



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة المائية

## دراسة موجة فيضان ناتجة عن انهيار سد باستخدام برنامج: الـ Hec-Ras

دراسة أعدت كجزء من متطلبات الحصول على درجة الماجستير في الهندسة المائية

إعداد

المهندسة امتثال محمد مريم

الدكتور المشارك

محمد الشبلاق

الدكتور المشرف

محمد هشام التّجار

دمشق - 2015



جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة المائية

## دراسة موجة فيضان ناتجة عن انهيار سد باستخدام برنامج الـ Hec-Ras

إعداد

م.امثال مريم

لجنة الحكم مؤلفة من السادة:

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة المائية - جامعة دمشق -  
اختصاص: هيدرولوجيا وهيدروجيولوجيا

د.م. محمد هشام التجار

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة المائية - جامعة دمشق -  
اختصاص: منشآت الري

د.م. عدنان النحاس

المدرس في قسم الهندسة المائية - جامعة دمشق - اختصاص:  
منشآت مائية

د.م. بسام فركوح

دمشق ٢٠١٥

# الإهداء

إلى الأساتذة الذين كان لهم الفضل الأكبر في إنجاز هذا العمل

.....الدكتور محمد هشام التجار والدكتور محمد الشبلاق

إلى من أضاءت سمانتي بنورها

إلى من صنعت نجاحي

إلى نبع العنان والعطاء.....أمي الغالية

إلى من علمني قيم الحياة

إلى من كان عوناً لي في مسيرة حياتي الدراسية.....أبي الغالي

إلى من وقف بجانبني في أصعب الأوقات.....زوجي

إلى الصديق المخلص.....وائل خدا

إلى صديقتنا الدرجة.....رقية وبتول

إلى إخوتي الأعماء على قلبي.....لميس، مريم، نورس، نور، نادر

إلى من احتضنتني.....سورية الحبيبة

إلى كل من ساهم في نجاح هذا العمل.....



امثال محمد مريم

## الفهرس

i	..... الفهرس
vi	..... قائمة الجداول
vii	..... قائمة الأشكال
xi	..... قائمة الرموز
xii	..... قائمة المصطلحات
1	..... الملخص باللغة العربية
<b>الفصل الأول: مقدمة</b>	
2	..... 1-1. مقدمة عامة
2	..... 2-1. الهدف من البحث
2	..... 3-1. حدود البحث
3	..... 4-1. منهج البحث
3	..... 5-1. التحديات التي يواجهها البحث
3	..... 6-1. الأدوات المستخدمة في البحث
3	..... 7-1. محتويات الأطروحة
<b>الفصل الثاني: دراسة مرجعية عن انهيارات السدود</b>	
4	..... 1-2. مقدمة
4	..... 2-2. تعريف السد
4	..... 3-2. الغاية من إنشاء السدود
4	..... 4-2 أنواع السدود
4	..... 1-4-2 أنواع السدود من الناحية الإنشائية
5	..... 5-2 تصنيف السدود الترابية
5	..... 1-5-2 حسب مادة البناء المستخدمة
5	..... 2-5-2 حسب التصميم
5	..... 3-5-2 حسب طريقة الإنشاء
5	..... 6-2 تصنيف السدود البيتونية
6	..... 7-2 تصنيف خزانات درع الفيضان
6	..... 8-2 انهيار السدود
6	..... 1-8-2 تعريف انهيار السد
6	..... 2-8-2 أنواع انهيارات السدود الترابية
6	..... 1-2-8-2 حت السفوح الخارجية -الانهيارات الهيدروليكية

7	2-2-8-2 الحت الداخلي-أضرار التسرب.....
7	9-2 إحصائيات حول أسباب انهيار السدود في العالم.....
8	10-2 لمحة عامة عن سد كودنه.....
11	11-2 مراجعة الدراسات السابقة.....
11	1-11-2 دراسة تأثير الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار سد ترابي (سد قطينة) .....
	2-11-2 لإدارة المتكاملة للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي والتخفيف من أثارها (منطقة الدراسة مجرى
11	نهر العاصي بين سد قطينة والرستن ومحدة) .....
11	3-11-2 التنبؤ بانتشار موجة فيضان ناتجة عن انهيار سد (حالة دراسية سد Tha Dan).....
11	4-11-2 محاكاة موجة فيضان نهر دجلة في مدينة الموصل نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل.....
12	5-11-2 دراسة انهيار سد باستخدام بيانات مجرى WES التجريبي.....
13	6-11-2 تحليل انهيار سد باستخدام برنامج الـ HEC-RAS و HEC-GEORAS.....
13	7-11-2 دراسة مرجعية عن السدود وتقييم بارامترات الانهيار.....
13	8-11-2 نموذج للتنبؤ بالفيضان نتيجة انهيار سد ترابي.....
13	9-11-2 نمذجة انهيار سد (waita) في مدينة هاواي.....
13	10-11-2 تحليل الفيضان الناتج عن انهيار سد بحيرة (Youngs) في واشنطن.....
14	12-2 تحليل الفيضان الناتج عن انهيار سد بحيرة (Youngs) في واشنطن.....
14	1-12-2 مقدمة.....
14	2-12-2 البيانات المطلوبة لتحديد شكل فتحة الانهيار في السدود.....
16	3-12-2 طرق تحليل الانهيار.....
22	4-12-2 أمثلة عن انهيارات بعض السدود.....

### الفصل الثالث: لمحة عن برنامج الـ Hec-Ras

26	1-3 مقدمة.....
26	2-3 لمحة عامة عن برنامج الـ Hec-Ras.....
27	3-3 مراحل عمل برنامج الـ Hec-Ras.....

### الفصل الرابع: توصيف المنطقة المدروسة ومراحل الدراسة

37	1-4 مقدمة.....
37	2-4 مصادر البيانات والجهات المساعدة.....
37	3-4 توصيف المنطقة المدروسة.....
40	4-4 مراحل الدراسة.....
40	1-4-4 إنشاء النموذج باستخدام برنامج الـ GIS.....
41	2-4-4 معالجة البيانات باستخدام شريط الأدوات الـ Hec-GeoRas.....
47	3-4-4 تحليل البيانات باستخدام برنامج الـ Hec Ras.....
53	4-4-4 إجراء الحسابات الهيدروليكية.....
54	5-4-4 تصدير نتائج الـ hec ras إلى برنامج الـ GIS.....

## الفصل الخامس: سيناريوهات الانهيار المدروسة

57	1-5. مقدمة.....
57	2-5 دراسة الحالة المستقرة.....
60	3-5. تحديد شكل فتحة الانهيار.....
65	4-5. حالة مرور الموجة الفيضانية باحتمال 0.1% بدون انهيار السد.....
65	1-4-5. فرضيات الدراسة.....
66	5-5 سيناريوهات الانهيار المدروسة.....
66	1-5-5. السيناريو الأول: حالة انهيار السد من نوع (overtopping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب قمة السد 767.5 m عند مرور موجة فيضانية باحتمال 0.1%.....
84	2-5-5. السيناريو الثاني: حالة انهيار السد من نوع (piping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب التخزين الأعظمي 765.5 m وعند مرور موجة فيضانية باحتمال 0.1%.....
89	3-5-5. السيناريو الثالث: حالة انهيار السد من نوع (overtopping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب التخزين الأعظمي 765.5 m.....
91	6-5 مقارنة بين سيناريوهات الانهيار.....

## الفصل السادس: النتائج والمقترحات

95	1-6. النتائج.....
95	2-6. المقترحات والتوصيات.....

## المراجع

96	المراجع المستخدمة.....
98	الملخص باللغة الإنكليزية.....

قائمة الجداول		
الصفحة		الرقم
18	قيمة المعامل $C_b$ حسب حجم التخزين	1 - 2
20	قيم بارامترات الانهيار حسب بعض الطرق التجريبية	2 - 2
20	عرض فتحة الانهيار وزمن تشكلها والميول الجانبية لها	3 - 2
77	نتائج السيناريو الأول (انهيار السد من نوع overtopping عند منسوب للماء أمام السد (m 767.5)	1 - 5
85	نتائج السيناريو الثاني (انهيار السد من نوع PIPING عند منسوب للماء أمام السد إلى (m 767.5)	2 - 5
90	الفرق بين سيناريوهات الانهيار في زمن وصول الموجة الفيضانية	3 - 5
90	الفرق بين سيناريوهات الانهيار في سرعات الانهيار	4 - 5
91	الفرق بين سيناريوهات الانهيار في ارتفاع الغمر	5 - 5

قائمة الصور والأشكال		
الصفحة		الرقم
9	سد Sayano في روسيا قبل الانهيار	1 – 2
9	سد Sayano في روسيا بعد الانهيار	2 – 2
10	مقطع عرضي تفصيلي لسد كودنه	3 – 2
12	مجرى WES التجريبي	4 – 2
15	الفرق بين الانهيار من نوع overtopping والانهيار من نوع piping	5 – 2
16	بارامترات الانهيار	6 – 2
21	تطور شكل فتحة الانهيار	7 – 2
22	شكل فتحة الانهيار في سد زيزون	8 – 2
23	فتحة الانهيار في سد Hadlock Pond	9 – 2
24	فتحة الانهيار في سد Taum Sauk	10 – 2
24	فتحة الانهيار في سد Kaloko	11 – 2
25	فتحة الانهيار في سد teton	12 – 2
27	الواجهة الرئيسية للبرنامج	1 – 3
27	واجهة البيانات الهندسية	2 – 3
28	البيانات المطلوبة للمقاطع العرضية	3 – 3
28	البيانات المطلوبة للجسور	4 – 3
29	البيانات المطلوبة للسدود	5 – 3
29	البيانات المطلوبة للمفيض	6 – 3
30	البيانات المطلوبة للبوابات	7 – 3
30	البيانات المطلوبة للجريان المستقر	8 – 3
31	الشروط المحيطة للجريان المستقر	9 – 3
31	البيانات المطلوبة للجريان الغير مستقر	10 – 3
32	الشروط البدائية والحدية للجريان الغير مستقر	11 – 3
32	نافذة الحسابات الهيدروليكية للجريان المستقر	12 – 3
33	نافذة الحسابات الهيدروليكية للجريان الغير المستقر	13 – 3
34	المقاطع العرضية	14 – 3
34	المقاطع الطولية	15 – 3
35	منحني التصريف والمنسوب مع الزمن	16 – 3
35	مقطع ثلاثي بعد للمنطقة المدروسة	17 – 3
36	النتائج المجدولة التي نحصل عليها من البرنامج	18 – 3
38	الحوض الصباب لسد كودنه 1997/9/7	1 – 4



39	الموقع العام لسد كودنه	2 - 4
40	الخريطة الورقية لمنطقة الدراسة	3 - 4
41	الخريطة الرقمية للمنطقة المدروسة	4 - 4
41	شريط الأدوات الـ Hec-GeoRas	5 - 4
42	إنشاء مشروع جديد ضمن برنامج الـ GIS	6 - 4
43	كيفية إنشاء الطبقات اللازمة للدراسة ضمن برنامج الـ GIS	7 - 4
43	مرحلة رسم مجرى النهر الرئيسي	8 - 4
44	مرحلة رسم مجرى الضفاف	9 - 4
44	رسم المقاطع العرضية	10 - 4
45	رسم جسم السد	11 - 4
45	رسم بحيرة التخزين	12 - 4
46	رسم مسار الجريان على الضفاف	13 - 4
46	تحويل العناصر ثنائية البعد الى عناصر ثلاثية البعد	14 - 4
47	تصدير البيانات إلى برنامج الـ Hec-Ras	15 - 4
48	العمل ضمن بيئة الـ Hec Ras	16 - 4
48	استيراد البيانات الهندسية	17 - 4
49	المقاطع العرضية المستوردة	18 - 4
49	توليد المقاطع العرضية	19 - 4
50	المقاطع العرضية المولدة	20 - 4
51	بيانات السد (المفيض، البوابات)	21 - 4
52	بيانات الجريان الغير مستقر (الشروط البدائية)	22 - 4
52	بيانات الجريان الغير مستقر (الشروط الحدية)	23 - 4
53	الحسابات الهيدروليكية وبيانات الانهيار	24 - 4
54	تصدير بيانات الـ hec-Ras إلى برنامج الـ GIS	25 - 4
54	تحويل ملف الـ Hec-Ras ذو اللاحقة sdf إلى ملف ذو اللاحقة xml	26 - 4
55	إنشاء طبقة الإحداثيات (Layer Setup)	27 - 4
56	استيراد نتائج الـ hec-ras	28 - 4
56	استيراد طبقة الفيضان	29 - 4
58	مخطط ثلاثي أبعاد للمنطقة المدروسة في الحالة المستقرة	1 - 5
59	مناسيب المياه في كل مقطع على طول المجرى المائي في الحالة المستقرة	2 - 5
59	أعماق المياه في كل مقطع على طول القناة بالحالة المستقرة	3 - 5
60	مخطط السرعة على طول المجرى المائي في الحالة المستقرة	4 - 5
62	أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة MacDonald & Langridge	5 - 5

63	أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة Froehlich(1995)	6 – 5
64	أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة Von Thun & Gillette (1990)	7 – 5
65	هيدروغراف الموجة الفيضانية المارة أثناء الانهيار	8 – 5
66	مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الرابع باستخدام برنامج الـ Hec-Ras	9 – 5
66	مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الرابع باستخدام برنامج الـ GIS	10 – 5
67	بداية تشكل فتحة الانهيار	11 – 5
68	حجم الفتحة بعد ساعة من بداية الانهيار	12 – 5
68	حجم فتحة الانهيار النهائي	13 – 5
69	مخطط سرعة المياه الأعظمي عند كل مقطع عرضي	14 – 5
69	عرض منطقة الغمر عند كل مقطع عرضي	15 – 5
70	ارتفاع الغمر على طول المجرى المائي	16 – 5
70	يبين منسوب الماء الأعظمي في كل مقطع عرضي على طول المجرى المائي	17 – 5
71	انخفاض منسوب الماء أمام السد في المقطع (9629) قبل السد لحظة الانهيار	18 – 5
72	المقاطع المختارة من أجل إظهار النتائج	19 – 5
73	المقطع العرضي وعمق الماء الأعظمي عند المقطع رقم (9489) بعد السد مباشرة	20 – 5
73	تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (9489)	21 – 5
74	شكل المقطع العرضي عند المقطع رقم (6481)	22 – 5
74	تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (6481)	23 – 5
75	شكل المقطع العرضي عند المقطع رقم (4677)	24 – 5
75	تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (4677)	25 – 5
76	شكل المقطع العرضي عند المقطع رقم (2411)	26 – 5
76	تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (2411)	27 – 5
77	شكل المقطع العرضي وارتفاع الماء عند المقطع رقم (11.8)	28 – 5
77	تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (11.8)	29 – 5
78	ارتفاع الغمر وعرض منطقة الغمر ومنسوب الضفاف في المقطع العرضي	30 – 5
80	المقطع الطولي للمجرى المائي قبل انهيار السد	31 – 5
80	تقدم الموجة الفيضانية بعد مرور ساعة من انهيار السد	32 – 5
81	تقدم الموجة الفيضانية بعد مرور ساعتين من انهيار السد	33 – 5
81	تقدم الموجة الفيضانية عند تشكل الفتحة الكاملة للانهيار	34 – 5
82	مقطع ثلاثي البعد في المنطقة المدروسة يظهر عليه مساحات الغمر باستخدام برنامج الـ hec-ras	35 – 5
83	مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الأول باستخدام برنامج الـ GIS	36 – 5
84	المنسوب الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل ضمن جسم السد	37 – 5
85	بداية تشكل فتحة الانهيار	38 – 5

85	حجم فتحة الانهيار بعد ساعة من بداية الانهيار	39 – 5
86	حجم فتحة الانهيار النهائي	40 – 5
86	مخطط السرعة الأعظمية على طول المجرى المائي	41 – 5
88	مناطق الغمر للسيناريو الثاني باستخدام برنامج hec-ras	42 – 5
89	مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الثاني باستخدام برنامج GIS	43 – 5
90	الفرق بين السيناريو الأول والثاني في علاقة المنسوب مع الزمن عند المقطع الأخير (11.8)	44 – 5
91	مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الثالث باستخدام برنامج الـ GIS	45 – 5

قائمة الرموز المستخدمة	
حجم الكتلة المنهارة من السد بالمتر المكعب	$V_{eroded}$ :
عمق الماء أثناء الانهيار بالمتر	$h_w$ :
الحجم المقابل لـ $h_w$ بالمتر المكعب	$V_w$ :
زمن تشكل الانهيار بالساعات	$t_f$ :
العرض الوسطي لمقطع السد بالمتر	$W_{ave}$ :
الارتفاع ما بين مركز فتحة الانهيار وأعلى قمة السد بالمتر	$h_b$ :
العرض الوسطي لفتحة الانهيار بالمتر	$B_{ave}$ :
ارتفاع السد بالمتر	$h_d$ :
معامل للتمييز بين السدود الكبيرة والسدود الصغيرة	$h_r$ :
عبارة عن معاملات تتعلق بمواصفات السد $b_3 + b_4 + b_5$	$B_3$ :
عرض فتحة الانهيار من الأعلى بالمتر	$B_t$ :
طول قمة السد بالمتر	$L$ :
التدفق بالمتر مكعب في الثانية	$Q$ :
التدفق في واحدة العرض	$q$ :
البعد بين المقطع المدروس والمقطع الذي يليه بالمتر	$X$ :
ارتفاع الماء التصميمي بالمتر	$Y$ :
مساحة المقطع المبلول بالمتر المربع	$F$ :
الزمن بالثانية	$t$ :
تسارع الجاذبية بالمتر على مربع الثانية	$g$ :
السرعة بالمتر في الثانية	$V$ :
معامل الاحتكاك	$S_f$ :
ميل قاع القناة	$S_0$ :
معامل الطاقة	$\alpha$ :

المصطلح	
باللغة العربية	باللغة الإنكليزية
نوع الانهيار	Breach type
مكان الانهيار	Failure Location
زمن تطور الانهيار	Break Development Time
حجم الانهيار	Break Volume
التحليل والمقارنة	Comparative analysis
نماذج بارامترية	Parametric models
طرق تجريبية	Empirical Methods
انهيار سد	Dam Break
نظام تحليل الجريان في الأنهار	Hec-Ras
البيانات الهندسية	Geometric Data
منشأة السدود	Inline structure
شروط حدية	Boundary Condition
شروط بدائية	Initial Condition
نظم المعلومات الجغرافية	GIS
المقاطع العرضية	Cross Sections
المنشآت الجانبية	lateral structure
الجريان فوق القمة	overtopping
تسربات	Piping

## ملخص البحث

يتضمن هذا البحث دراسة احتمال انهيار سد وكحالة دراسية أُخذ سد كودنه الذي يقع على وادي الرقاد في محافظة القنيطرة وهو واحد من سلسلة سدود تقع على نفس الوادي (سد القنيطرة، سد المنطرة، سد رويحينة، سد بريقه، سد غدير البستان، سد الرقاد، سد عابدين)، وقد تم إلقاء الضوء على مفهوم انهيارات السدود وأشكال فتحة الانهيار كما تم إعطاء فكرة عامة عن كيفية عمل برنامج الـ Hec-Ras. وقدم البحث توصيفاً للمنطقة المدروسة وتوضيحاً للبيانات اللازمة للدراسة، وأظهر الخطوات المتبعة لتحضير البيانات المطلوب استخدامها ضمن برنامج الـ Hec-Ras عن طريق استخدام برنامج الـ GIS وشريط الأدوات الـ hec Geo Ras.

