4</i>	0.002	0.01
<i>m</i>	1	1
معامل مانينغ <i>n</i>	0.045	0.083

الجدول (3): معامل مانينغ في المنطقة السهلية

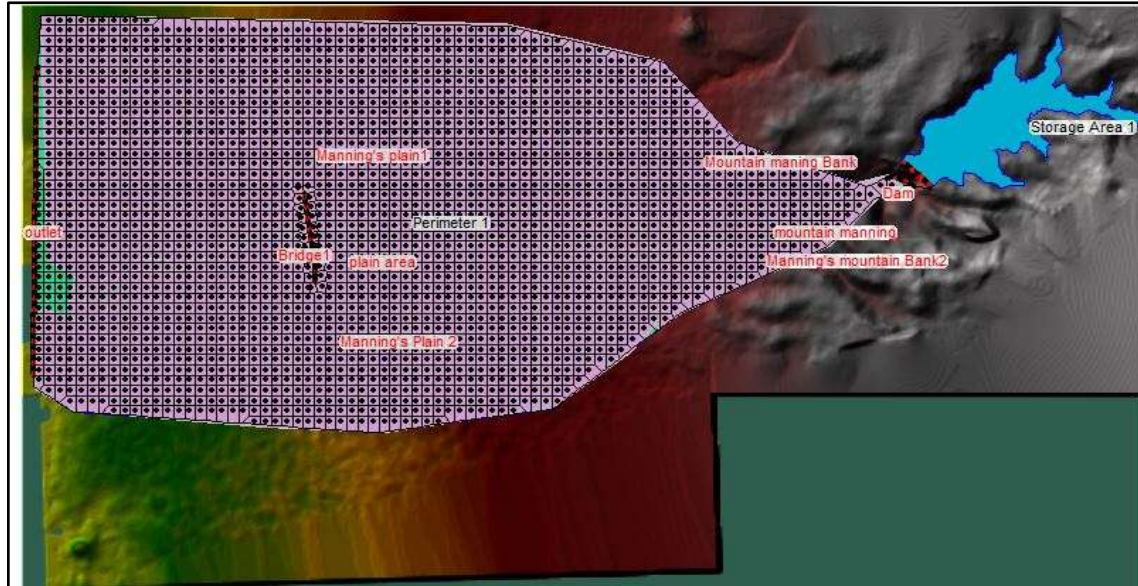
المعاملات	النهر	الضفاف
<i>nb</i>	0.025	0.028
<i>n1</i>	0.007	0.004
<i>n2</i>	0.005	0.005
<i>n3</i>	0.008	0.025
<i>n4</i>	0.01	0.03
<i>m</i>	1	1
معامل مانينغ <i>n</i>	0.055	0.092

نمذجة ثنائية البعد من خلال HEC-RAS

يهدف HEC-RAS إلى تحليل تدفق المياه في الأنهار والمجاري والقنوات المائية باستخدام نمذجة الحوض النهري. الميزة الأساسية لـ HEC-RAS هي قدرته على إنشاء نماذج تفصيلية للتضاريس والقنوات المائية ثنائية البعد [8]، ومحاكاة تدفق المياه والسيول في هذه البيئات. يتيح البرنامج للمهندسين والمختصين في مجال الهندسة المائية والبيئية إجراء تحليلات تتعلق بالسيول، والفيضانات، والتصميم الهيدروليكي [9]. ومن خلال النمذجة ثنائية البعد باستخدام HEC-RAS التي تساعد في فهم تصرفات المياه في المجاري المائية، وتحديد المناطق المعرضة للفيضان، وتطوير استراتيجيات إدارة المياه والتخطيط للطوارئ. [10، 11]

تتكون النماذج الهيدروليكية D2 من شبكة حسابية ثنائية الأبعاد، تمثل التضاريس الأساسية بواسطة الخلايا العناصر المتصلة (Mesh) التي تستخدم لحساب التدفق فيما بينها باستثناء الحدود الخارجية للشبكة [12]، وذلك على عكس النماذج أحادية الأبعاد، والتي تحتاج النماذج ثنائية الأبعاد إلى بيانات طبوغرافية مستمرة تغطي المنطقة بأكملها الشكل (7). ومن ثم قمنا ببناء النموذج ثنائي الأبعاد في برنامج الـ HEC-RAS بتحديد منطقة تخزين بحيرة السد وإدخال منحنى حجم تخزين منسوب وهو حجم التخزين عند كل منسوب، وتحديد أبعاد شبكة الـ Mesh التي تغطي منطقة

الدراسة (50 * 50) m. ثم تحديد جسم السد، وإدخال البيانات المطلوبة (الميل الجانبي للسد، وعرض قمة السد، ومنسوب قمة السد)، ثم إدخال بارامترات الخرق والبدء بعملية النمذجة.



الشكل (7): شبكة ال Mesh في منطقة الدراسة

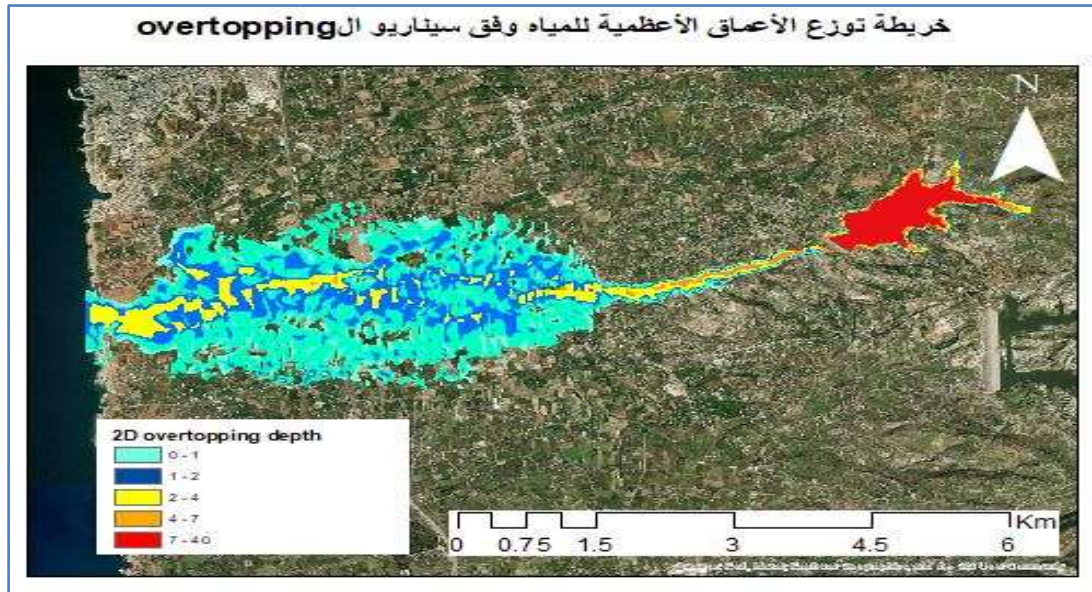
النتائج والمناقشة:

تمت النمذجة من خلال سيناريوهات الانهيار (Overtopping, Piping)، وكانت النتائج بالنسبة لكل سيناريو مختلفة عن الآخر من حيث مساحة الغمر، وحجم الموجة الفيضانية، وزمن وصول الموجة الفيضانية إلى المقاطع العرضية التي تم أخذها على طول المجرى في منطقة الدراسة بمسافات تبعد عن السد بمقدار (2000, 7000m).

سيناريو الانهيار Overtopping

المساحة التي تم غمرها

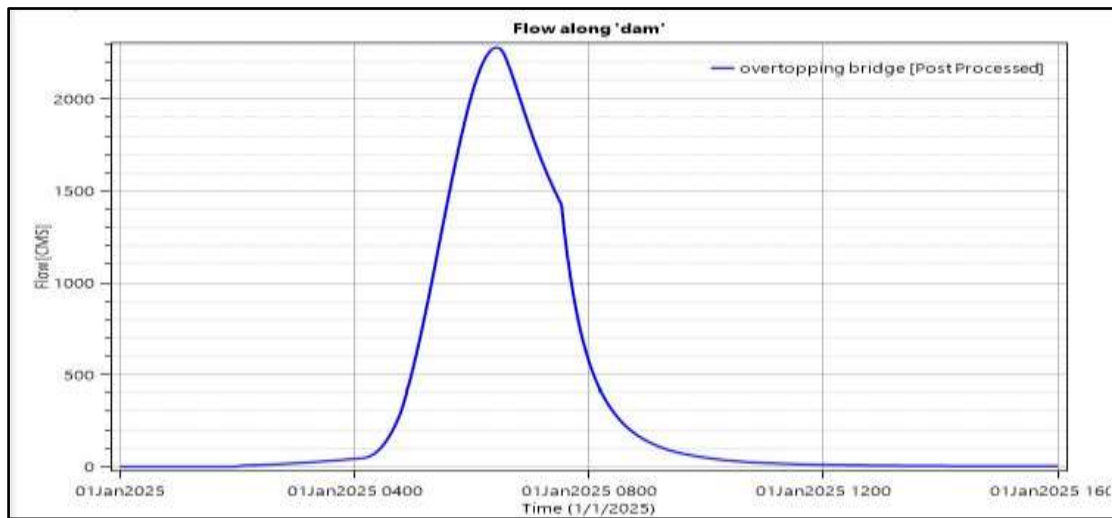
بعد عملية النمذجة ثنائية البعد من خلال سيناريو الانهيار Overtopping، وتحديد المساحة التي تم غمرها بواسطة الفيضان كما هو موضح في الشكل (8) كانت المساحة التي تم غمرها هي 726 hac.