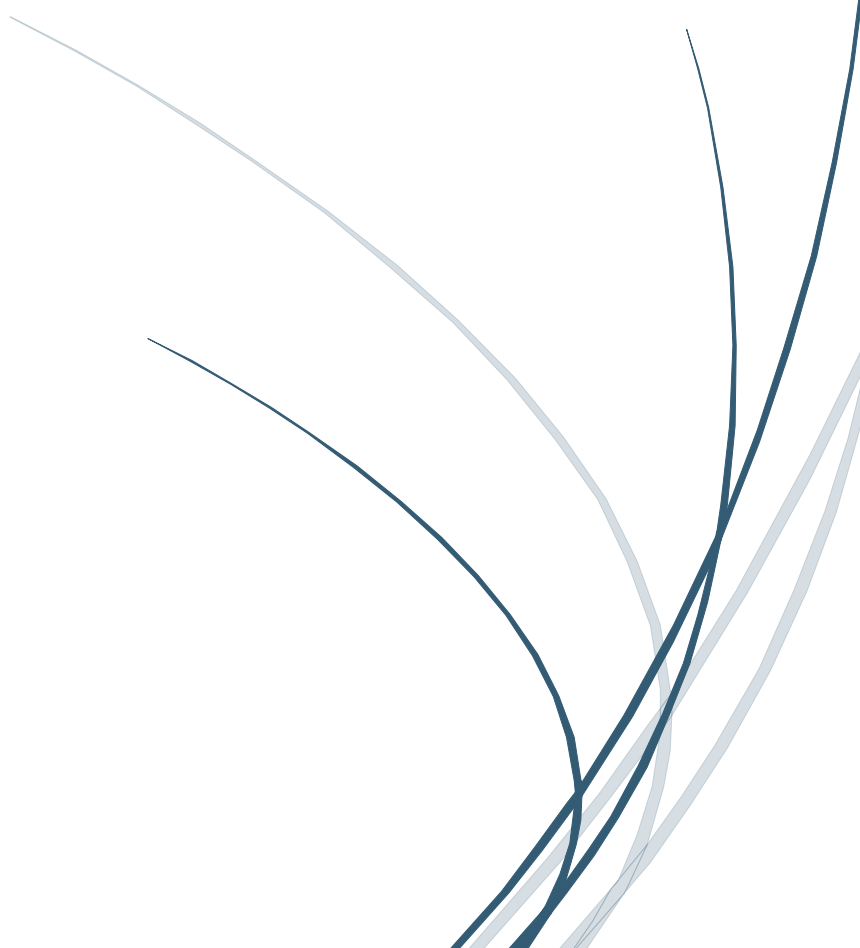
تم في هذا البحث مناقشة سيناريوهات الانهيار المعتمدة والسيناريو الأخطر، حيث استطاع تحديد زمن وصول الموجة الفيضانية إلى كل مقطع عرضي ولوحظ أن موجة الفيضان تصل إلى سد غدير البستان الذي يقع في نهاية المجرى المدروس على بعد (10) كيلو متر من سد كودنه بزمن قدره ساعة تقريباً، وبسرعة وسطية للمياه قدرها (3.24) متر في الثانية، كما بيّن المساحات التي من المحتمل أن تُغمر بمياه الفيضان وقد قدرت بحوالي (1400) هكتار، كما قُدر حجم الفيضان الواصل إلى سد غدير البستان بحوالي (82) مليون متر مكعب تقريباً، وبناءً على ذلك تم طرح بعض الحلول الممكنة من أجل إعلام الجهات المعنية بإخلاء التجمعات السكنية في الوقت المناسب.

## الكلمات المفتاحية:

انهيارات السدود – أشكال الانهيار – نموذج – فيضان – سد كودنه – برنامج نظام التحليل النهري – برنامج نظم المعلومات الجغرافية.

# الفصل الأول

مقدمة



# الفصل الأول

## مقدمة

### 1-1. مقدمة عامة

تُعدّ السدود من أهم المنشآت المائية، يُعدّ انهيارها من أخطر الكوارث المتعلقة بمشاريع الهندسة المدنية لما لها من أضرار مادية وبشرية.

إنّ المهمة الأساسية في تقييم السدود هي ضمان الأمان فقد ازداد ارتفاع السدود بشكل هائل بعد عام (1800) واستناداً إلى ذلك ترتفع متطلبات الأمان، وعلى الرغم من عدم توفر المعرفة الجيدة في ميكانيك الصخور وميكانيك التربة قبل عام (1900) إلا أن 90% من السدود المشادة بذلك الوقت ما زالت مستقرة استناداً إلى مستوى المعرفة الحالي.

كان التركيز حتى عام 1950 على بناء السدود البيتونية، وبعد ذلك التاريخ أصبحت معظم السدود ركامية أو ترابية وذلك بعد التطور السريع في ميكانيك التربة وأيضاً التطور في تقنيات البناء، ومع هذا التطور تم بناء سدود بارتفاعات كبيرة وحجوم تخزين كبيرة أيضاً.

مع ازدياد ارتفاع السدود وبسبب ضرورة إنشاء سدود وخاصة في مواقع ذات طبيعة جيولوجية غير مناسبة فإنه تزداد المجازفة والخطورة، وهنا عند انهيار السد فإنّ ذلك يقود إلى كارثة مرتبطة بخسائر بشرية ومادية كبيرة.

من هنا تأتي أهمية هذا البحث، حيث تعود معظم أسباب انهيارات السدود إما إلى أخطاء إنشائية أو لعدم كفاية الدراسة اللازمة لتأثير العوامل الهيدروليكية والهيدرولوجية بشكل دقيق ومفصل، لذلك لا بدّ من فهم كيفية حدوث الانهيار وإنشاء عدة سيناريوهات للانهيار بشكل يمكننا من وضع خطة جيدة للتصرف في حال حدوث أي انهيار واقتراح الحلول المناسبة عند الإمكان، وذلك لتفادي الخسائر البشرية والمادية، وسيتم اعتماد سد كودنه كحالة دراسية.

### 2-1. الهدف من البحث

دراسة موجة الفيضان الناتجة عن انهيار سد، وتحديد مناطق الغمر باستخدام برنامج الـ Hec-Ras من أجل تخفيض الأضرار الناجمة عن هذا الانهيار.

### 3-1. حدود البحث

سيتم التركيز على كيفية انتشار موجة الفيضان وتأثيرها على السد والمناطق المجاورة له.



**4-1. منهج البحث**

- دراسة مرجعية في أسباب انهيار السدود وأشكال فتحة الانهيار .
- تجميع البيانات اللازمة وتنظيمها.
- إنشاء النموذج.
- تحليل النموذج.
- مناقشة النتائج.

**5-1. التحديات التي يواجهها البحث**

- الحصول على البيانات.
- دقة هذه البيانات وموثوقيتها.
- كلفة الحصول على البيانات.
- سرية هذه البيانات.

**6-1. الأدوات المستخدمة في البحث**

برنامج نظام المعلومات الجغرافية GIS، برنامج نظام التحليل النهري Hec-Ras، برنامج الـ Google Earth.

**7-1. محتويات الأطروحة**

تتألف الأطروحة من ستة فصول إضافة إلى قائمة بأسماء المراجع والمصادر العربية والأجنبية المستخدمة في البحث. يتضمن الفصل الأول مقدّمة عامة عن البحث إضافة إلى هدف البحث وحدوده ومنهجه والتحديات التي يواجهها.

يتضمن الفصل الثاني دراسة مرجعية عن انهيارات السدود وأشكال فتحة الانهيار في السدود.

يتضمن الفصل الثالث وصف لبرنامج الـ hec-ras، كما يُبين المعادلات التي يعتمد عليها في الحسابات ومراحل العمل المتبعة من مرحلة إدخال البيانات اللازمة للحساب إلى مرحلة إجراء الحسابات الهيدروليكية وإظهار النتائج اللازمة.

يتضمن الفصل الرابع توصيف المنطقة المدروسة ومراحل الدراسة المتبعة للوصول إلى نموذج للمنطقة باستخدام برنامج نظام تحليل الأنهار (Hec-Ras)، وبرنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS). يتضمن الفصل الخامس سيناريوهات الانهيار المدروسة.

النتائج والمقترحات.

# الفصل الثاني

دراسة مرجعية عن انصيارات السدود



## الفصل الثاني

### دراسة مرجعية عن انهيارات السدود

#### 1-2. مقدمة

يتضمن هذا الفصل تعريف لمفهوم السدود والغاية من بنائها، إضافة إلى أنواع السدود وأمثلة عن سدود قد انهارت في العالم وكيفية تحديد أشكال فتحات الانهيار في السدود.

#### 2-2. تعريف السد

السد هو منشأة مدنية تُشاد على المجرى المائي (نهر - مجرى سيلبي)، وبشكل معترض للجريان المائي فيه وذلك بهدف حجز مياهه وتخزينها ضمن بحيرة اصطناعية تتشكل أمام السد [2].

#### 3-2. الغاية من إنشاء السدود [2]:

- توليد الطاقة الكهربائية.
- تأمين الاحتياجات المائية لمشاريع الري.
- توفير مياه الشرب.
- تنظيم الجريان في المجاري المائية ودرء خطر الفيضانات في الشتاء.
- تشكيل بحيرات اصطناعية صالحة لتربية الأسماك مما يساعد في تنمية الثروة السمكية.
- إحداث بحيرات كمواقع سياحية لكونها تعمل على تحسين الجو وتلطيفه.
- حجز مياه السيول في المناطق الجافة والناطقة عن العواصف المطرية والاستفادة منها في الري والشرب وفي رفع منسوب المياه الجوفية.

#### 4-2. أنواع السدود [2]:

##### 1-4-2. أنواع السدود من الناحية الإنشائية [2]:

- السدود الثقيلة البيتونية: هي سدود تقاوم الدفع الهيدروستاتيكي لماء البحيرة عن طريق وزنها الذاتي.
- السدود الكتفية المدعمة: عبارة عن جدار مرتفع ومائل، سماكته أقل من سماكة السد الثقلي لكنه مدعم بجدران من جهة الحوز المائي السفلي.
- السدود القوسية البيتونية: عبارة عن قوس من البيتون المسلح يستند على جوانب الوادي.
- السدود الترابية: عبارة عن حاجز ترابي كتيم يقوم بحجز مياه المجرى المائي خلفه وتمتاز بعرض قاعدتها الكبير مقارنة بالسدود البيتونية.

- السدود الركامية: تنفذ من فتات صخري يتم رصه ودحيه ميكانيكياً وتزود هذه السدود بجزء كتيم (كالغضار والاسفلت والبيتون). لهذه السدود انتشار واسع لبساطة تصميمها وإمكانية استعمال المواد المختلفة المحلية المتوفرة لبنائها (سد نوريك في الاتحاد السوفيتي - سد كودنه).

## 5-2. تصنيف السدود الترابية [2]:

### 1-5-2. حسب مادة البناء المستخدمة

- سدود ترابية طبيعية: يكون فيها حوالي 50% وأكثر من جسم السد عبارة عن تربة غضارية ناعمة الحبيبات.
- سدود ركامية: يتألف القسم الأساسي من جسم السد من تربة حصوية خشنة أو فتات صخري، وتحتوي على نواة غضارية مضادة للرشح (سيلت - سيلت غضاري .....).
- سدود حجرية: يتألف القسم الأكبر منها من تربة خشنة الحبيبات (كتل حجرية) ويمكن استخدام الفولاذ أو الرقائق البلاستيكية أو الخرسانية الإسفلتية في بنائه.

### 2-5-2. حسب التصميم

- سدود متجانسة بدون عنصر مضاد للرشح.
- سدود غير متجانسة يتكون السد من تربة متجانسة إضافة للعنصر المضاد للرشح.

### 3-5-2. حسب طريقة الإنشاء

- سدود ردمية: تشيد بطريقة الردم على هيئة طبقات ثم دحل الطبقات للوصول إلى الكثافة التصميمية.
- سدود ترسيبية: يتم إنشاؤها بطريقة التجريف الهيدروليكي عن طريق نقل التربة بمساعدة الماء الموجه بمضخات خاصة بذلك.
- سدود نصف ترسيبية: تنشأ النواة بواسطة التجريف الهيدروليكي وباقي جسم السد بطريقة الردم الجاف.
- سدود تبنى بطريقة التفجير الموجه: تنشأ هذه السدود من الفتات الصخري الناتج عن عمليات تفجير جوانب الموقع.

## 6-2. تصنيف السدود البيتونية [2]:

- السدود البيتونية الثقيلة: تنفذ من مادة البيتون الثقلي بعيارات مختلفة.
- السدود البيتونية المدعمة: عبارة عن منشآت ذات بنية خرسانية مسلحة الهدف منها تخفيض وزن السد عن طريق تفريغ جسم السد وإزالة وجهه الخلفي ومن ثم تدعيمه بدعائم بيتونية خاصة تؤمن استقراره.
- السدود البيتونية القوسية: تنفذ على شكل قوس من البيتون المسلح يستند بدوره على جوانب الوادي.

**7-2. تصنيف خزانات درء الفيضان [6]:**

خزانات درء الفيضان هي منشآت تخدم في منع الأضرار الناجمة عن التصاريح ذات القيم الكبيرة. تصرف المياه خارج هذه الخزانات عن طريق مفرغات سفلية وعن طريق منشآت تصريف الفيضان (هداراً - مفرغاً - بئراً - قناة تجميعية.....الخ).

يتم تصنيف خزانات درء الفيضان كما يلي:

- حسب طريقة تنظيم الجريان.
- حسب منشآت صرف مياه الفيضان وتجهيزها بمنشآت تحكم.
- حسب طريقة التشغيل.

تقوم الحكومة ببناء السدود لمواجهة العجز المائي، فقد وصل عدد السدود المنفذة في سورية حتى عام 2003 إلى 159 سداً بطاقة تخزينية تساوي 19043 مليون متر مكعب، منها:

- ✓ 75 سداً لأغراض الري (47% من العدد الإجمالي للسدود)
- ✓ 24 سداً لأغراض الشرب (15% من العدد الإجمالي للسدود)
- ✓ 32 سداً لسقاية المواشي (20% من العدد الإجمالي للسدود)
- ✓ 28 سداً لأغراض متعددة (18% من العدد الإجمالي للسدود)

**8-2. انهيار السدود****1-8-2 تعريف انهيار السد**

يُعرف انهيار سد بأنه: حركة أحد أجزاء السد، أو أساساته، وبالتالي عدم مقدرة السد على الاحتفاظ بالماء، الأمر الذي يؤدي إلى تدفق كميات كبيرة من المياه، وهذا ما يُعرض حياة الناس وممتلكاتهم للخطر في منطقة الحوز السفلي للسد [5].

**2-8-2 أنواع انهيارات السدود الترابية [5]****1-2-8-2 حت السفوح الخارجية - الانهيارات الهيدروليكية**

- الفيضان فوق قمة السد: ويُعدّ السبب الرئيسي لانهيار السدود وذلك بسبب الهطولات غير العادية أو الهطولات ذات القيم النادرة والتي تساعد في استقراء القيم التصميمية.
- حت الأمواج: يظهر هذا النوع بسبب تشكل الأمواج عند السفح الأمامي وهي تسبب جروف على جسم السد.
- تشكل الأفنية بسبب الهطولات المطرية الشديدة: تتشكل على المنحدرات شديدة الميل وغير المحمية من خلال جريان الهطول المطري وخاصة السفح الخلفي للسد.

## 2-2-8-2 الحت الداخلي - أضرار التسرب

- تشكل الأنابيب: التسرب الشديد خلال جسم السد أو في منطقة التأسيس يُسبب تشكيل عمليات جرف تقود إلى تشكيل أنابيب جريان وهذا يقود إلى انهيار السد.
- شقوق ناجمة عن الهبوطات: إن هبوط وارتصاص الأساس يمكن أن يحدث عبر فترة طويلة وبعد سنوات من إتمام البناء وهذا يمكن أن يقود إلى أضرار، فإذا كان الأساس متجانساً نسبياً فإنه يشكل هبوطاً منتظماً لا يسبب أضرار كبيرة.
- ممرات الحيوانات: عندما تظهر بشكل مكثف فإن ذلك يقود إلى رشح خلالها وتشكيل ممرات مائية يكون لها تأثير كبير في السدود الصغيرة.
- المفرغات السفلية: تقسم الأضرار الناجمة عن المفرغات إلى مجموعتين:
- تيار متلامس على طول السطح الخارجي لأنبوب المفرغ، يظهر هذا التيار نتيجة عدم الرص الكافي.
- تسرب عن طريق ثقوب في أنبوب المفرغ، ويمكن أن يتشكل الثقب أو الشق في الأنبوب نتيجة سوء تصنيع أو هبوط تفاضلي.

## 2-9. إحصائيات حول أسباب انهيار السدود في العالم.

لقد أعطى (Heitfeld 1991) من خلال تقييم حوادث فشل وانهيارات بسيطة لسدود (300 سد) في مختلف القارات الأسباب التالية:

- أسباب هيدرولوجية وهيدروليكية 45%.
- أسباب تعود إلى دراسات التربة والتحريات الجيولوجية 8%.
- أسباب تعود للتصميم والتنفيذ 30%.
- أسباب تعود للاستثمار والصيانة 5%.
- أسباب أخرى حوالي 12%.

إن السبب الأكثر شيوعاً لانهيارات السدود الشاملة هو مرور مياه الموجة العالية فوق قمة السد خلال فترة ذروة الفيضانات وهذا النوع من الانهيارات لا يُعدّ عيباً من عيوب تصميم السد بحد ذاته وإنما نتيجة لقصور الدراسات الهيدروليكية والهيدرولوجية [5].

والأضرار التي يسببها انهيار السدود كبيرة جداً تشمل أضراراً مادية وأضراراً بشرية، لذلك يجب دراسة وتصميم السدود الصغيرة والكبيرة بشكل دقيق ومفصل.

كمثال على حجم الأضرار الهائلة التي يسببها انهيار السدود لدينا سد سيانو (Sayano) في روسيا،

انهار هذا السد عام (2009) بسبب حدوث مطرقة مائية في المحطة الكهرومائية للسد ووصل عدد ضحايا الانهيار إلى 76 شخص، إضافة إلى أضرار مادية كبيرة، الشكل (1-2)، (2-2) يبين السد قبل الانهيار وبعد الانهيار [22].

من كل ما سبق تأتي أهمية هذا البحث، وكحالة دراسية سنقوم بدراسة انهيار سد كودنه ومعرفة المناطق التي ستتعرض للخطر من جراء الانهيار وزمن وصول موجة الانهيار إليها.

## 10-2. لمحة عامة عن سد كودنه

الجدول (1-2) مواصفات سد كودنه

الهدف من إنشاء السد	ري 2600 هكتار
مساحة الحوض الصباب	262 كيلومتر مربع
الجريان الوسطي السنوي	58 مليون متر مكعب
نوع السد	ركامي
ارتفاع السد	29 متر
طول قمة السد	2990 متر
حجم التخزين الأعظمي	31 مليون متر مكعب
مساحة سطح البحيرة	318 هكتار

- يعتبر سد كودنه من السدود الهامة التي بنيت في محافظة القنيطرة في سوريا حيث قامت الشركة العامة للدراسات المائية بدراسة الموقع المقترح لبناء السد المذكور وتصميمه عام 1986.
- قامت المؤسسة العامة للإسكان العسكري ببناء السد المذكور عام 1994 وبعد ذلك قامت بمشروع حماية الوجه الأمامي له.
- المفيض جبهى طول عتبه 100 متر وتصريفه 293 متر مكعب في الثانية الموافق لفترة تكرار 100 سنة.
- تعرض السد لعدة مشاكل أثناء فترة بناء واستثمار السد حيث حدث الفيضان الأخير بتاريخ 2003/3/26.
- ومن الجدير بالذكر أنه أثناء تعرض السد للموجة الفيضانية في عام 1992 عمل السد كمفيض حيث صرفت المياه فوق جسم السد على المنسوب 765.5 متر.

- كنتائج لهذه الفيضانات لوحظ تخرب في الوجه الأمامي للسد وذلك بانجراف أجزاء من الردميات الحجرية للوجه الأمامي وتخرّب الفلاتر وأجزاء من النواة.  
يُبين الشكل (2-3)، مقطع عرضي نموذجي لسد كودنه.

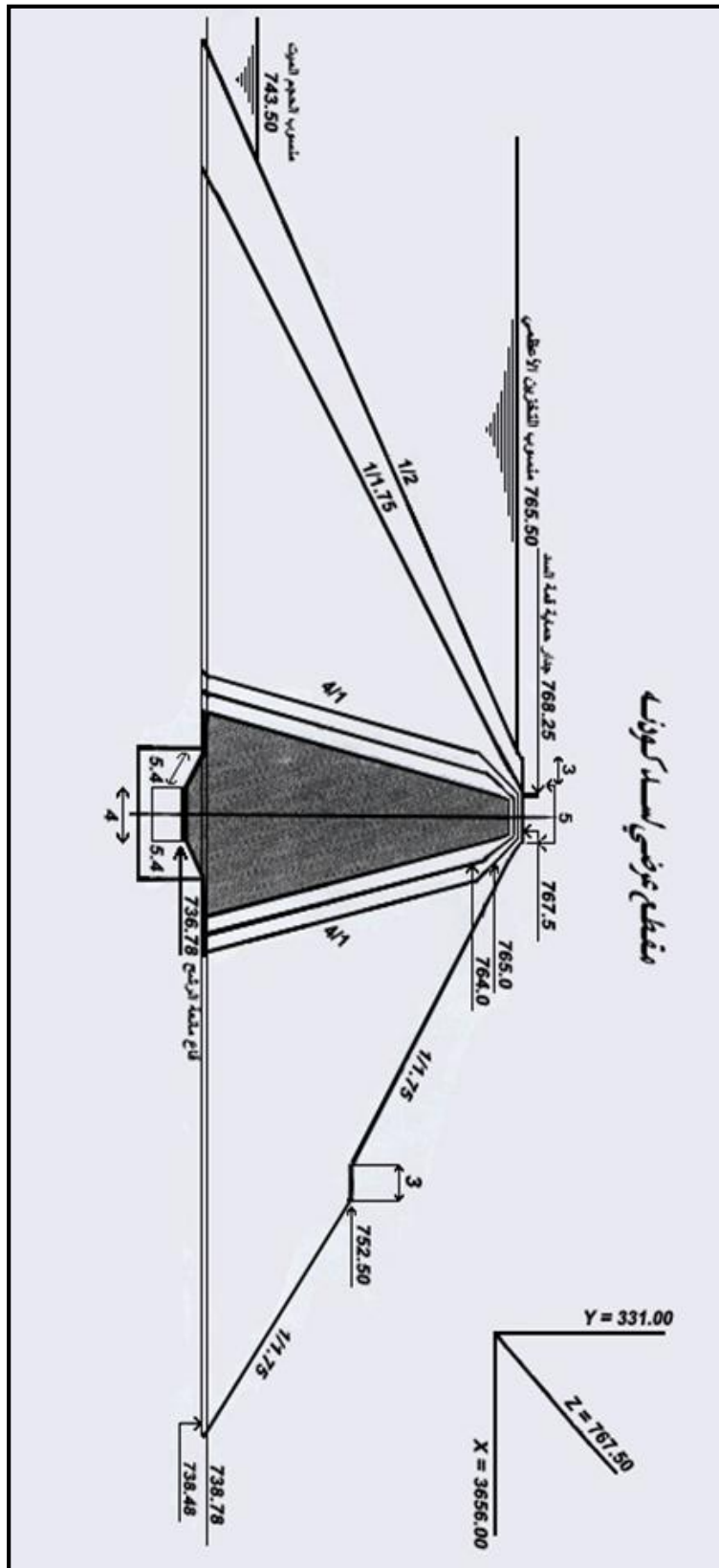


الشكل (2-1). سد Sayano قبل الانهيار



الشكل (2-2). سد Sayano بعد الانهيار





الشكل (3-2). مقطع عرضي تقصيري لسد كوزاب

## 11-2. مراجعة الدراسات السابقة

تُعدّ مشكلة انهيار السدود من المشاكل الهامة في الحياة البشرية، وفيما يلي بعض الدراسات السابقة والنتائج التي تمّ التوصل إليها.

## 1-11-2. دراسة تأثير الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار سد ترابي (سد قطينة) [3]:

تم تسليط الضوء على أهمية دراسة تأثير الموجة الفيضانية الناجمة عن احتمال انهيار سد وتحديد مساحات الغمر وارتفاع الغمر وزمن الغمر ورسم مخطط الغمر للمنطقة المعرضة للفيضان.

## 2-11-2. الإدارة المتكاملة للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي والتخفيف من أثارها (منطقة

الدراسة مجرى نهر العاصي بين سد قطينة والرسن ومحددة) [4]:

## 1-2-11-2. هدف البحث

اقترح بعض الحلول الهيدروليكية وإعداد خطة طوارئ للتخفيف من الآثار السلبية للموجة الفيضانية.

## 2-2-11-2. نتائج الدراسة

❖ إن انشاء أفنية تحويل يساهم في تخفيض قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى سد الرسن إلى النصف تقريباً.

❖ إن سد قطينة على الرغم من تصنيفه سد صغير نسبةً لارتفاعه (7m)، ولكنه يعتبر سد عالي الخطورة بسبب الخسائر الناجمة عن انهياره.

## 3-11-2. التنبؤ بانتشار موجة فيضان ناتجة عن انهيار سد (حالة دراسية سد Tha Dan) [20]:

يهدف البحث إلى التنبؤ بخصائص موجة الفيضان الناجمة عن انهيار سد (Tha Dan) وتحديد المناطق المتضررة باستخدام نموذج رياضي وبرنامج GIS، وبالنتيجة تبين أن المساحة الكلية التي ستغمر بمياه الفيضان وصلت إلى 391.8 كيلو متر مربع، وأن مدينة Amphoe Muang التي تبعد 27.8 كيلو متر عن السد ستصل إليها موجة الفيضان بزمن قدره 1.3 ساعة وبسرعة قدرها 19.7 متر في الثانية.

## 4-11-2. محاكاة موجة فيضان نهر دجلة في مدينة الموصل نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل [1]:

## 1-4-11-2. هدف الدراسة

دراسة خصائص موجة الفيضان في نهر دجلة نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل، وتقدير المساحات المتضررة من الفيضان خاصة في مدينة الموصل، عن طريق تطبيق نموذج حاسوبي وباستخدام نظام المعلومات الجغرافية.

## 2-4-11-2. نتائج الدراسة

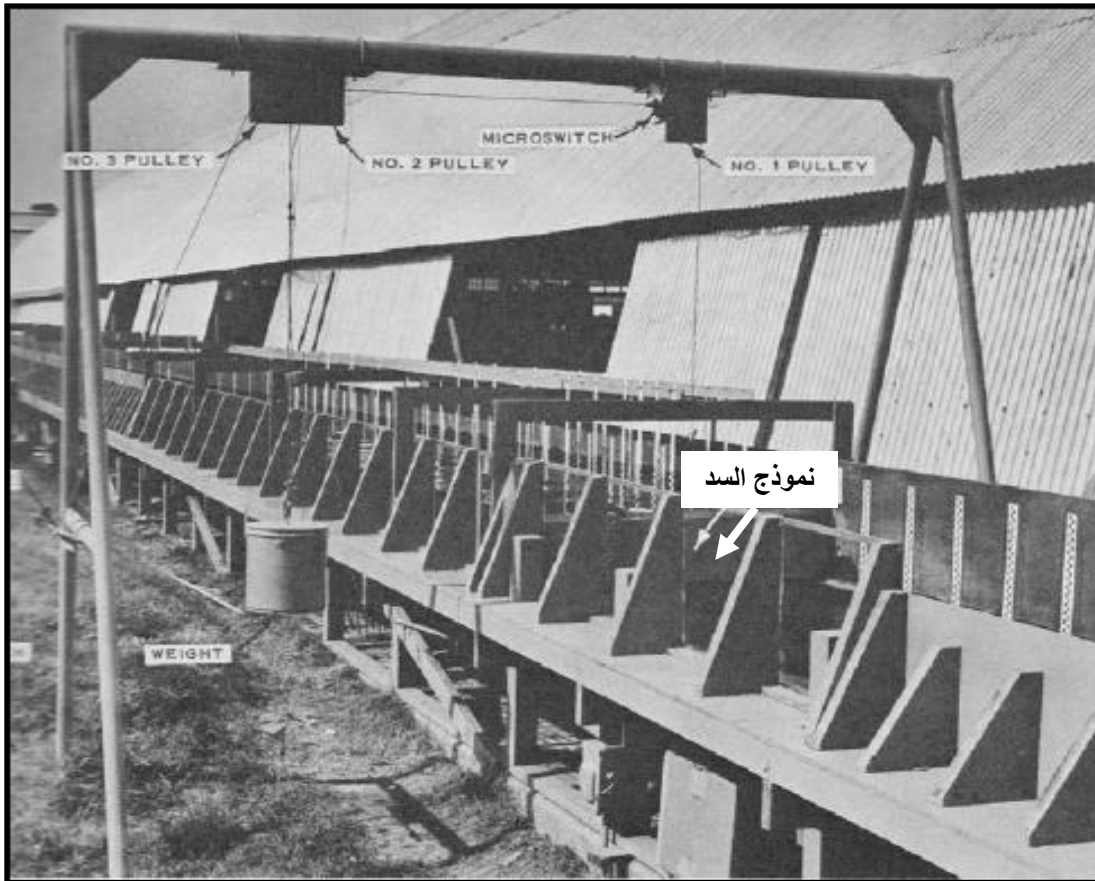
❖ ستتغمر مدينة الموصل عند مستوى 235.3 م فوق سطح البحر، وتصريف لموجة الفيضان قدره  $207 \text{ m}^3/\text{s}$  ، وسرعة جريان  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$  ومنسوب تخزين أعظمي في السد قدره  $330 \text{ m}$  فوق سطح البحر.

❖ ستصل موجة الفيضان إلى مدينة الموصل بعد 5.5 ساعة من بدء انهيار السد.

❖ المساحة المغمورة بين موقع السد والموصل هي 252 كيلو متر مربع، ونسبة المساحة المغمورة من مدينة الموصل 54% من المساحة الكلية للمدينة.

## 2-11-5. دراسة انهيار سد باستخدام بيانات مجرى WES التجريبي [15]:

أجريت الدراسة على مجرى تجريبي سمي (WES)، وهو عبارة عن مجرى خشبي مستطيل بعرض 4 قدم وبطول 400 قدم وبميل لقاع القناة قدره 0.005، الشكل (2-4).



الشكل (2-4). مجرى WES التجريبي

## 2-10-5-1. هدف الدراسة

الحصول على بيانات غزارة ومنسوب تجريبية لمجرى النهر باستخدام برنامج الـ Hec-Ras، من أجل استخدام هذه البيانات في تقييم الطرق النظرية والتحليلية السائدة في ذلك الوقت، من أجل التنبؤ ببارامترات الفيضان الناتجة عن انهيار سد ضمن الشروط المطبقة على النموذج المدروس.

**2-11-6. تحليل انهيار سد باستخدام برنامج الـ HEC-RAS و HEC-GEORAS [11]**

يقدم هذا البحث [11] تحليل لنماذج انهيار سدود، عن طريق تصميم عدة سيناريوهات من أجل تحديد المخاطر الناجمة عن الانهيار، وقد تم الاستفادة من النتائج في تحديد الأضرار المادية والبشرية التي من الممكن حدوثها عن طريق رسم خرائط الغمر، حيث تم العمل بمساعدة برنامج الـ HEC-RAS وبرنامج الـ HEC-GEORAS من أجل الحصول على بيانات رقمية دقيقة من برنامج الـ GIS.

**2-11-7. دراسة مرجعية عن السدود وتقييم بارامترات الانهيار [7]:**

يتضمن هذا البحث [7] دراسة مرجعية عن السدود، تشمل تعريف السدود وأنواعها وتصنيفها وأسباب انهيارات السدود إضافة إلى أنواعها، كما تضمن طرق لتحديد بارامترات الانهيار بناءً على عدد من حالات انهيار السدود.

**2-11-8. نموذج للتنبؤ بالفيضان نتيجة انهيار سد ترابي [17]:**

يتضمن هذا البحث [17] نموذجاً لانهيار سد من أجل التنبؤ ليس فقط بذروة الغزارة أثناء الفيضان بل أيضاً بتطور الانهيار والغزارة الناتجة عنه على كامل فترة النمذجة، مع الأخذ بعين الاعتبار الشكل الهندسي للسد ولبحيرة السد والخصائص الهيدروليكية للجريان أثناء الانهيار إضافة إلى شكل الانهيار. النموذج الناتج قابل للتطبيق على حالة واقعية بعد إجراء معايرة للنموذج المدروس، وقد تم تطبيقه على 12 سد قد انهياروا سابقاً وكانت النتائج منطقية وقريبة من الواقع.

**2-11-9. نمذجة انهيار سد (waita) في مدينة هاواي [8]:**

يقدم هذا البحث [8] نموذجاً حاسوبياً لمحاكاة الأنماط المحتملة للفيضانات الناتجة عن انهيار سد وايتا في جزيرة هاواي، حيث تم إجراء أربعة سيناريوهات اثنان منها تبينان انهيار محتمل (انهيار جزئي يفترض إزالة 100 متر من عرض السد نتيجة الانهيار) واثنان تبينان انهيار ذو احتمال قليل (شامل يفترض أن كامل عرض السد ستم إزالته نتيجة الانهيار)، وقد تم اختيار هاتين الحالتين من أجل توضيح حساسية النموذج للتنبؤ ببارامترات الانهيار.

من النتائج التي حصلت عليها هذه النمذجة، أن العمق الأعظمي للغمر يكون أكثر حساسية لمكونات الانهيار (ارتفاع فتحة الانهيار وعرضها وميولها) أكثر من معامل مانينغ، أما السرعة الأعظمية تكون أكثر حساسية لمعامل مانينغ أكثر من مكونات الانهيار.

**2-11-10. تحليل الفيضان الناتج عن انهيار سد بحيرة (Youngs) في واشنطن [17]:**

يصف هذا البحث [17] طرق وافتراضات يستخدمها برنامج الـ Hec-Ras لبناء النموذج، كما يبين زمن وصول موجة الانهيار إلى كافة المناطق المشمولة بالدراسة وسرعة الانهيار وعمق الماء الأعظمي الناتج

عن الانهيار، وأخيراً بين البحث خرائط الغمر (المناطق التي من المحتمل أنها ستغمر بمياه الفيضان) والأضرار الناجمة عن الفيضان.

## 12-2. دراسة مرجعية عن أشكال فتحات الانهيار في السدود

### 1-12-2. مقدمة

تصنف آلية انهيار السدود إلى فئتين بشكل عام [13]:

- انهيارات تحدث عن طريق إزالة مفاجأة لجزء أو لكامل منشأة السد كنتيجة لبعض القوى المطبقة عليها (موجة فيضانية مفاجأة، زلازل، .....الخ).
  - انهيارات تحدث نتيجة تآكل مواد السد (تسربات، حت، .....الخ).
- 2-12-2. البيانات المطلوبة لتحديد شكل فتحة الانهيار في السدود [14]، [16]:

تشمل البيانات المطلوبة لتحديد فتحة الانهيار ما يلي; نوع الانهيار، مكان الانهيار، زمن الانهيار، حجم الانهيار.

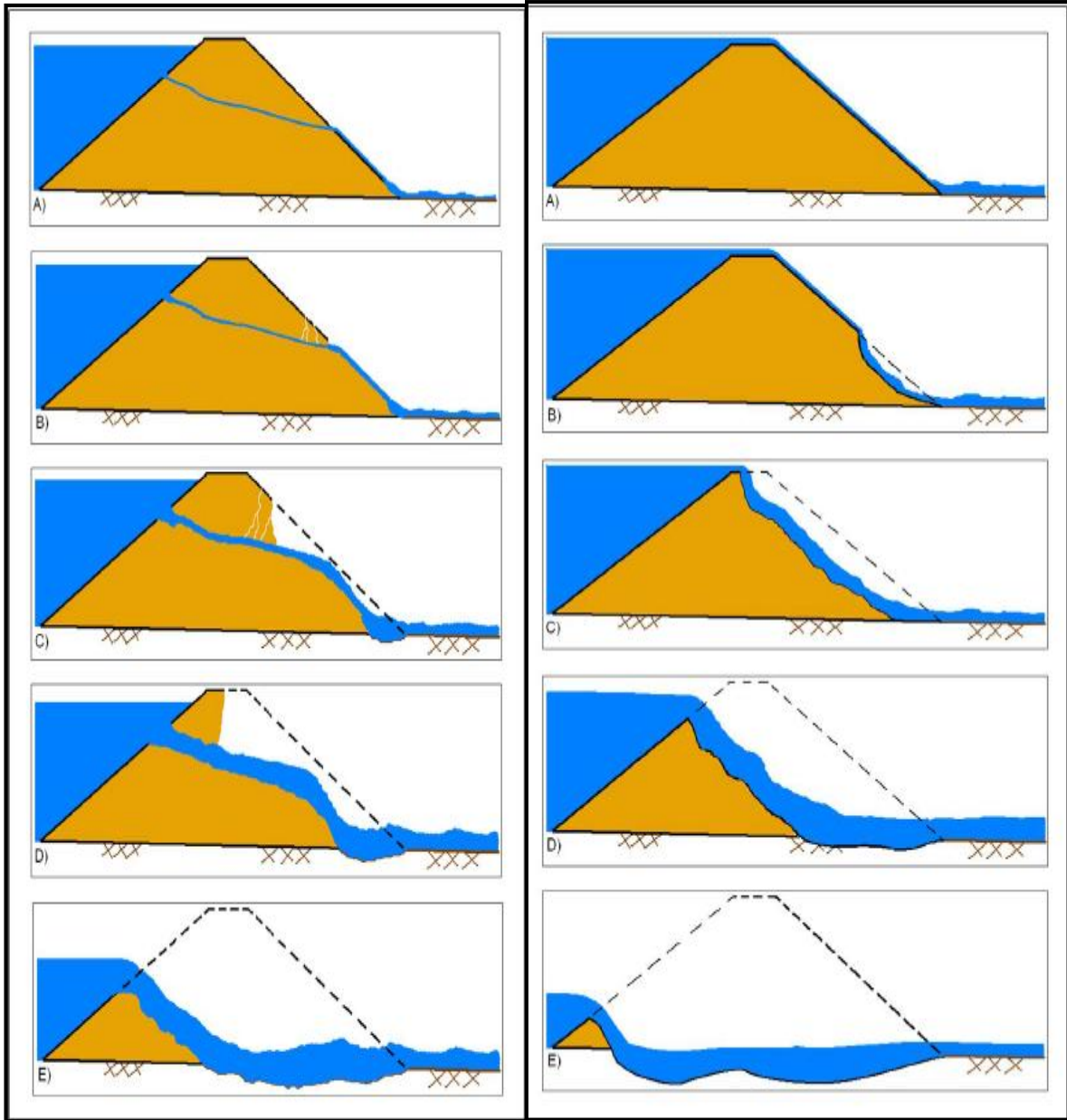
### 1-2-12-2. نوع الانهيار (Breach type):

تم تصميم الخوارزميات الهيدروليكية في برنامج الـ hec Ras من أجل نمذجة نوعين من الانهيارات (الفيضان فوق قمة السد، الحت الأنبوبي) (piping، overtopping)، الشكل (2-5)، إنّ الفرق بين النموذجين هو آلية بداية تطور الانهيار ففي حالة الانهيار من نوع overtopping تبدأ فتحة الانهيار بالتشكل من أعلى قمة السد ثم تتطور لتصل الى الشكل الأعظمي لها بينما في حالة الانهيار من نوع piping يمكن لفتحة الانهيار أن تبدأ بالتشكل من أي منسوب ثم تتطور لتصل الى الشكل الأعظمي لها. إنّ حجم الانهيار النهائي وزمن تطور الانهيار له أهمية في تقدير التدفق الناجم عن الانهيار أكثر من تحديد نوع الانهيار.