الشكل (8): خريطة الغمر من سيناريو Overtopping

حجم الموجة الفيضانية

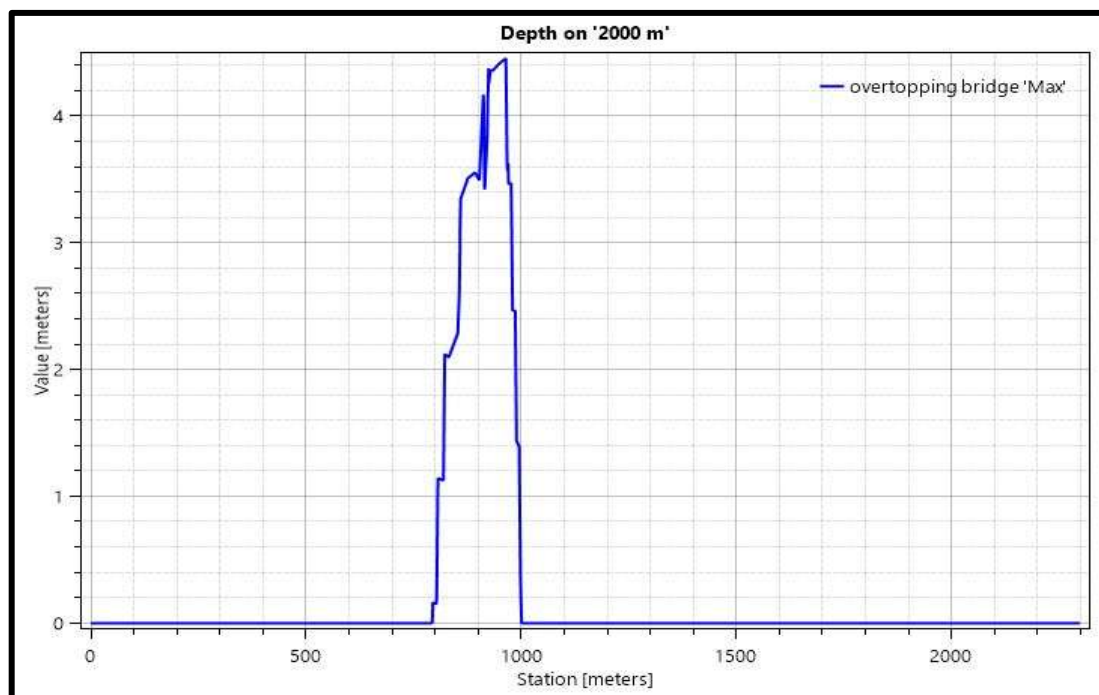
يوضح مخطط هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار حيث كانت أعظم غزارة يمررها الخرق $2282\text{m}^3/\text{sec}$ وذلك بعد 6 ساعات و 25 دقيقة على بداية النمذجة.



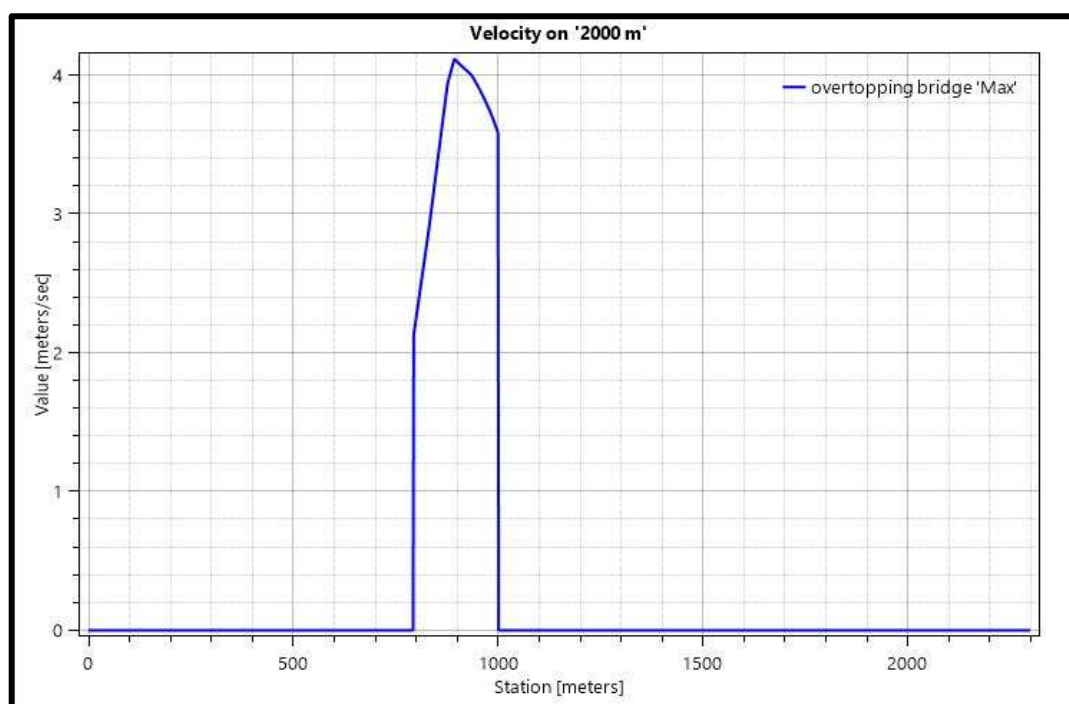
الشكل (9): هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد حيث كانت أعظم قيمة $2282\text{m}^3/\text{sec}$