### 2-2-12-2. مكان الانهيار (Failure Location):

إن تحديد مكان الانهيار يعتمد على عدة عوامل منها:

- نوع السد (ترابي، ركامي، بيتوني).
  - شكل السد (قوسي، قائم، ....).
  - نوع الانهيار (piping، Overtopping).
  - العناصر الهيكلية للسد (كيفية رصف طبقات الردم ورصف طبقات النواة).
- وجميع العوامل المتعلقة بالسد وخاصة التسجيلات التاريخية للتسربات والمشاكل الناتجة عن سوء تنفيذ الأساسات، كل ذلك يجب اعتباره من أجل وضع الانهيار في المكان الأكثر احتمالاً لكل حالة انهيار.



a - (piping) انهيار من نوع

b - (overtopping) انهيار من نوع

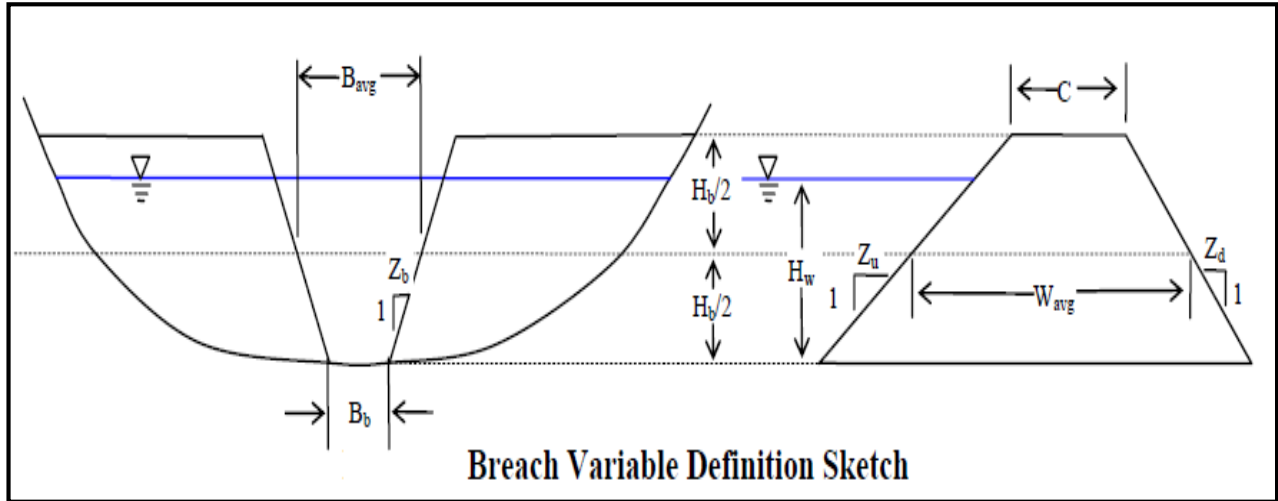
الشكل (2-5). يبين الفرق بين الانهيار من نوع **overtopping** والانهيار من نوع **piping**

### 3-2-12-2. زمن تطور الانهيار (Breach Development Time):

- في حالة ال **Overtopping Failure**: هو الفترة ما بين بداية تشكل الانهيار حتى يصل إلى الوجه الأمامي للسد وتتشكل فتحة الانهيار بالكامل وليس إلى أن يتم تفريغ البحيرة بالكامل.
- في حالة ال **piping Failure**: يحدد من لحظة انتقال كمية كبيرة من مواد السد عبر أنابيب ضمن جسم السد إلى أن تتشكل فتحة الانهيار بالكامل.

### 4-2-12-2. حجم الانهيار (Breach Volume):

ويشمل بشكل أساسي (الميول الجانبية لفتحة الانهيار ومنسوب أسفل فتحة الانهيار، العرض الوسطي لفتحة الانهيار)، الشكل (6-2).



الشكل (6-2). بارامترات الانهيار

### 3-12-2. طرق تحليل الانهيار [9]، [21]:

يوجد العديد من الأدوات المتاحة اليوم من أجل تحليل انهيار السدود وإعطاء هيدروغراف للموجة الناتجة تم تجميع أساليب تحليل الانهيار إلى أربع فئات وهي:

### 1-3-12-2. طرق فيزيائية (Physically based methods)

تتنبأ بتطور الانهيار وبناتج الانهيار باستخدام نموذج انهيار يعتمد على مبادئ علم الهيدروليك ونقل الرسوبيات وميكانيكية التربة مثل:

- HR Wallingford – HR BREACH
- NWS BREACH (Dr. Danny Fread)
- NRCS SIMBA/WinDAMB

### 2-3-12-2. التحليل والمقارنة (Comparative analysis)

هي أبسط طرق تحليل انهيار السدود حيث تقوم على مقارنة السد المدروس مع سد قد انهار سابقا وتم توثيق ذلك ويوجد تشابه بين السدين في (الارتفاع، ميول السفوح الجانبية، حجم التخزين) ثم يتم تحديد بارامترات الانهيار.

### 3-3-12-2. نماذج بارامترية (Parametric models)

تستخدم المبادئ الهيدروليكية لتقدير زمن الانهيار وشكل الانهيار النهائي والغزارة الناتجة عن الانهيار حيث تحسب بارامترات الانهيار أولاً ثم تحسب الغزارة الناتجة عن الانهيار باستخدام نموذج انهيار سابق.

- Hydrologic Models مثل HEC-1 and HEC-HMS.
- Hydraulic Models مثل HEC-RAS.

### 4-3-12-2. طرق تجريبية (Empirical Methods)

تقدّر ذروة الغزارة الناتجة عن الانهيار باستخدام معادلات تجريبية معتمدة على بيانات دراسة حالة سابقة ثم يتم تقدير شكل الهيدروغراف الناتج بأسلوب منطقي ومعقول مثل (MacDonald & Langridge-Gillete، VonThun، Froehlich، Monopolis)، فيما يلي المعادلات التي تستخدمها كل طريقة:

- **طريقة: MacDonald and Langridge-Monopolis (1984)**

تعتمد على 57 حالة انهيار سد وفيما يلي المعادلات المستخدمة:

$$V_{eroded} = 0.0261(V_w * h_w)^{0.769} \quad (2 - 1)$$

$$V_{eroded} = 0.00348(V_w * h_w)^{0.852} \quad (2 - 2)$$

$$t_f = 0.0179(V_{eroded})^{0.364} \quad (2 - 3)$$

$$B_{ave} = \frac{V_{eroded}}{h_b * W_{ave}} \quad (3 - 3)$$

حيث:

$V_{eroded}$  : حجم الكتلة المنهارة من السد ( $m^3$ )

$h_w$  : عمق الماء أثناء الانهيار ( $m$ )

$V_w$  : الحجم المائي المقابل لـ  $h_w$  ( $m^3$ )

$t_f$  : زمن تشكل الانهيار (hour)

$W_{ave}$  : العرض الوسطي لمقطع السد ( $m$ )

$h_b$  : الارتفاع ما بين مركز فتحة الانهيار وأعلى قمة السد ( $m$ )

- **طريقة Froehlich (1995)**

تعتمد على 63 حالة انهيار سد حيث يعطى العرض الوسطي لفتحة الانهيار بالعلاقة التالية:

$$B_{ave} = 0.1803 K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.19}$$

أما زمن تشكل فتحة الانهيار يعطى بالعلاقة التالية:

$$t_f = 0.00254 V_w^{0.53} h_b^{-0.90}$$



حيث:

$B_{ave}$ : العرض الوسطي لفتحة الانهيار (m)

$K_0$ : معامل الانهيار لطريقة Froehlich

$K_0=1.0$  for piping

$K_0=1.3$  for overtopping

• طريقة Froehlich (2008)

$$B_{ave} = 0.27 K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.04}$$

$$t_f = 20.18 V_w^{0.5} h_b^{-0.1}$$

• طريقة Von Thun & Gillette (1990)

$$B_{avg} = 2.5h_w + C_b$$

الجدول (2-2). قيمة المعامل  $C_b$  حسب حجم التخزين

Reservoir Size, m <sup>3</sup>	$C_b$ , meters
< 1.23*10 <sup>6</sup>	6.1
1.23*10 <sup>6</sup> - 6.17*10 <sup>6</sup>	18.3
6.17*10 <sup>6</sup> - 1.23*10 <sup>7</sup>	42.7
> 1.23*10 <sup>7</sup>	54.9

عند وجود مقاومة للتآكل

$$t_f = 0.02 h_w + 0.25$$

عند عدم وجود مقاومة للتآكل

$$t_f = 0.015 h_w$$

• طريقة Xu and Zhang (2009):

تعتمد على 45 حالة انهيار سد يعطى العرض الوسطي لفتحة الانهيار بالعلاقة التالية:

$$\frac{B_{ave}}{h_b} = 0.787 \left(\frac{h_b}{h_r}\right)^{0.133} \left(\frac{V_w^{1/3}}{h_w}\right)^{0.652} e^{B_3}$$

$$\frac{B_t}{h_b} = 1.062 \left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0.092} \left(\frac{V_w^{1/3}}{h_w}\right)^{0.508} e^{B_2}$$

$h_d$ : ارتفاع السد (m).

$h_r$ : معامل للتمييز بين السدود الكبيرة والسدود الصغيرة.

$B_3$ : عبارة عن معاملات تتعلق بمواصفات السد.

$b_3$ : -0.041، 0.026، -0.226 من أجل السدود ذات الجدران القائمة والسدود البيتونية والسدود المتجانسة

على الترتيب.

$b_4$  : 0.149 ، -0.0389- لحالة الانهيار من overtopping والانهيار من نوع piping على الترتيب.

$b_5$  : 0.291- ، -0.14- ، -0.391- للانهيار المرتفع والمتوسط والمنخفض على الترتيب.

$B_t$  : عرض فتحة الانهيار من الأعلى (m).

$B_2$  :  $b_3 + b_4 + b_5$  عبارة عن معاملات تتعلق بمواصفات السد.

$b_3$  : 0.061 ، 0.088 ، -0.089-، من أجل السدود ذات الجدران القائمة والسدود البيتونية والسدود المتجانسة على الترتيب.

$b_4$  : 0.299 ، -0.239-، لحالة الانهيار من overtopping والانهيار من نوع piping على الترتيب.

$b_5$  : 0.411 ، -0.062 ، -0.289-، للانهيار المرتفع والمتوسط والمنخفض على الترتيب.

أما الميول الجانبية لفتحة الانهيار تحسب من المعادلة التالية:

$$Z = \frac{B_t - B_{ave}}{h_b}$$

وزمن تشكل فتحة الانهيار يحسب من المعادلة التالية:

$$\frac{T_f}{T_r} = 0.304 \left( \frac{h_d}{h_r} \right)^{0.707} \left( \frac{V_w^{1/3}}{h_w} \right)^{1.228} e^{B_5}$$

$T_f$  : زمن تشكل الانهيار بالساعات.

$T_r$  : 1 ساعة.

$B_5$  :  $b_3 + b_4 + b_5$  ولكن بقيم معاملات مختلفة.

والجدول (2-2)، يوضح قيم بارامترات الانهيار حسب بعض الطرق التجريبية.

الجدول (3-2). قيم بارامترات الانهيار حسب بعض الطرق [11]

Breach Parameters	MacDonald & Langridge-Monopolis (1984)	Washington (2007)	Froehlich (2008)
Volume Eroded $V_{er}$ ( $yd^3$ )	$V_{er} = 3.264BFF^{0.77}$ (best fit all data)	$V_{er} = 3.75BFF^{0.77}$ (cohesionless dams)	
	$V_{er} = 0.714BFF^{0.852}$ (rockfill)	$V_{er} = 2.5BFF^{0.77}$ (cohesive dams)	
Average Breach Width $B_{avg}$ (ft)	$B_{avg} = \frac{V_{er}}{(H_b \times W_{avg})}$		$B_{avg} = 8.239K_o V_w^{0.32} H_b^{0.04}$  $K_o=1.0$ for piping $K_o=1.3$ for overtopping
Breach Side slopes $Z_b$ (H:V)	2.0:1		0.7:1 - piping 1.0:1 - overtopping
Breach Development Time $T_f$ (hr)	$T_f = 0.016V_{er}^{0.364}$	$T_f = 0.02V_{er}^{0.36}$ (cohesionless)	$T_f = 3.664 \sqrt{\frac{V_w}{gH_b^2}}$
		$T_f = 0.036V_{er}^{0.36}$ (cohesive)	

الجدول (4-2). عرض فتحة الانهيار وزمن تشكلها والميول الجانبية لها [11]

زمن الانهيار (ساعة)	الميول الجانبية لفتحة الانهيار	العرض الوسطي للانهيار	نوع السد
0.5 to 4.0 0.1 to 1.0 0.1 to 1.0	0 to 1.0 0 to 1.0 0 to 1.0 او اكبر بقليل	(0.5 TO 3.0)*HD (1.0 to 5.0)*HD (2.0 to 5.0)*HD	ترابي ركامي
0.1 to 0.5 0.1 to 0.3 0.1 to 0.2	شاقولي شاقولي شاقولي	Multiple Monoliths عادة $0.5 L \geq$ عادة $0.5 L \geq$	بيتوني ثقلي
$0.1 \geq$ $0.1 \geq$ $0.1 \geq$	له ميل جدران الوادي من 0 إلى ميول جدران الوادي من 0 إلى ميول جدران الوادي	السد بالكامل السد بالكامل (0.8*L)to L	بيتوني قوسي

HD: ارتفاع السد، L: طول قمة السد.

بالعودة إلى المراجع والأبحاث المتعلقة بشكل فتحات الانهيار وبالتجربة لوحظ أنه ليس لفتحة الانهيار شكل واضح وثابت، وهذا شيء منطقي فقد يكون لها شكل يقارب الأشكال الهندسية كالمستطيل وشبه المنحرف والمثلث وذلك يتعلق ببنية السد وحجمه. ونحن من خلال برنامج Hec-Ras نستطيع تغيير شكل الفتحة وحجمها ومقارنة النتائج مع بعضها البعض، فبالجربة لوحظ أنه كلما كان حجم الفتحة أكبر كانت الأضرار الناجمة عن هذا الانهيار أكبر، وبشكل عام لدينا ثلاثة أشكال لفتحة الانهيار [12]، الشكل (7-2) وهي:

- مثلثي (Triangular): يظهر عادةً في السدود الترابية ذات حجوم التخزين الصغيرة.
- شبه منحرف (Trapezodal): يظهر في السدود الترابية والركامية ذات حجوم التخزين الكبيرة.
- مستطيل (Rectangular): يظهر في السدود ذات الكثافة العالية والمرصوصة جيداً.



الشكل (7-2) تطور شكل فتحة الانهيار

## 4-12-2. أمثلة عن انهيارات بعض السدود

- سد زيزون في مدينة حماه على نهر العاصي [23]، الشكل (8-2).

نوع السد: ركامي

ارتفاعه: 32 م

تاريخ الانهيار: 4 حزيران 2002

ضحايا الانهيار: 22 شخص

- سد (Hadlock Pond) في نيويورك، الشكل (9-2) [16].

نوع السد: ترابي ركامي.

ارتفاعه: 8.82 م

تاريخ الانهيار: 2 تموز 2005



الشكل (8-2). شكل فتحة الانهيار في سد زيزون



الشكل (9-2) فتحة الانهيار في سد Hadlock Pond

- سد Taum Sauk في ميسسوري، الشكل (10-2) [16].  
نوعه: سد ترابي  
ارتفاعه: 28.6 م  
تاريخ الانهيار: 14 كانون الأول 2005
- سد Kaloko في هاواي الشكل، (11-2) [16].  
نوع السد: ترابي  
ارتفاعه: 13.5 متر  
تاريخ الانهيار: 14 شباط 2006



الشكل (10-2). فتحة الانهيار في سد Taum Sauk



الشكل (11-2). فتحة الانهيار في سد Kaloko

- سد teton شمال غرب Newdale في الولايات المتحدة الأمريكية [24]:

نوع السد: ترابي

ارتفاعه: 93 متر

تاريخ الانهيار: 5 تموز 1976

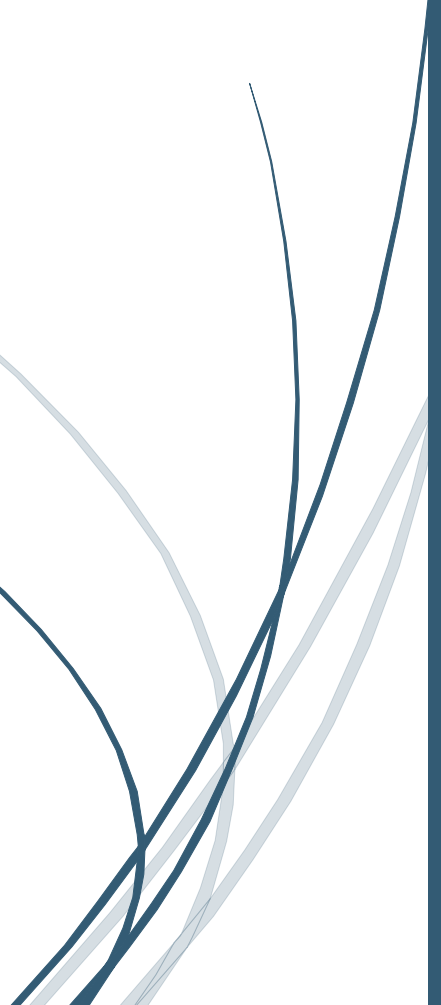


الشكل (12-2) فتحة الانهيار في سد teton



# الفصل الثالث

لمحة عن برنامج الـ Hec-Ras



## الفصل الثالث

### لمحة عن برنامج الـ Hec-Ras

#### 1-3. مقدّمة

سنقوم في هذا الفصل بشرح مبسط عن برنامج الـ Hec-Ras يتضمن تعريف البرنامج وتوضيح المعادلات التي يستخدمها ومراحل عمله.

#### 2-3. لمحة عامة عن برنامج الـ Hec-Ras

تعريف البرنامج: هو نظام تحليل الجريان في الأنهار (River Analysis System) تم تطويره من قبل (Hydraulic Engineering Center) المركز الهندسي للهيدروليك وهو عبارة عن مجموعة برمجيات هندسية تسمح للمستخدم بتأدية الحسابات الهيدروليكية للجريان المستقر وغير المستقر باتجاه واحد وكذلك يقوم بتأدية حسابات حركة الرسوبيات وتحليل درجات حرارة المياه في المجاري المائية، ويعتبر نسخة مطورة عن برنامج الـ Hec-2 الذي يقوم بتأدية حسابات الجريان المستقر باتجاه واحد [10]. يعتمد هذا البرنامج على معادلات saint venant حيث يستخدم المعادلة (1-3) والمعادلة (2-3) في تحليل الجريان ضمن المجرى المائي [18].

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0 \quad (1 - 3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \alpha V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g (S_0 - S_f) \quad (2 - 3)$$

حيث:

Q : التدفق ( $m^3/sec$ )

q : التدفق في وحدة العرض ( $m^2/sec$ )

x : البعد بين المقطع المدروس والمقطع الذي يليه (m)

y : ارتفاع الماء التصميمي (m)

A : مساحة المقطع المبلول ( $m^2$ )

t : الزمن (sec).