عمق وسرعة الفيضان

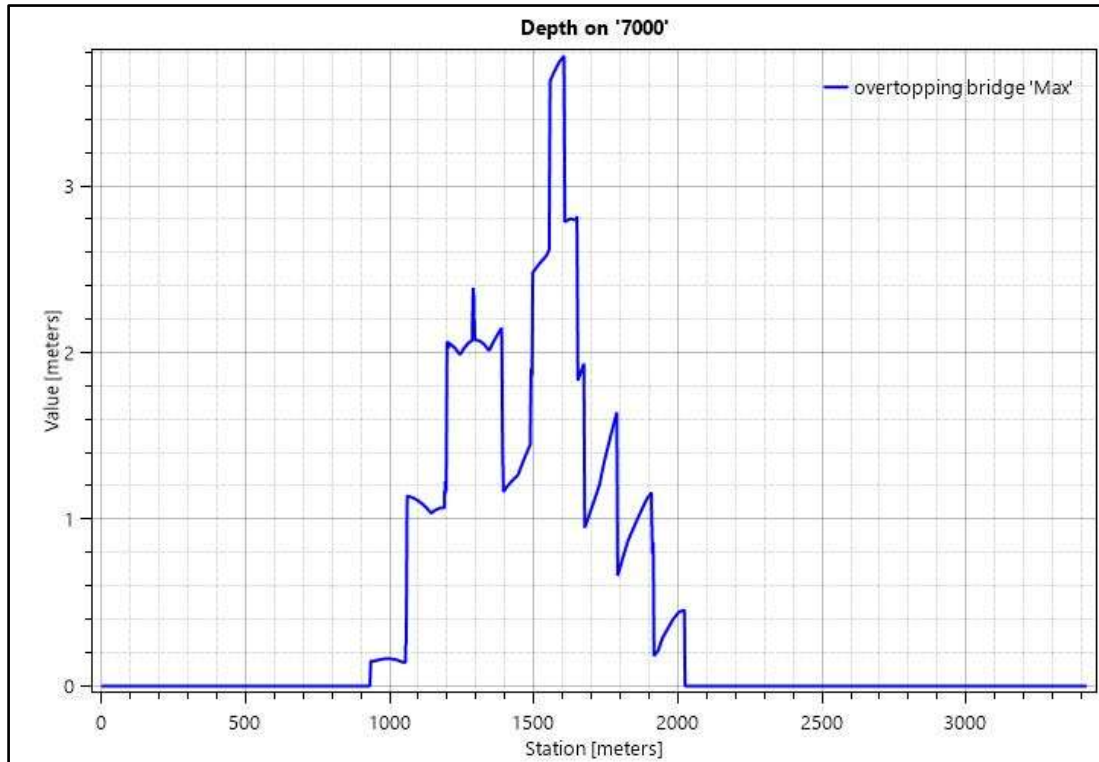
تم أخذ مقطعين على بعد 2000 و 7000 متر عن السد لتحديد عمق الفيضان والسرعة عند كل مقطع كما هو موضح في الشكل (10) والشكل (11).



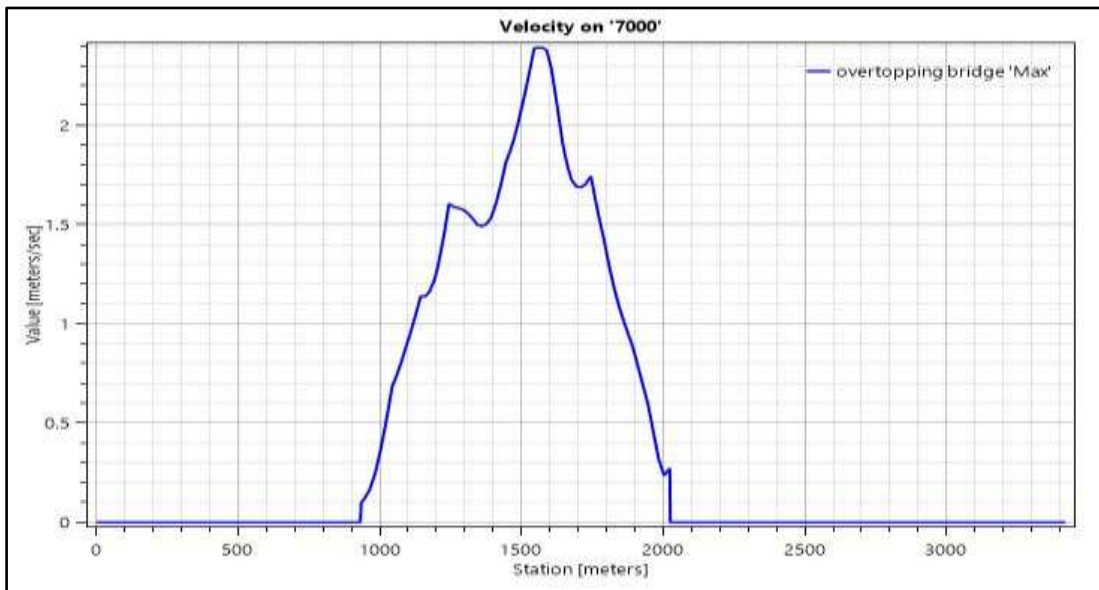
الشكل (10): المقطع العرضي 2000 وعمق الماء الأعظمي عنده 4.45m