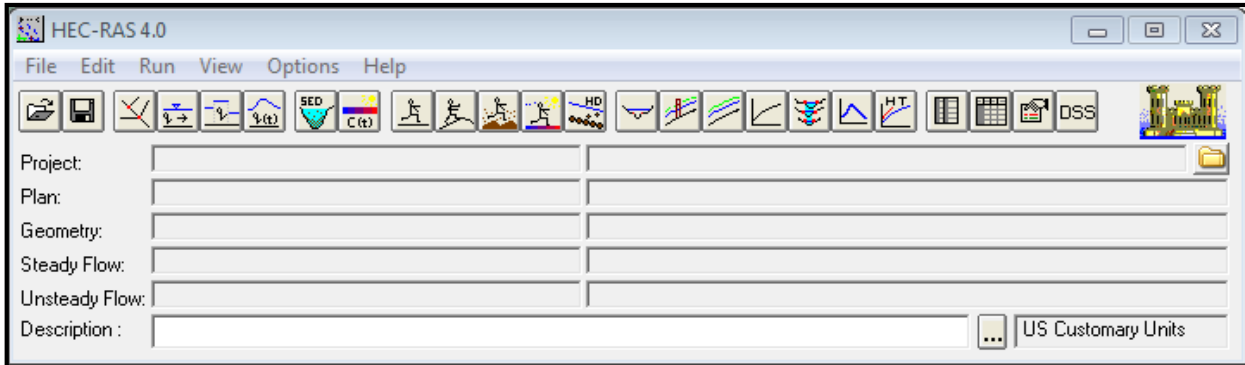
g : تسارع الجاذبية ( $m/sec^2$ ).

V : السرعة (m/sec).

$S_f$  : معامل الاحتكاك.

$S_0$  : ميل قاع القناة.

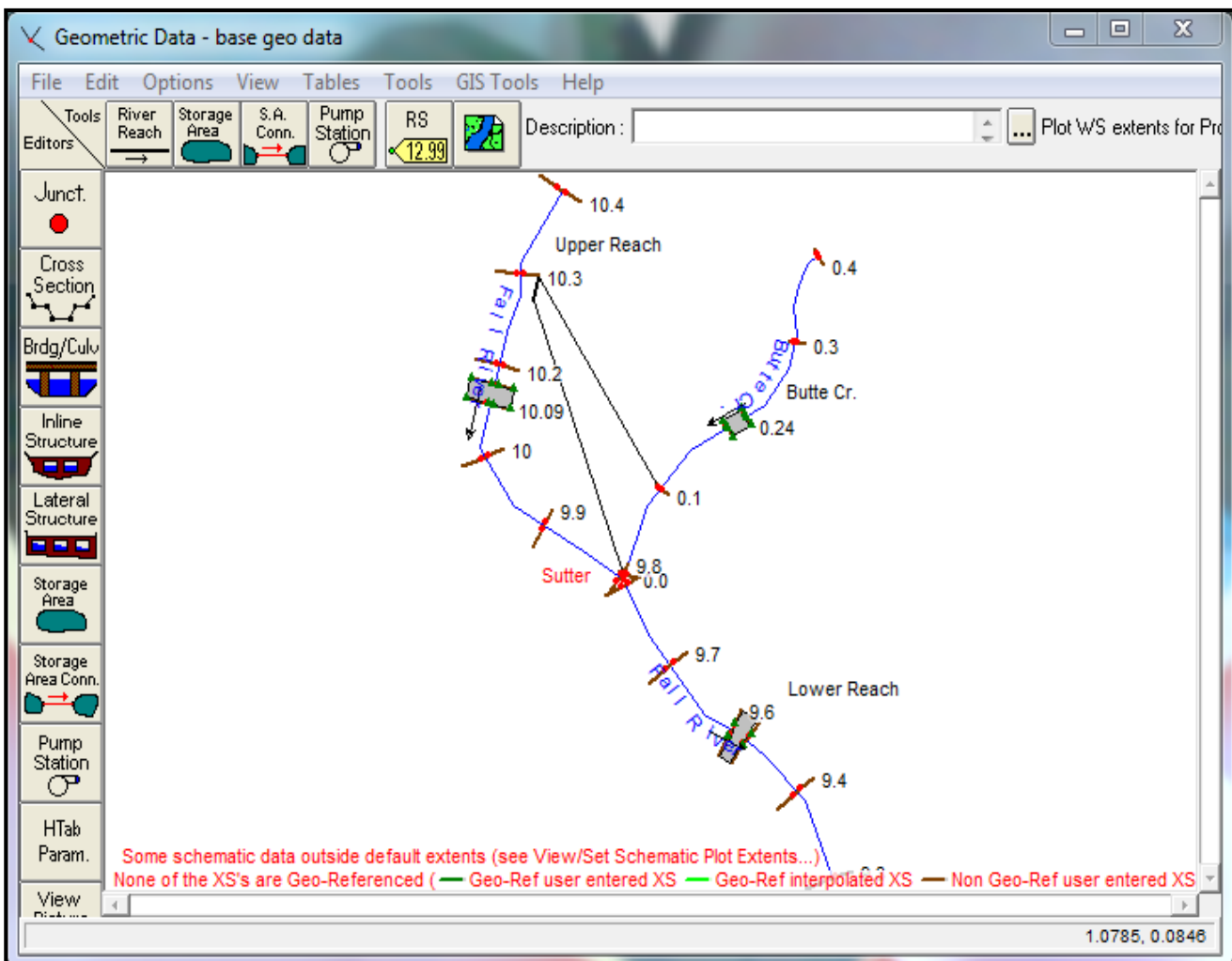
$\alpha$ : معامل الطاقة.



الشكل (1-3) الواجهة الرئيسية للبرنامج

### 3-3. مراحل عمل برنامج الـ Hec-Ras [10]:

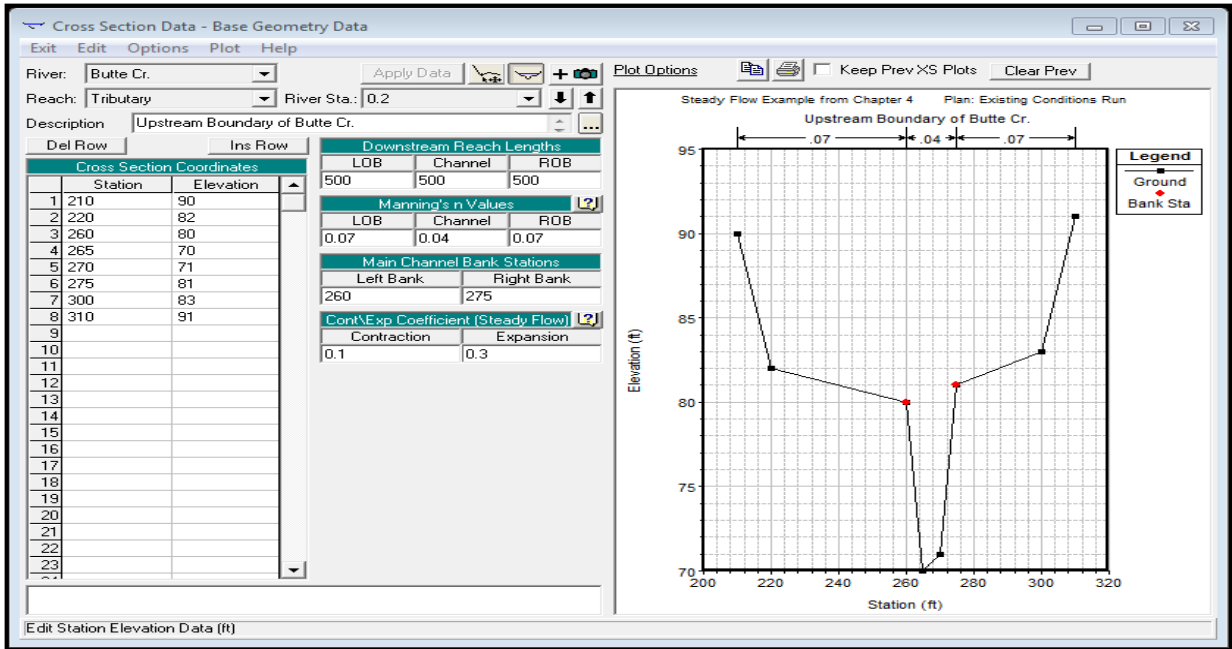
- إدخال البيانات الهندسية (Geometric Data)، الشكل (2-3).



الشكل (2-3). واجهة البيانات الهندسية

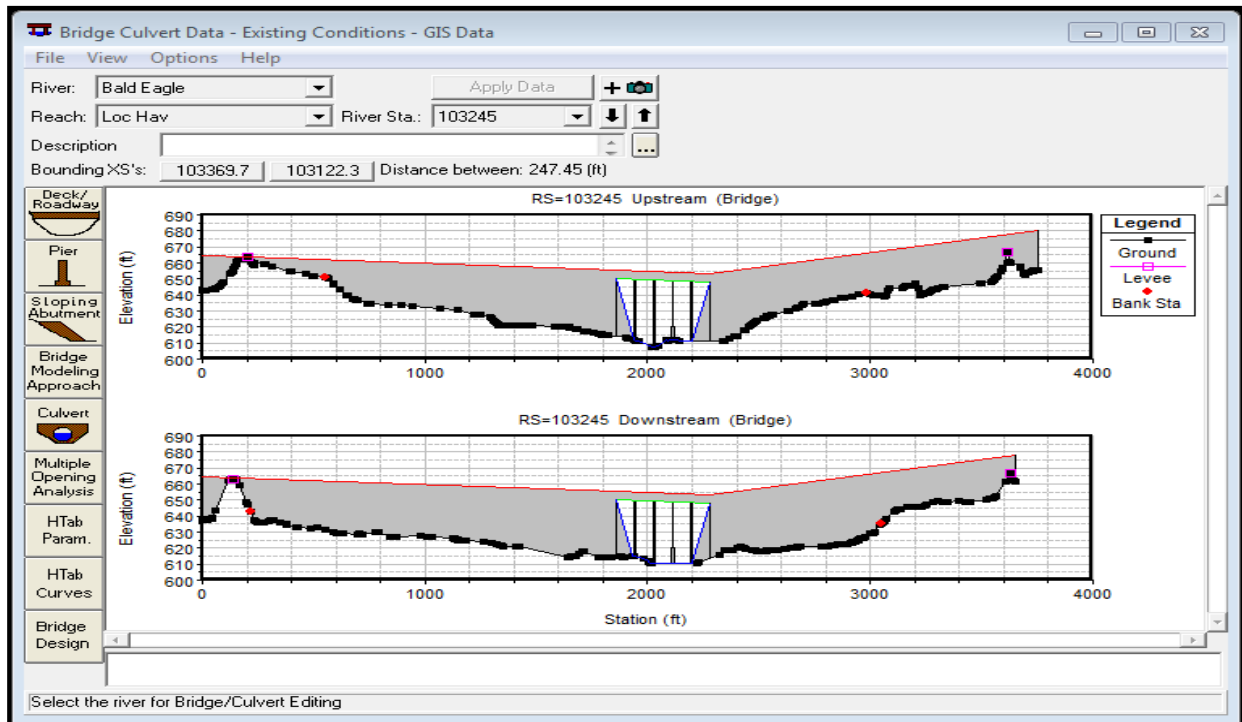
تشمل البيانات الهندسية ما يلي:

أ- بيانات المقاطع العرضية (Cross Sections Data)، الشكل (3-3).



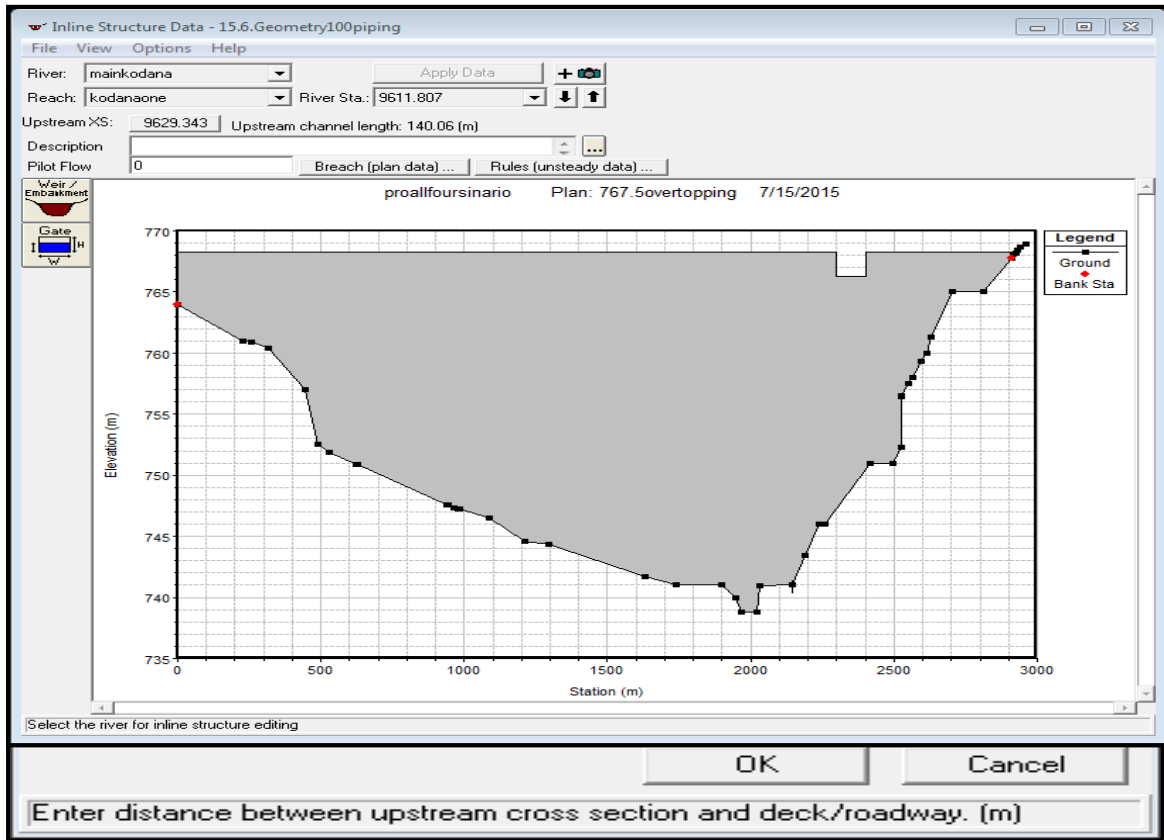
الشكل (3-3). البيانات المطلوبة للمقاطع العرضية

ب- بيانات الجسور والمنشآت الجانبية (lateral structure، Bridge)، الشكل (4-3).



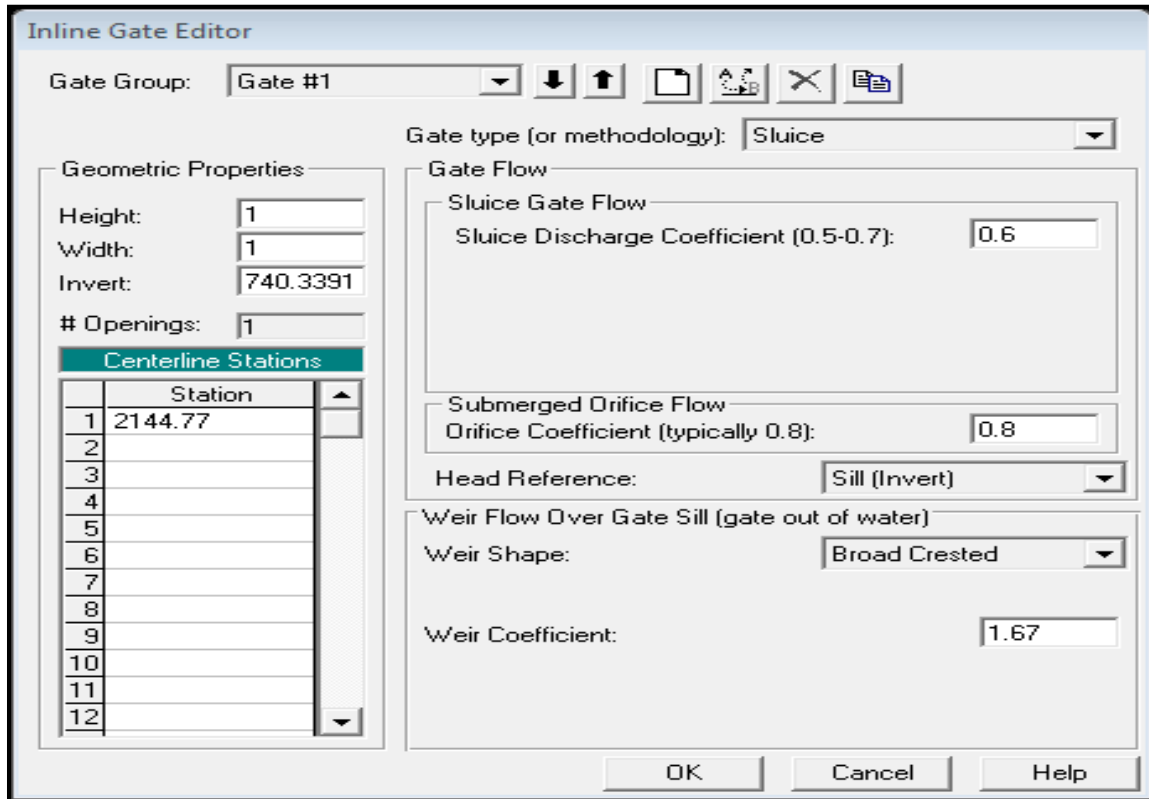
الشكل (4-3). البيانات المطلوبة للجسور

ج- بيانات السدود (Inline structure) وتشمل بيانات المفيض والبوابات، الشكل (5-3)، (6-3)، (7-3).



الشكل (5-3). البيانات المطلوبة للسدود

الشكل (6-3). البيانات المطلوبة للمفيض

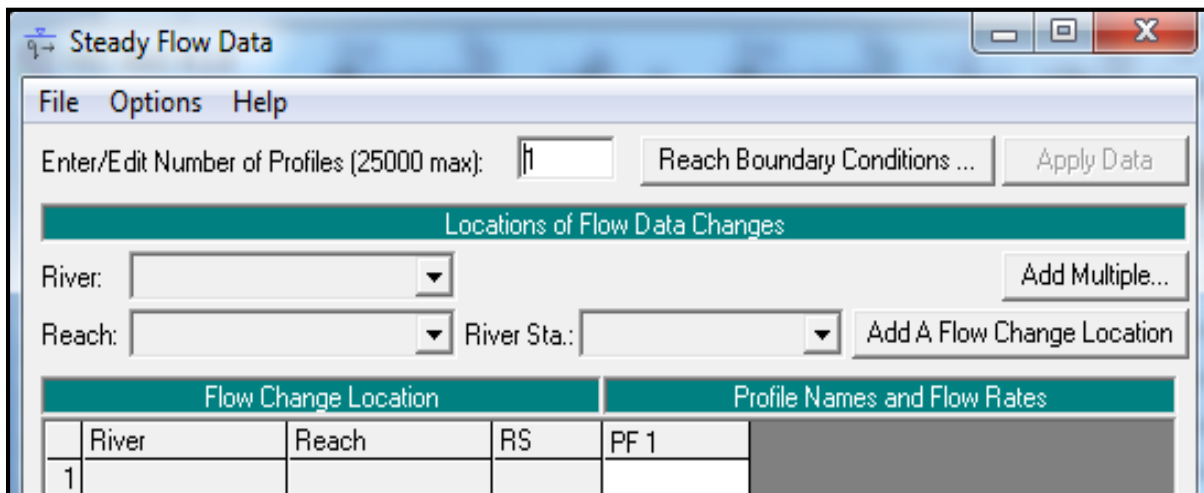


الشكل (7-3) البيانات المطلوبة للبوابات

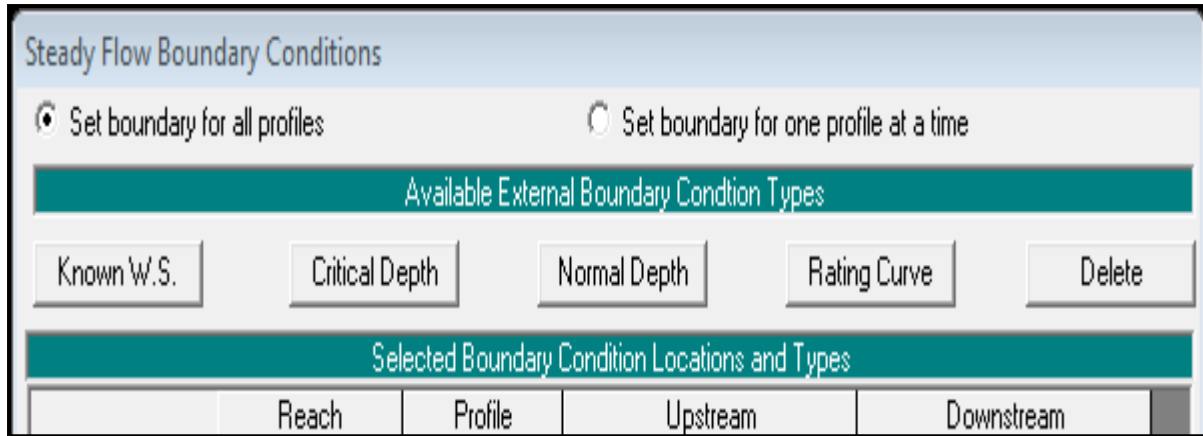
د- كما تشمل بحيرات تخزين المياه ومحطات الضخ.

• إدخال بيانات الجريان والشروط المحيطة (Entering Flow Data and Boundary Conditions)

أ. بيانات الجريان المستقر والشروط المحيطة التابعة لها الشكل (8-3)، (9-3).

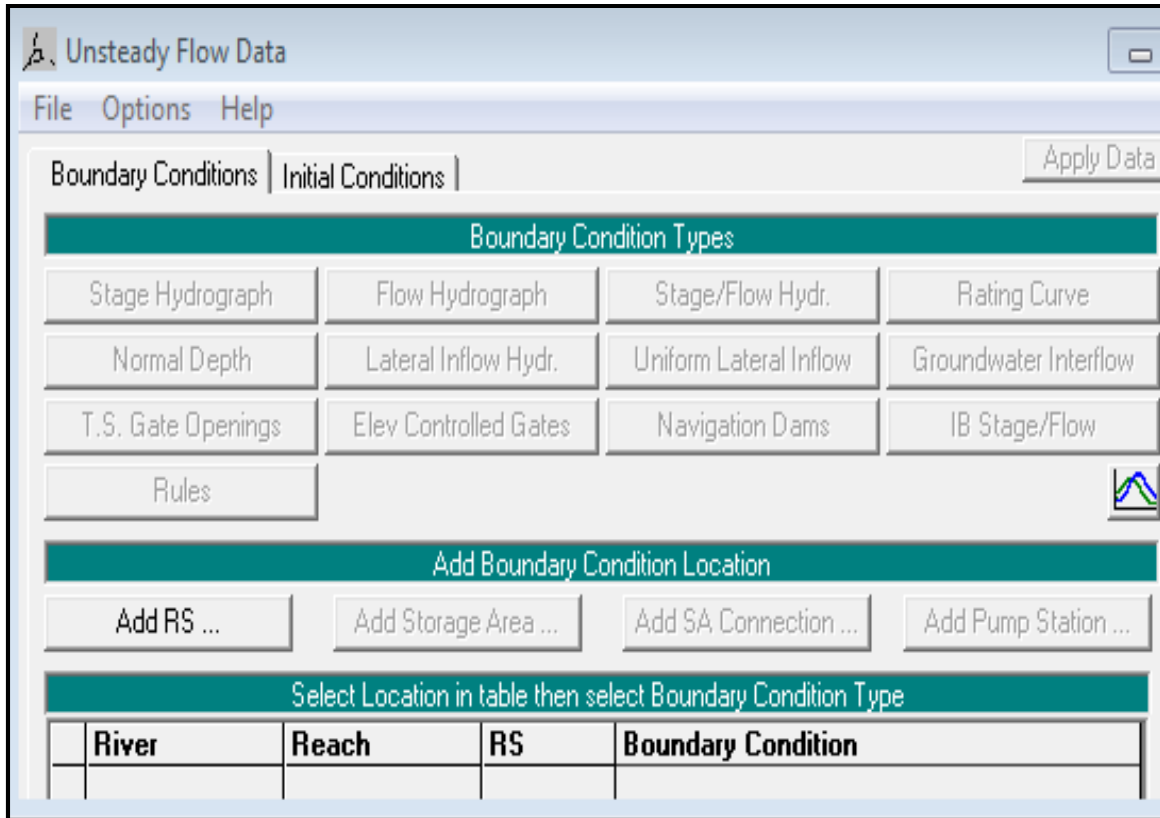


الشكل (8-3). البيانات المطلوبة للجريان المستقر

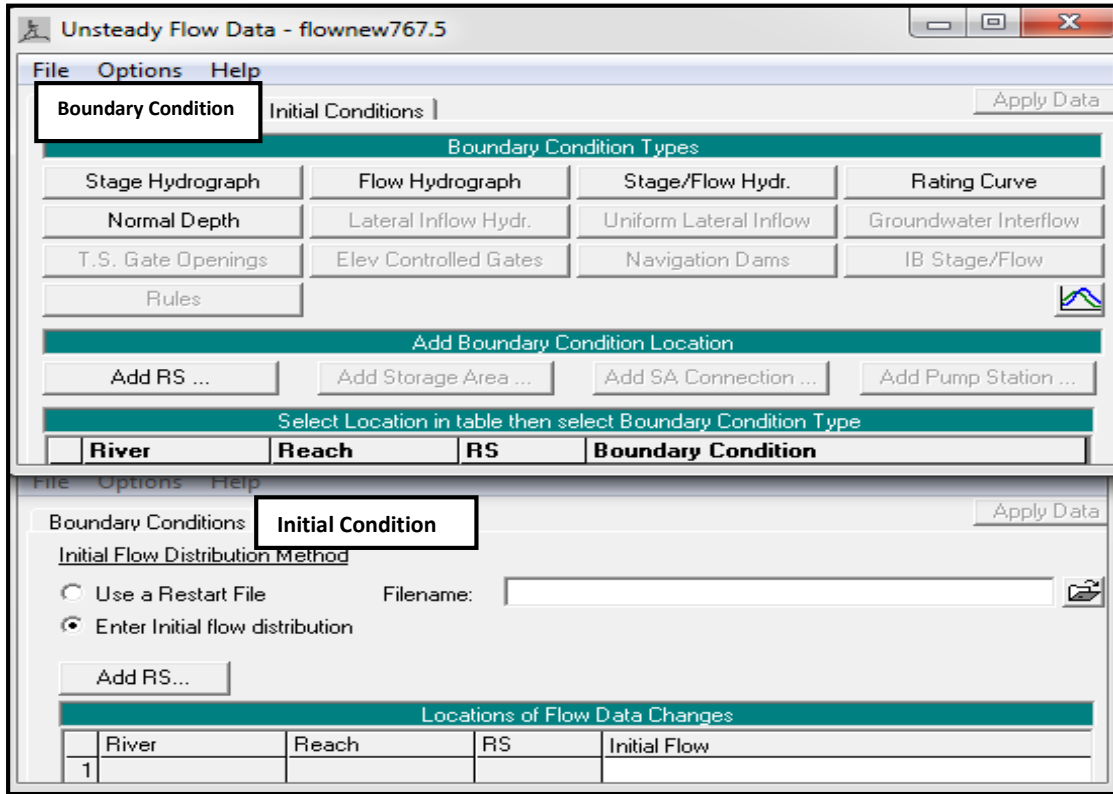


الشكل (9-3). الشروط المحيطة للجريان المستقر

ب. بيانات الجريان الغير مستقر والشروط البدائية المحيطة التابعة لها، الشكل (10-3)، والشكل (11-3).

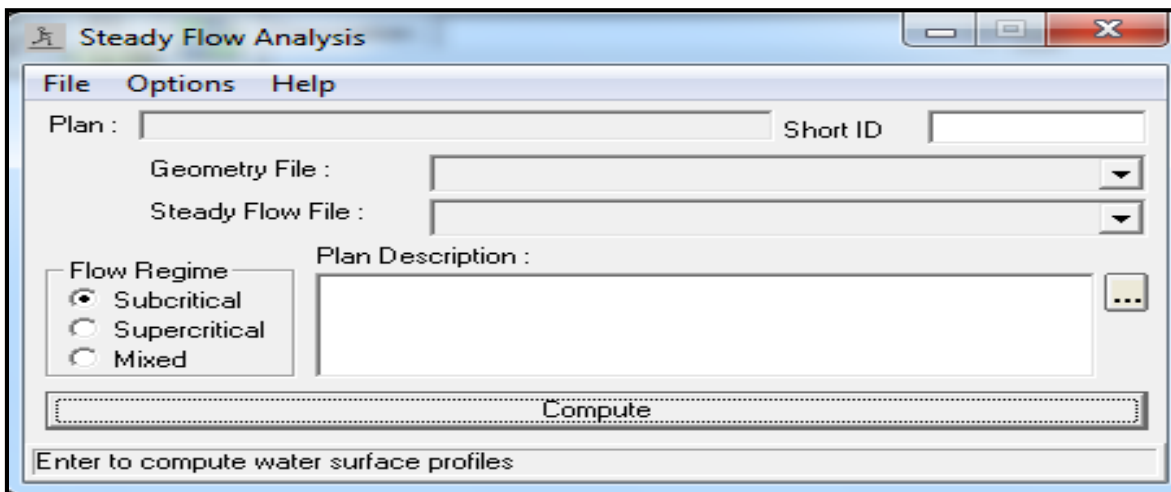


الشكل (10-3). البيانات المطلوبة للجريان الغير مستقر



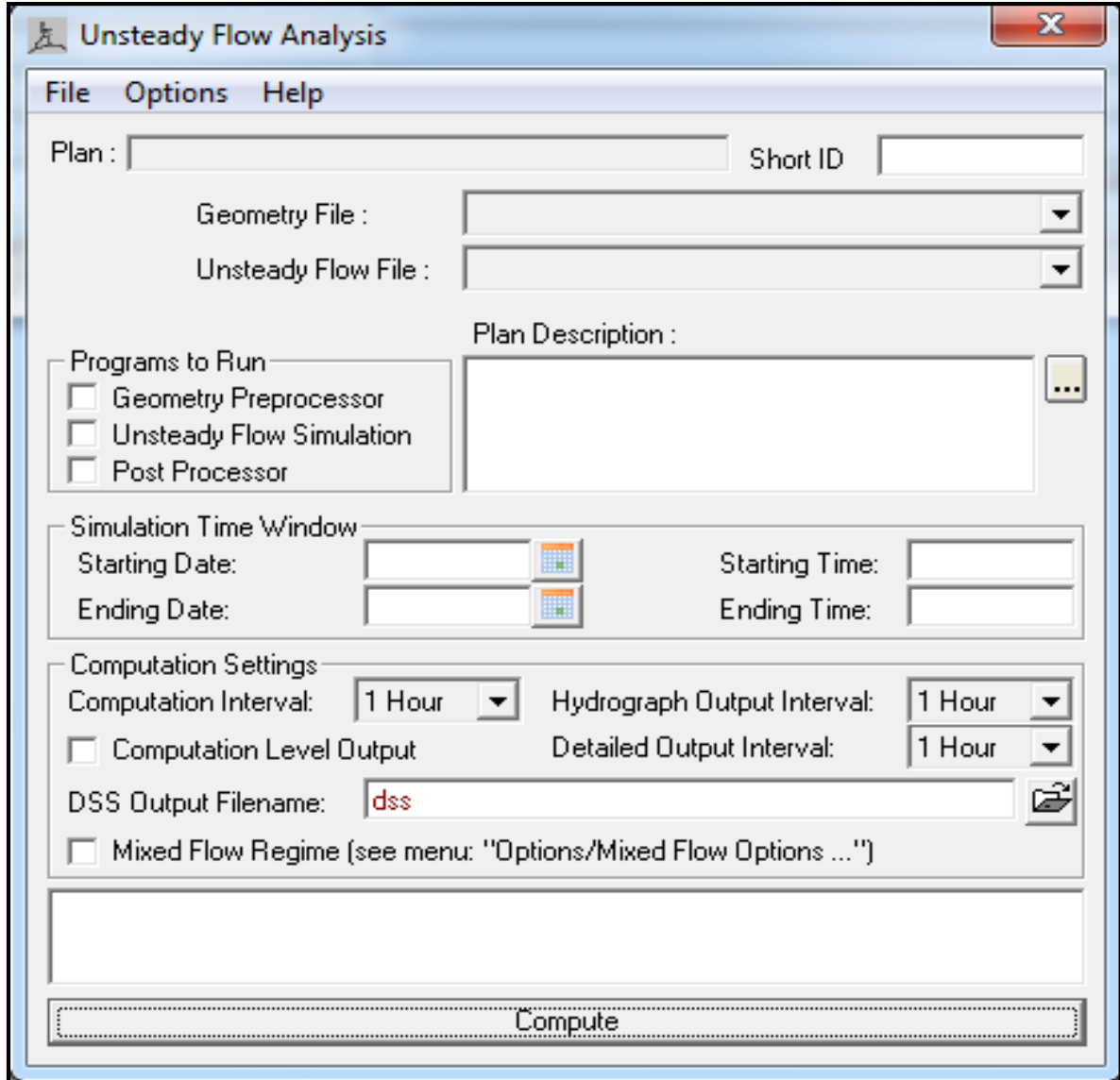
الشكل (3-11) الشروط البدائية والحدية للجريان الغير مستقر

- إجراء الحسابات الهيدروليكية (Performing the hydraulic calculations): بعد إدخال كافة البيانات الهندسية وبيانات الجريان التابعة لها نقوم بإجراء الحسابات الهيدروليكية الشكل (3-12)، والشكل (3-13).



الشكل (3-12) نافذة الحسابات الهيدروليكية للجريان المستقر

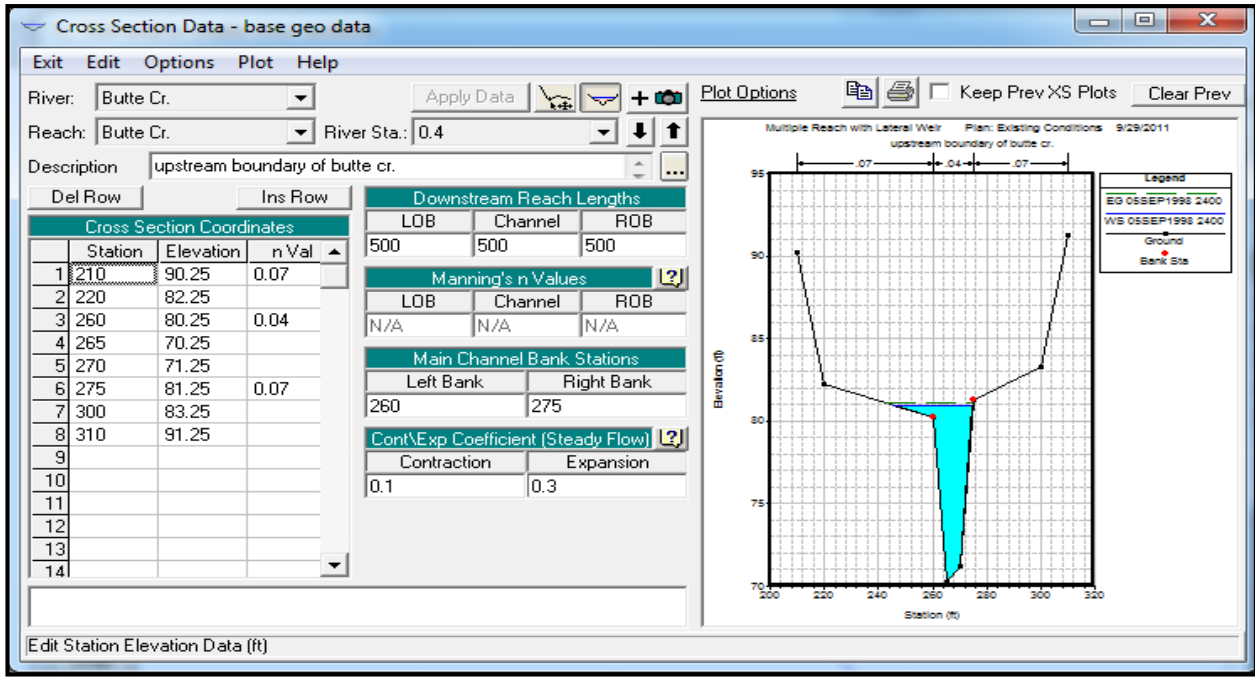




الشكل (13-3). نافذة الحسابات الهيدروليكية للجريان الغير المستقر

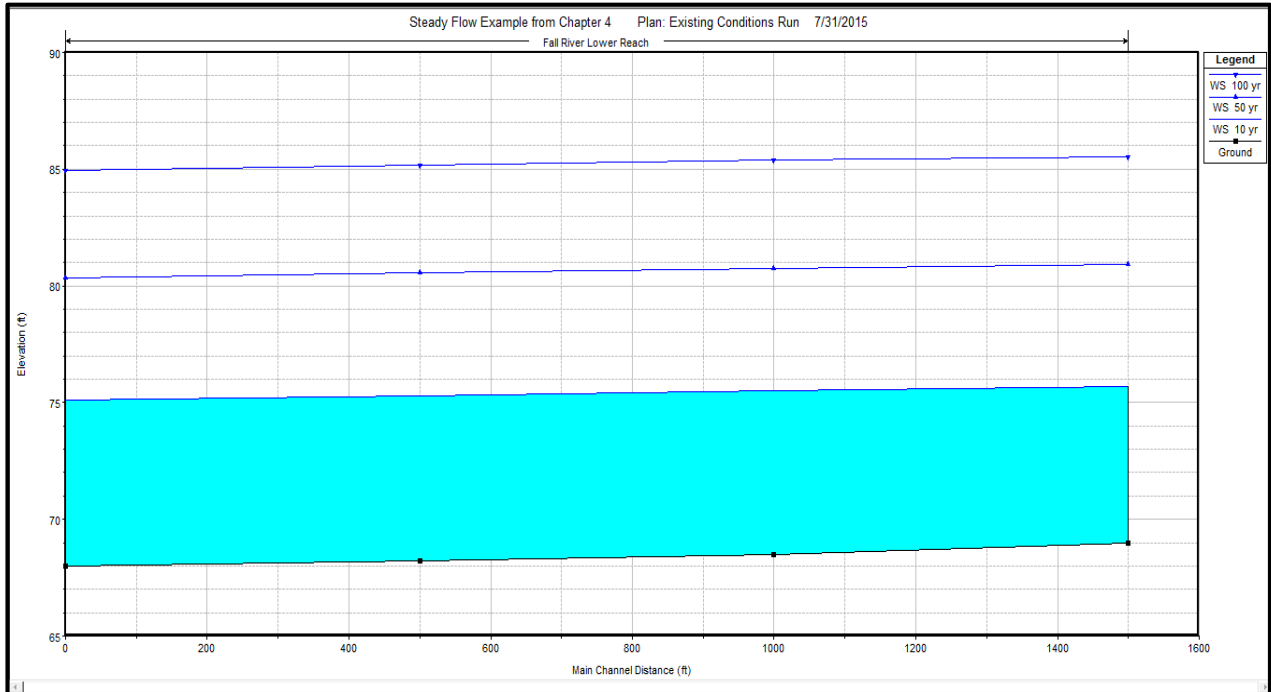
• إظهار النتائج (Viewing Results):

1. إظهار المقاطع العرضية (Cross Section)، الشكل (14-3) يوضح منسوب الماء ومنسوب الضفاف ومعامل مانينغ وإحداثيات المقطع العرضي إضافة إلى العديد من المتغيرات التي يمكن إظهارها بشكل اختياري.