الشكل (11): توزيع السرعة في المقطع العرضي 2000 وكانت أكبر قيمة 4.12 m/sec



الشكل (12): المقطع العرضي 7000 وعمق الماء الأعظمي عنده 3.78m

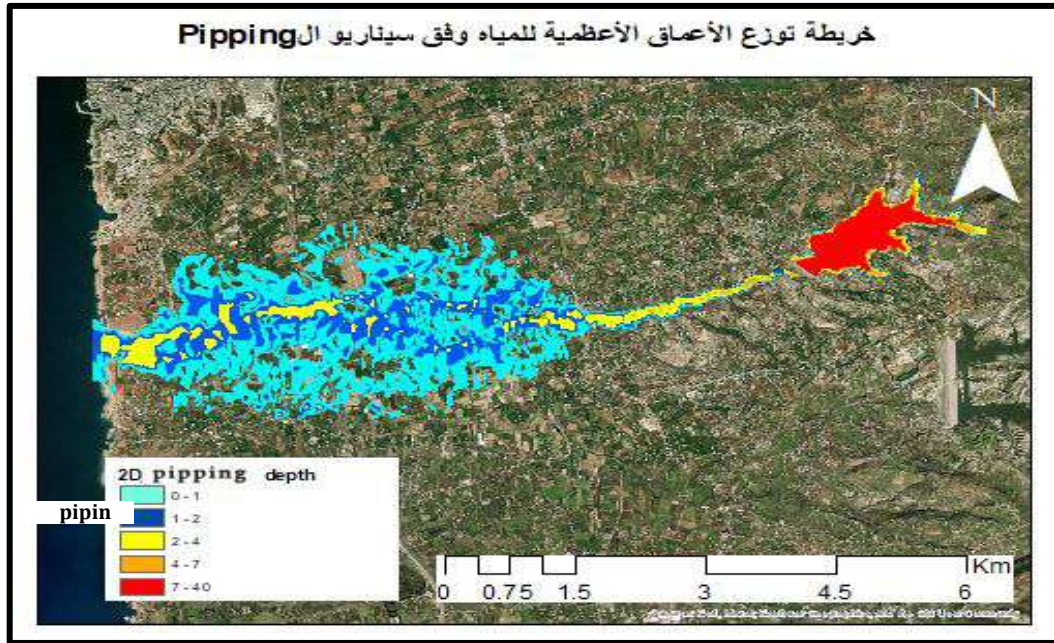


الشكل (13): توزيع السرعة في المقطع العرضي 7000 وكانت أكبر قيمة 2.39 m/sec

سيناريو الانهيار Piping

المساحة التي تم غمرها

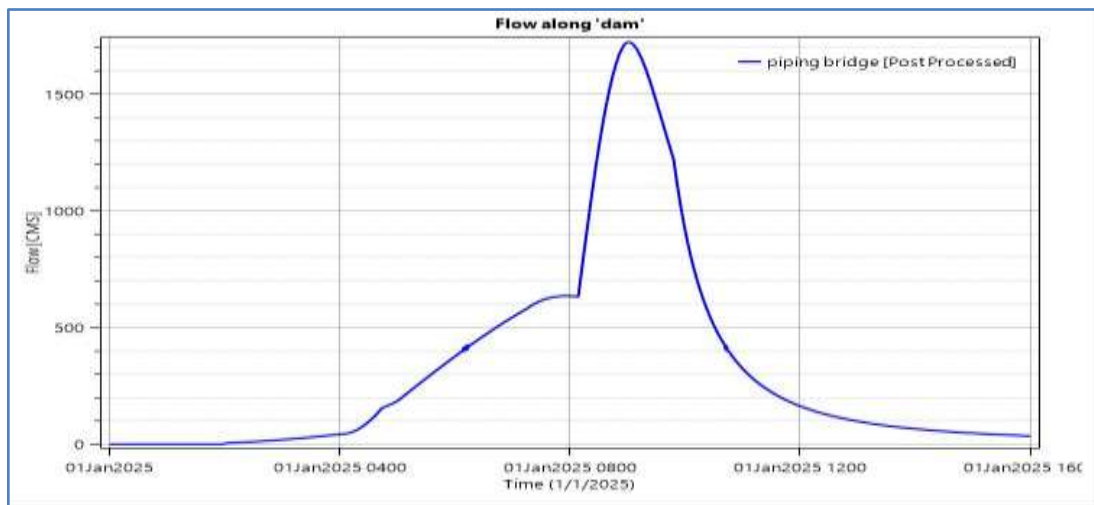
بعد عملية النمذجة ثنائية البعد من خلال سيناريو الانهيار Piping، وتحديد المساحة التي تم غمرها بواسطة الفيضان كما هو موضح في الشكل (14) كانت المساحة التي تم غمرها هي 663 hac.