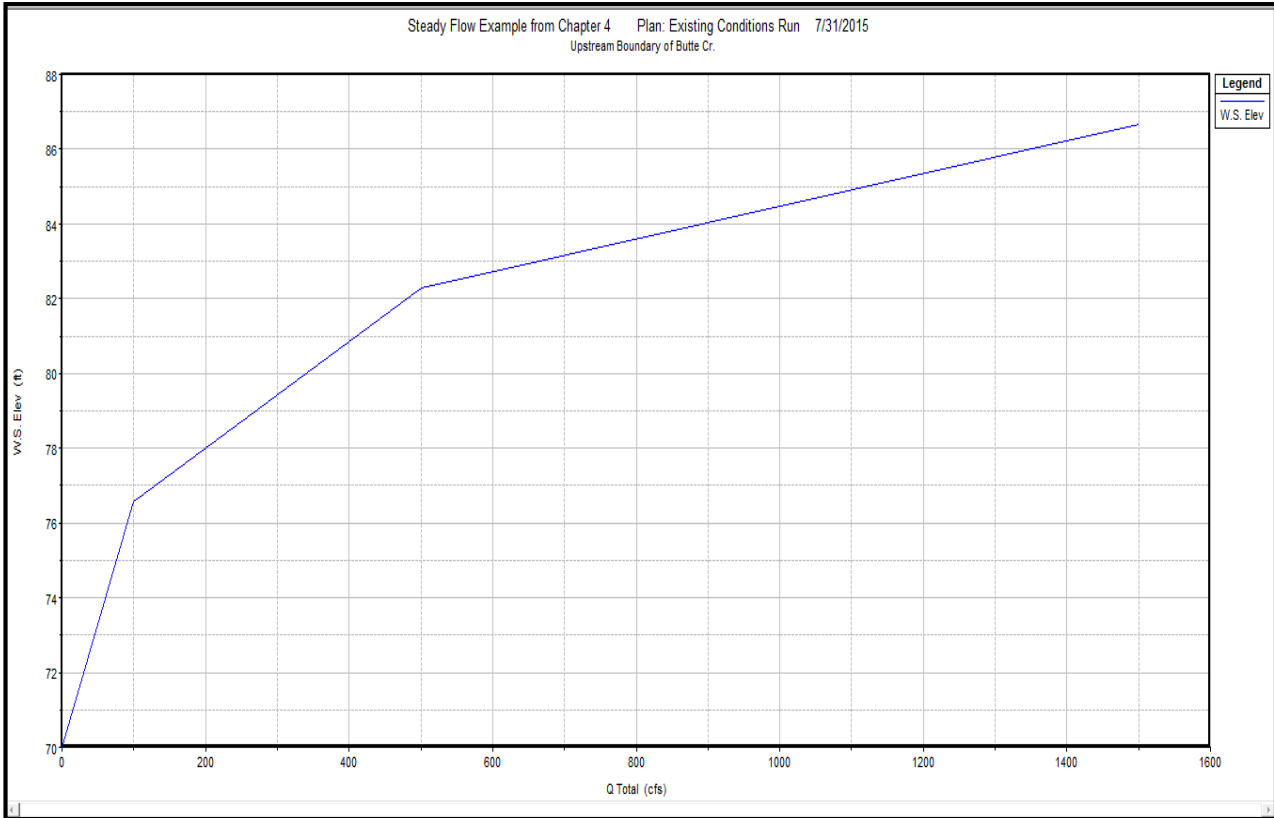


الشكل (3-14). المقاطع العرضية

- إظهار المقاطع الطولية (Profile Plot)، الشكل (3-15) يوضح مناسيب المياه والمنشآت المقامة على طول المجرى المائي إضافة إلى العديد من المتغيرات التي يمكن إظهارها بشكل اختياري.
- إظهار منحنى التصريف والمنسوب مع الزمن (Rating Curve) الشكل (3-16).

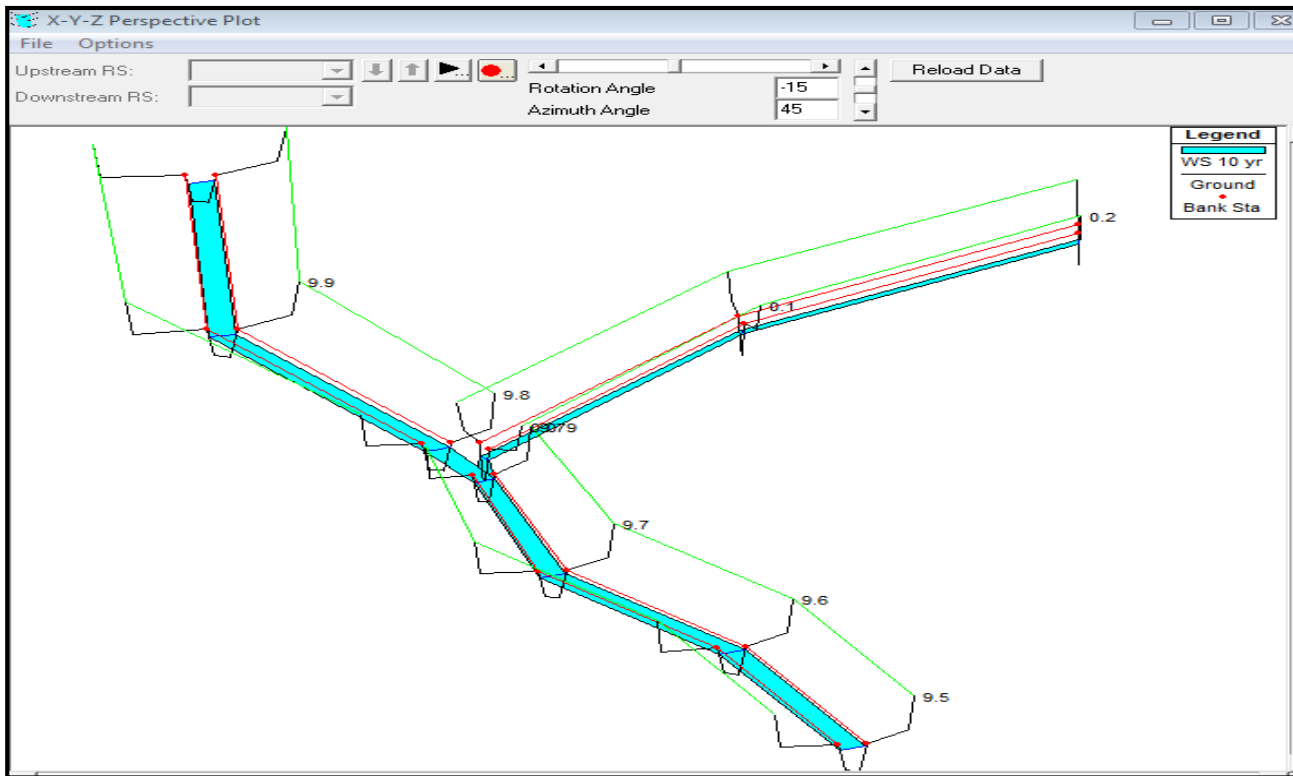


الشكل (3-15) المقاطع الطولية



الشكل (16-3). منحنى التصريف والمنسوب مع الزمن

4. إظهار مناطق الغمر على مخطط ثلاثي أبعاد (x-y-z Perspective Plot) وزمن وصول موجة الفيضان الشكل (17-3).



الشكل (17-3). مقطع ثلاثي بعد للمنطقة المدروسة

5. إظهار كافة النتائج المطلوبة على شكل جداول (غزارات، مناسيب، مساحات، سرعة، ... الخ)، الشكل (18-3).

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: flow without River: mainkodana Reach: kodanaone Profile: Max WS Reload Data

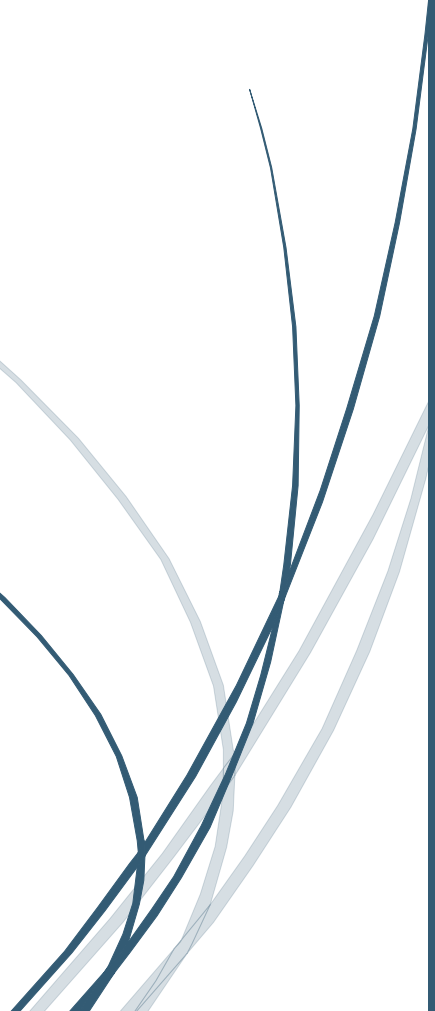
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
kodanaone	10837.77	Max WS	447.39	743.53	768.29		768.29	0.000000	0.02	25484.25	1929.01	0.00
kodanaone	10813.7*	Max WS	447.30	743.46	768.29		768.29	0.000000	0.02	25719.61	1929.01	0.00
kodanaone	10789.8*	Max WS	447.65	743.39	768.29		768.29	0.000000	0.02	25955.49	1929.01	0.00
kodanaone	10765.8*	Max WS	448.94	743.32	768.29		768.29	0.000000	0.02	26190.78	1929.01	0.00
kodanaone	10741.8*	Max WS	447.14	743.24	768.29		768.29	0.000000	0.02	26426.21	1929.01	0.00
kodanaone	10717.8*	Max WS	446.94	743.17	768.29		768.29	0.000000	0.02	26661.96	1929.01	0.00
kodanaone	10693.8*	Max WS	448.82	743.10	768.29		768.29	0.000000	0.02	26897.34	1929.01	0.00
kodanaone	10669.8*	Max WS	448.56	743.03	768.29		768.29	0.000000	0.02	27132.84	1929.01	0.00
kodanaone	10645.9*	Max WS	448.67	742.96	768.29		768.29	0.000000	0.02	27368.24	1929.01	0.00
kodanaone	10621.9*	Max WS	447.61	742.89	768.29		768.29	0.000000	0.02	27604.09	1929.01	0.00
kodanaone	10597.9*	Max WS	447.70	742.82	768.29		768.29	0.000000	0.02	27839.14	1929.01	0.00
kodanaone	10573.9*	Max WS	448.12	742.74	768.29		768.29	0.000000	0.02	28074.22	1929.01	0.00
kodanaone	10549.9*	Max WS	447.96	742.67	768.29		768.29	0.000000	0.02	28309.49	1929.01	0.00
kodanaone	10525.9*	Max WS	447.53	742.60	768.29		768.29	0.000000	0.02	28545.38	1929.01	0.00
kodanaone	10502	Max WS	447.77	742.53	768.29		768.29	0.000000	0.02	28781.25	1929.01	0.00
kodanaone	10478.0*	Max WS	447.75	742.37	768.29		768.29	0.000000	0.02	29496.49	1963.53	0.00
kodanaone	10454.1*	Max WS	447.82	742.21	768.29		768.29	0.000000	0.02	30226.01	1993.01	0.00
kodanaone	10430.2*	Max WS	447.65	742.05	768.29		768.29	0.000000	0.02	30966.95	2022.31	0.00
kodanaone	10406.3*	Max WS	447.49	741.89	768.29		768.29	0.000000	0.02	31719.69	2051.30	0.00
kodanaone	10382.3*	Max WS	447.50	741.73	768.29		768.29	0.000000	0.01	32485.21	2080.04	0.00
kodanaone	10358.4*	Max WS	447.29	741.57	768.29		768.29	0.000000	0.01	33262.14	2108.51	0.00
kodanaone	10334.5*	Max WS	447.52	741.42	768.29		768.29	0.000000	0.01	34050.90	2131.91	0.00
kodanaone	10310.6*	Max WS	447.79	741.26	768.29		768.29	0.000000	0.01	34854.13	2157.28	0.00
kodanaone	10286.6*	Max WS	447.99	741.10	768.29		768.29	0.000000	0.01	35668.71	2188.52	0.00
kodanaone	10262.7*	Max WS	447.47	740.94	768.29		768.29	0.000000	0.01	36494.43	2220.04	0.00
kodanaone	10238.8*	Max WS	447.41	740.78	768.29		768.29	0.000000	0.01	37330.59	2251.80	0.00
kodanaone	10214.9*	Max WS	447.26	740.62	768.29		768.29	0.000000	0.01	38179.51	2283.64	0.00
kodanaone	10190.9*	Max WS	447.82	740.46	768.29		768.29	0.000000	0.01	39043.49	2315.77	0.00
kodanaone	10167.06	Max WS	447.53	740.30	768.29		768.29	0.000000	0.01	39915.67	2348.05	0.00
kodanaone	10119.6*	Max WS	447.66	740.25	768.29		768.29	0.000000	0.01	41822.70	2408.72	0.00
kodanaone	10072.3*	Max WS	446.36	740.21	768.29		768.29	0.000000	0.01	43745.86	2469.25	0.00
kodanaone	10024.9*	Max WS	446.95	740.17	768.29		768.29	0.000000	0.01	45684.54	2529.60	0.00
kodanaone	9977.56*	Max WS	447.45	740.12	768.29		768.29	0.000000	0.01	47636.59	2589.78	0.00
kodanaone	9930.18*	Max WS	446.27	740.08	768.29		768.29	0.000000	0.01	49603.72	2649.64	0.00
kodanaone	9882.81	Max WS	447.30	740.03	768.29		768.29	0.000000	0.01	51589.07	2709.17	0.00
kodanaone	9840.56*	Max WS	446.08	739.82	768.29		768.29	0.000000	0.01	51920.59	2746.45	0.00

Total flow in cross section.

الشكل (18-3) النتائج المجدولة التي نحصل عليها من البرنامج

# الفصل الرابع

توصيف المنطقة المدروسة ومراحل الدراسة



## الفصل الرابع

### توصيف المنطقة المدروسة ومراحل الدراسة

#### 1-4. مقدمة

يبين هذا الفصل مصادر البيانات ومراحل العمل المتبعة في الدراسة بشكل دقيق ومفصل.

#### 2-4. مصادر البيانات والجهات المساعدة

تعتبر البيانات العنصر الأساسي في عملية البحث العلمي ويقدر ما تكون دقيقة نحصل على نتائج أقرب إلى الواقع ويمكن الاستفادة منها، فيما يلي البيانات المستخدمة في الدراسة ومصادرها والتي تشمل معطيات عن سد كودنه في المنطقة.

- خرائط ورقية: تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية في القنيطرة.
- خرائط رقمية: تم الحصول عليها عن طريق إجراء رقمنة للخريطة الورقية باستخدام برنامج الـ GIS.
- بيانات هيدرولوجية: عبارة عن قيم لموجات فيضانية تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية في القنيطرة.
- بيانات عن سد كودنه: تشمل كل ما يتعلق بالسّد من هدف إنشاء وحجم تخزين وارتفاع و...الخ، تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية في دمشق.
- مقاطع عرضية على طول المجرى المائي: تم الحصول عليها من مديرية الموارد المائية في القنيطرة.
- صور جوية: باستخدام برنامج الـ google Earth .

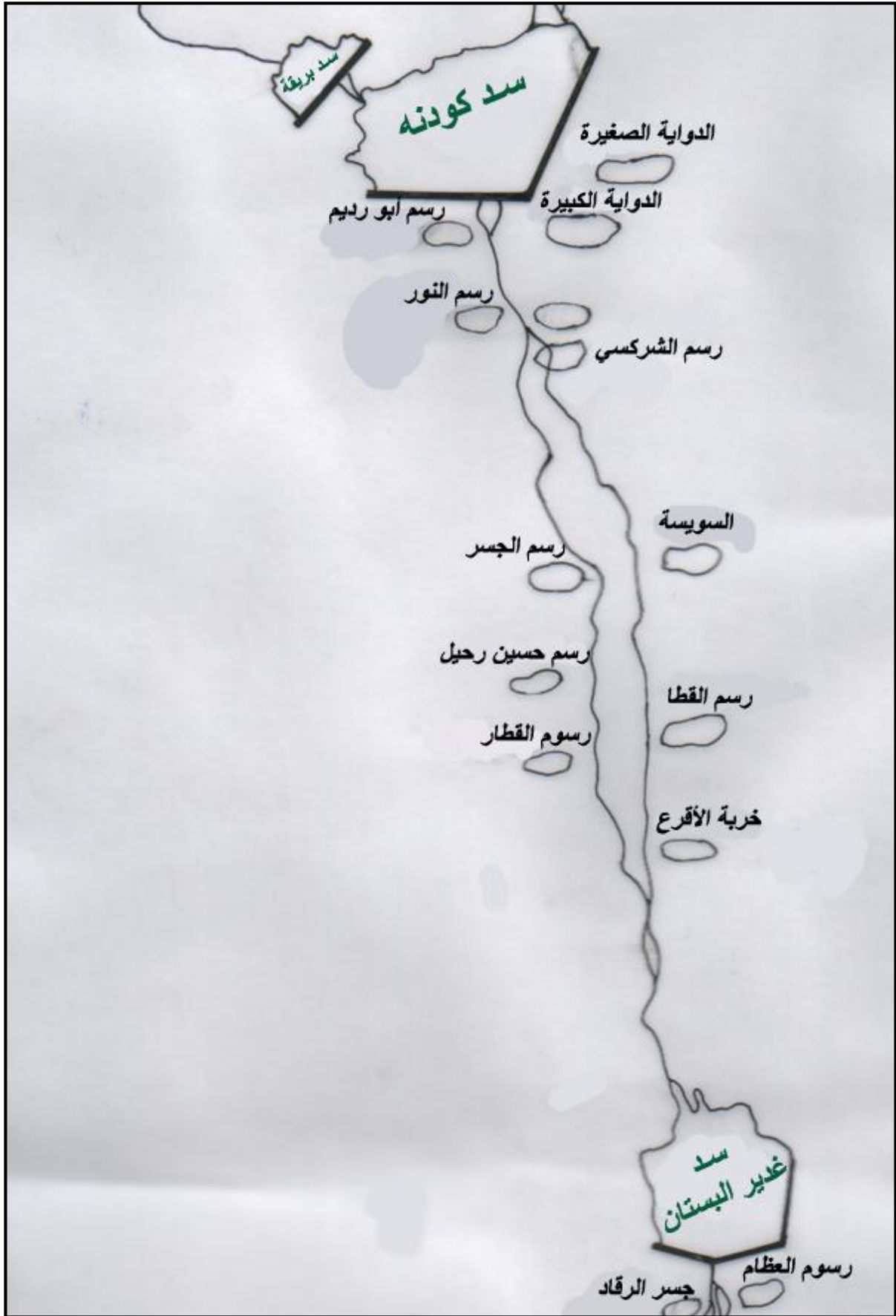
#### 3-4. توصيف المنطقة المدروسة

قمنا بدراسة جزء من حوض اليرموك، يضم المنطقة الواقعة بين سد كودنه وسد غدير البستان والتي هي جزء من وادي الرقاد الشكل (1-4)، وتم التركيز على سد كودنه الذي يقع على بعد (3 - 4) km إلى الشمال الشرقي من البلدة المسمى باسمها، ويقع الحوض المغذي في السفوح الجنوبية لجبل الشيخ. يبلغ الطول الكلي للمجرى المائي المدروس 10 km وتبلغ مساحة الحوض الصباب لسد كودنه 262km<sup>2</sup> ، الشكل (2-4) أما الميل المتوسط للوادي فيبلغ 14.5% والارتفاع الأعظمي 961 m.

يقع ضمن حوض النهر عدد كبير من الوديان الصغيرة ذات الجريان المؤقت طولها من  $km$  (2-1)، أما المناخ في المنطقة فهو متوسطي تحت مداري يتّصف بشتاء بارد ماطر و صيف جاف و طويل ودرجات حرارة مرتفعة، أما بالنسبة للرياح فقد تمّ تقييم نظام الرياح في المنطقة بالاستناد إلى معطيات محطة رصد القنيطرة حيث بلغت سرعة الرياح العظمى  $27 m/s$ .