الشكل (14): خريطة الغمر من سيناريو Piping

حجم الموجة الفيضانية

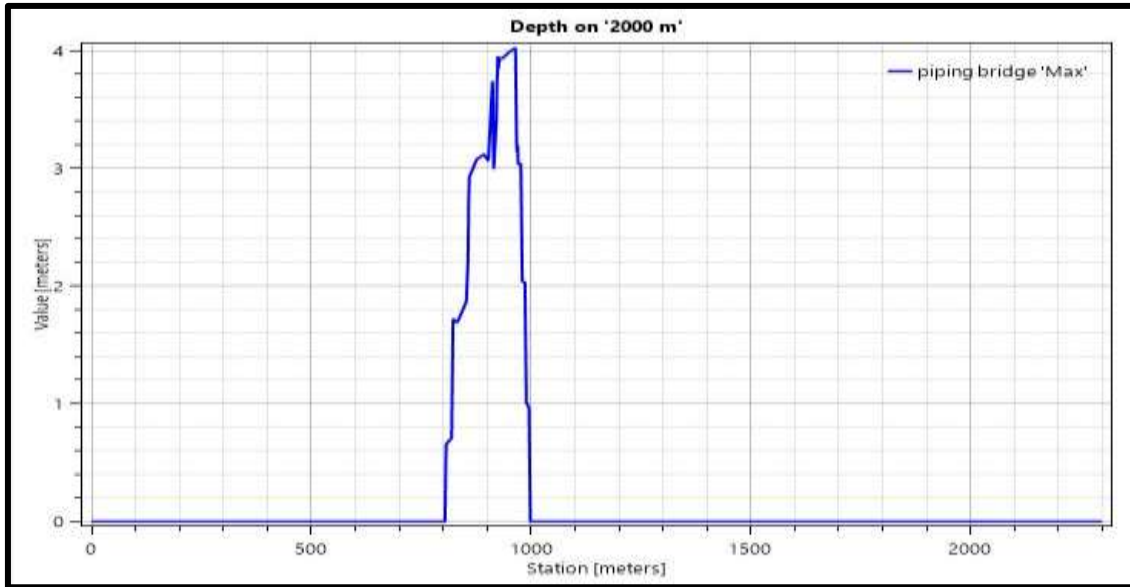
يوضح مخطط هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار، حيث كانت أعظم غزارة يمررها الخرق m^3/sec 1725 وذلك بعد 9 ساعات على بداية النمذجة.



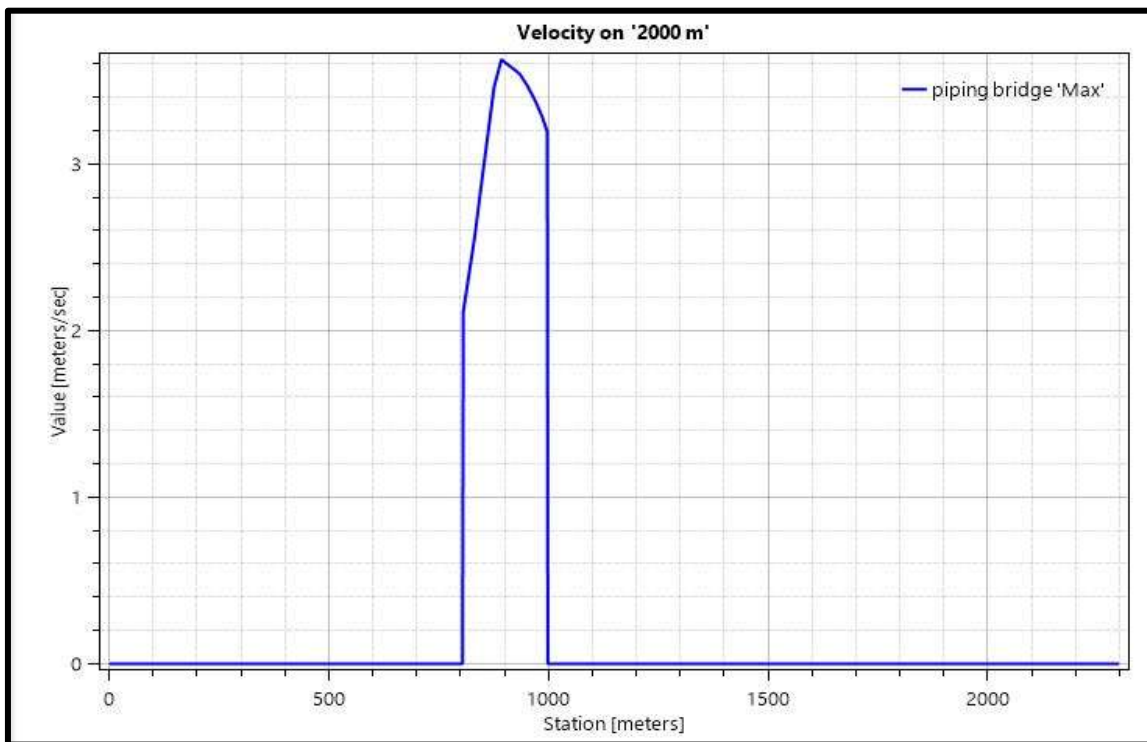
الشكل (15): هيدروغراف الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد حيث كانت أعظم قيمة $1725 m^3/sec$

عمق وسرعة الفيضان

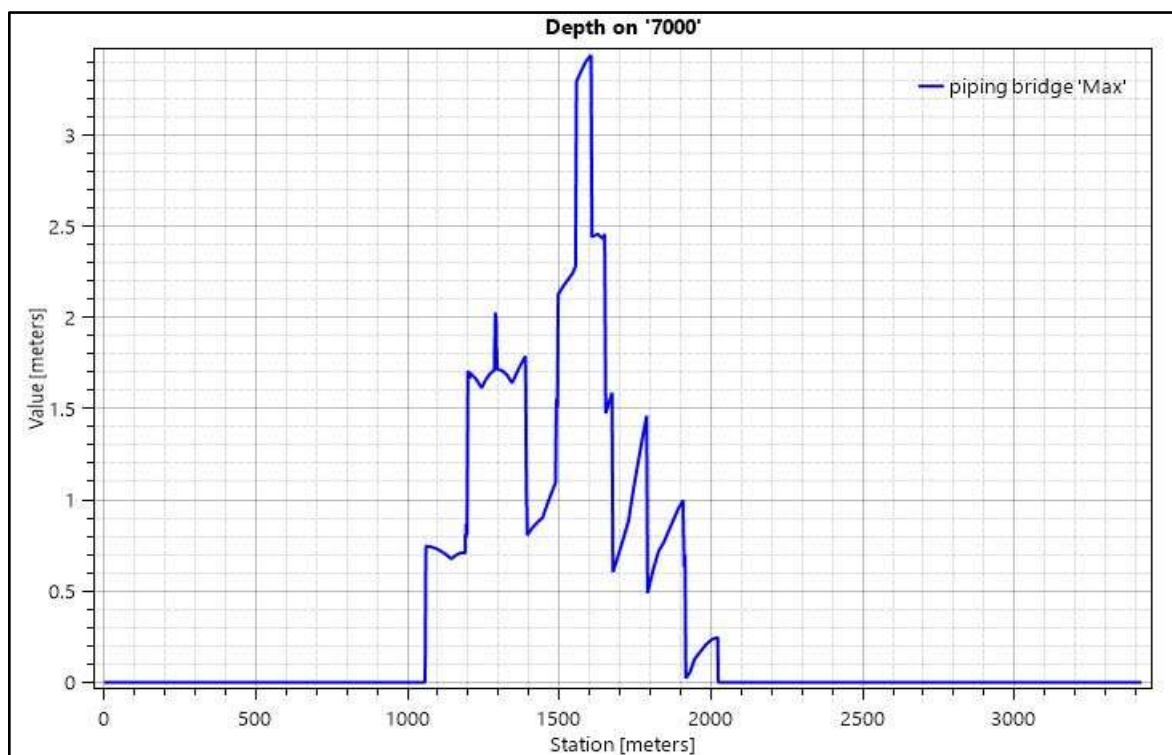
تم أخذ مقطعين على بعد 2000 m و 7000 عن السد لتحديد عمق الفيضان والسرعة عند كل مقطع. كما هو موضح في الشكل (16)، الشكل (17).



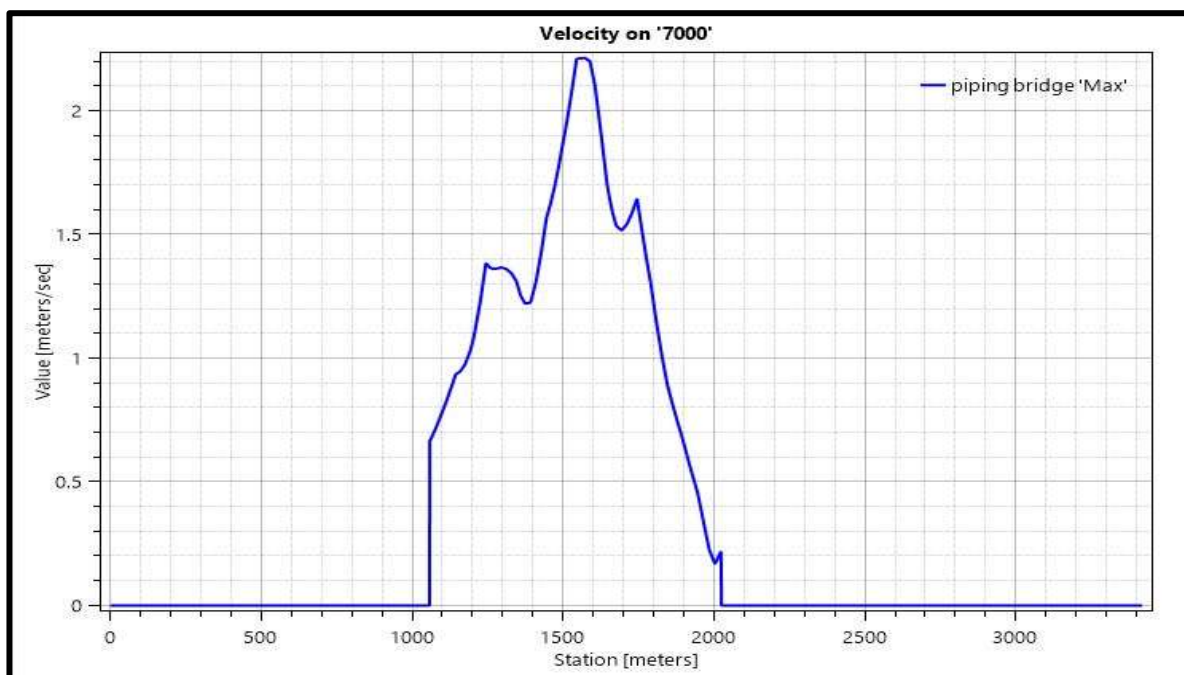
الشكل (16): المقطع العرضي 2000 وعمق الماء الأعظمي عنده 4m



الشكل (17): توزيع السرعة في المقطع العرضي 2000 وكانت أكبر قيمة 3.61 m/sec



الشكل (18): المقطع العرضي 7000 وعمق الماء الأعظمي عنده 3.44m



الشكل (19): توزيع السرعة في المقطع العرضي 7000 وكانت أكبر قيمة 2.21 m/sec

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- بلغت ذروة الموجة الفيضانية $2282 \text{ m}^3/\text{sec}$ وكانت مساحة الغمر 726 hac في حالة ال (Overtopping)
 - بلغت ذروة الموجة الفيضانية $1725 \text{ m}^3/\text{sec}$ وكانت مساحة الغمر 663 hac في حالة ال (Piping)
 - بلغ ارتفاع الخرق 32.63 m ، عرض الخرق الوسطي 88 m وعرض الخرق من الأعلى 119.7 m في حالة ال (Overtopping)
 - بلغ ارتفاع الخرق 33.34 m ، عرض الخرق الوسطي 60.15 m وعرض الخرق من الأعلى 70.6 m في حالة ال (Piping)
- التوصيات:

- اعتماد خرائط الغمر الناجمة عن الانهيار الافتراضي للسد المدروس وتأثيرها على المنشآت المختلفة
- إعداد خطط طوارئ وإخلاء متكاملة ومناسبة لتكون مرجع للسلطات المختصة في حالات الكوارث المشابهة

References:

- [1] W. Wu, Earthen embankment breaching. *Journal Of Hydraulic Engineering*, 2011 / 1549.
- [2] K. Singh K, A. Snorrason, *Sensitivity of outflow peaks and flood stage to the selection of dam breach parameters and simulation models*, SWS Contract Report 288. Illinois Department of Energy and Natural Resources, State Water Survey Division, Surface Water Section at the University of Illinois, 1984.
- [3] N. Kaadan, M. Talj. Comparison between numerical methods and traditional methods in calculating the safety factor for the Al-Hwiz Dam, *Hama University*, 2019, 2(6).
- [4] Y. Xu, L. Zhang. Breaching parameters for earth and rockfill dams. *J Geotech Geoenviron Eng*. 2009, 135(12):1957-70.
- [5] M. Walenna, A. Royal, I. Jefferson, G. Ghataora, Investigating the erosion resistance of cement-bentonite barrier material using hole erosion test, *Taylor & Francis Group*, London, 2019
- [6] T. Cameron, P. Ackerman, *Hec-GeoRas GIS Tools for Support of Hec-Ras using ArcGIS 10*, May 2012
- [7] W. Coon, *Estimation of roughness coefficients for natural stream channels with vegetated banks*. Prepared in cooperation with the New York State Department of Transportation; 2008.
- [8] L. Halawa, Study of the Impact of the Flood Wave Resulting from the Potential Failure of an Earthen Dam, *Al-Baath University*, Master's Thesis, 2009.
- [9] D. Joy, R. Manikuttan, S. Sas, Dam Break Analysis Using HEC-RAS, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 03 Issue: 05, 2016.
- [10] M. Gee, Comparison of dam breach parameter estimators, *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*, 2008.
- [11] T. Al-Ta'i, A. Rashid, Simulation of the Flood Wave of the Tigris River in the City of Mosul Resulting from the Hypothetical Failure of the Mosul Dam. *Al-Bayan Center for Studies and Planning*, 2016.
- [12] ÜÇ. Irmak, *Two-dimensional dam break analyses of Berdan Dam*. Master of science thesis, Civil Engineering, Middle East Technical University, Turkey, September 2019.