الشكل (1-4). الحوض الصباب لسد كودنه (1997/9/7)



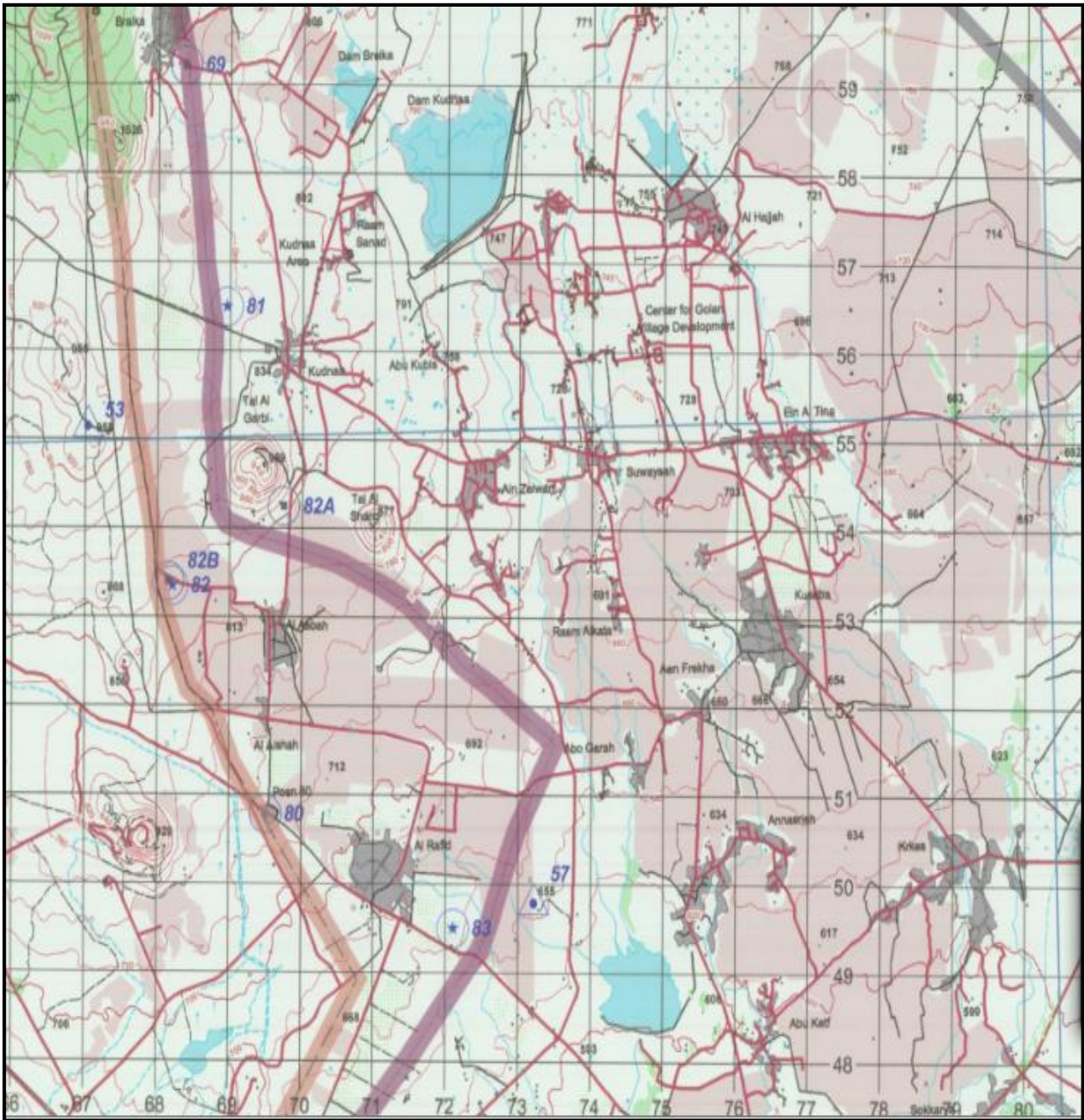
الشكل (2-4). الموقع العام لسد كودنه



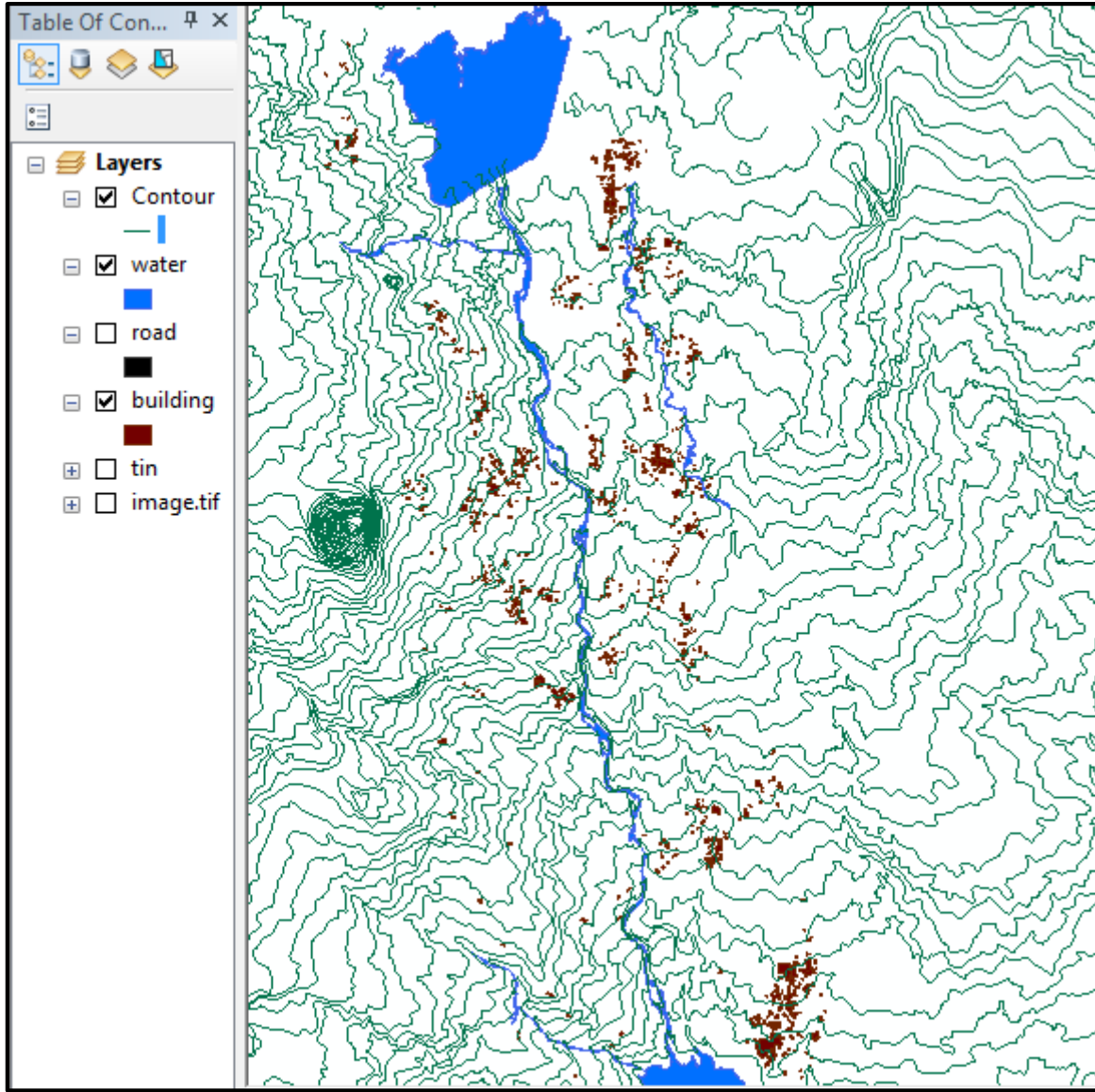
## 4-4. مراحل الدراسة

## 1-4-4. إنشاء النموذج باستخدام برنامج الـ GIS:

بعد الحصول على الخارطة الورقية، الشكل (3-4) من مديرية الموارد المائية في القنيطرة، قمنا برقمتها باستخدام برنامج الـ GIS حيث تحوّلت إلى خارطة رقمية، الشكل (4-4) Digital (Terrain Model)، بعد ذلك تم ادراج كافة المجاري المائية والأبنية والطرق على الخارطة الرقمية، وتعتبر هذه المرحلة أطول مراحل الدراسة [12].



الشكل (3-4). الخارطة الورقية لمنطقة الدراسة



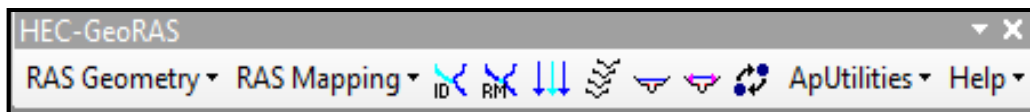
الشكل (4-4). الخريطة الرقمية للمنطقة المدروسة

#### 2-4-4. معالجة البيانات باستخدام شريط الأدوات الـ Hec-GeoRas:

مراحل العمل المتبعة باستخدام شريط الأدوات الـ Hec-GeoRas للحصول على بيانات جاهزة للتصدير

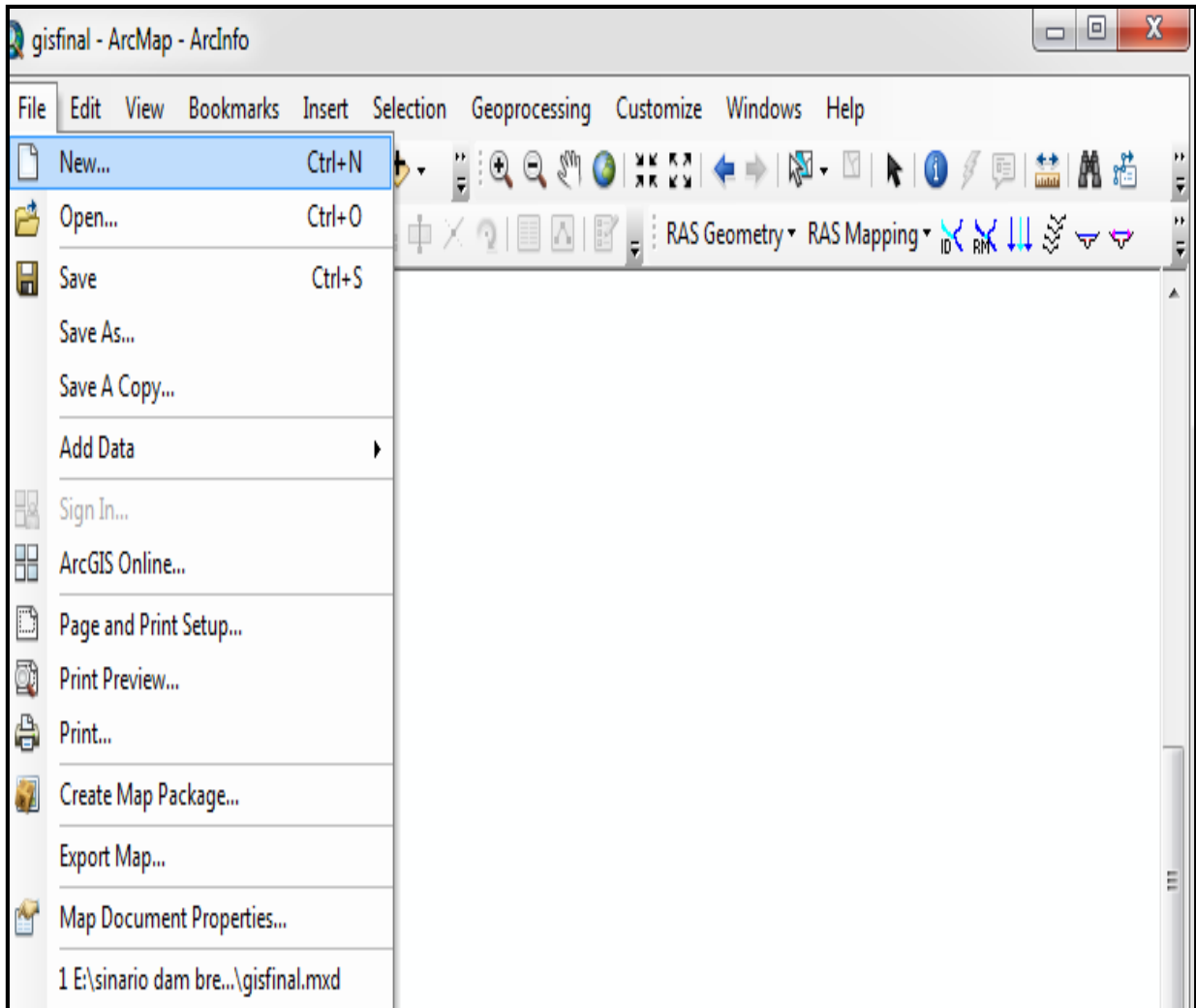
إلى برنامج الـ Hec Ras [12]:

1. تحميل شريط الأدوات الـ Hec-GeoRas. (load Hec-GeoRas)، الشكل (5-4).



الشكل (5-4). شريط الأدوات الـ Hec-GeoRas


2. إنشاء مشروع جديد ضمن برنامج الـ GIS (Start New Project)، الشكل (4-6).

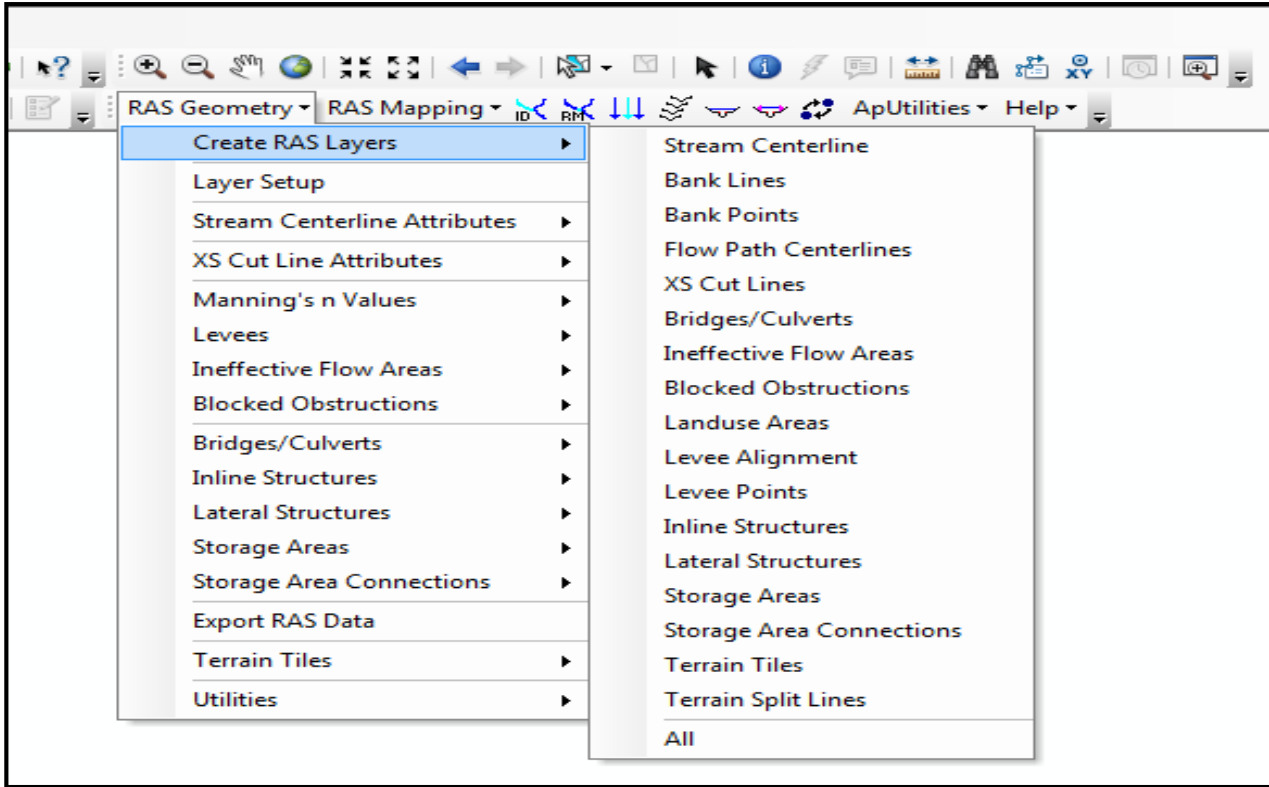


الشكل (4-6). إنشاء مشروع جديد ضمن برنامج الـ GIS

3. إنشاء الطبقات اللازمة للدراسة (Create Ras Layers)، الشكل (4-7)، ثم نرسم كل طبقة على

حدى والطبقات هي:

- رسم مجرى النهر (Stream Centerline)، ثم نستخدم الأداة  لتعريف اسم النهر، الشكل (4-8).

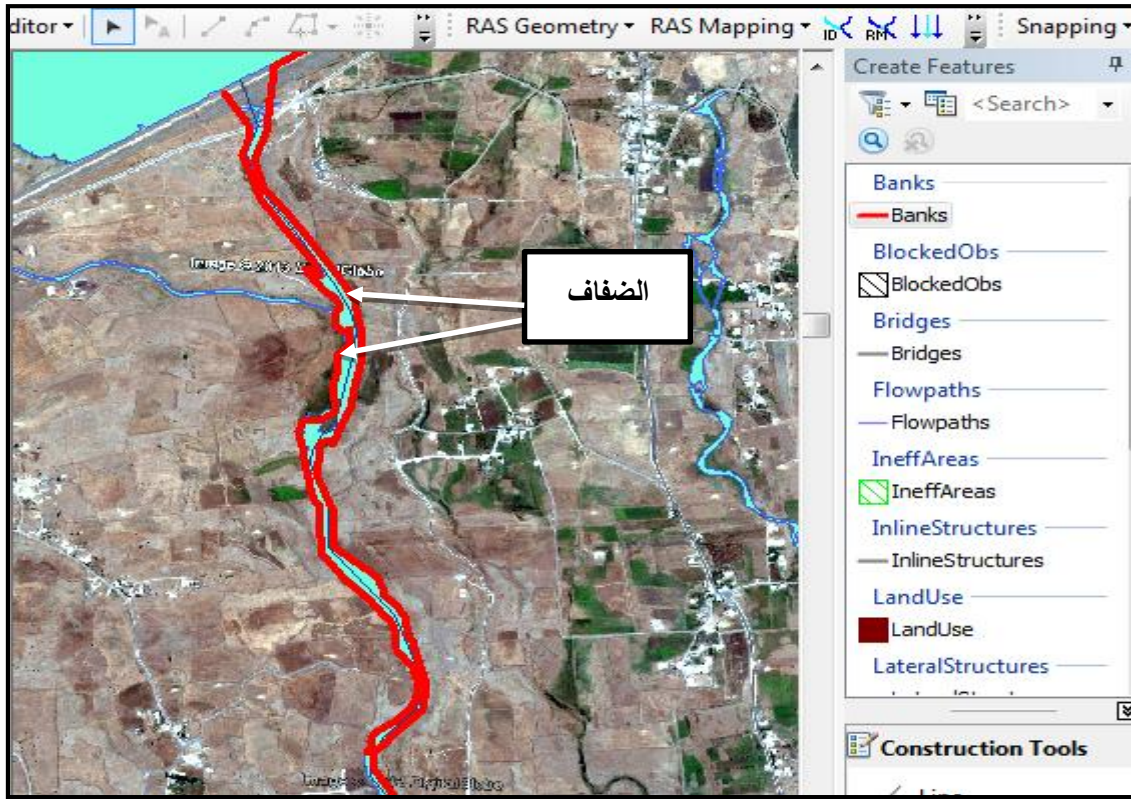


الشكل (7-4). كيفية إنشاء الطبقات اللازمة للدراسة ضمن برنامج الـ GIS



الشكل (8-4). مرحلة رسم مجرى النهر الرئيسي

■ رسم الضفاف (Banks) الشكل (9-4).



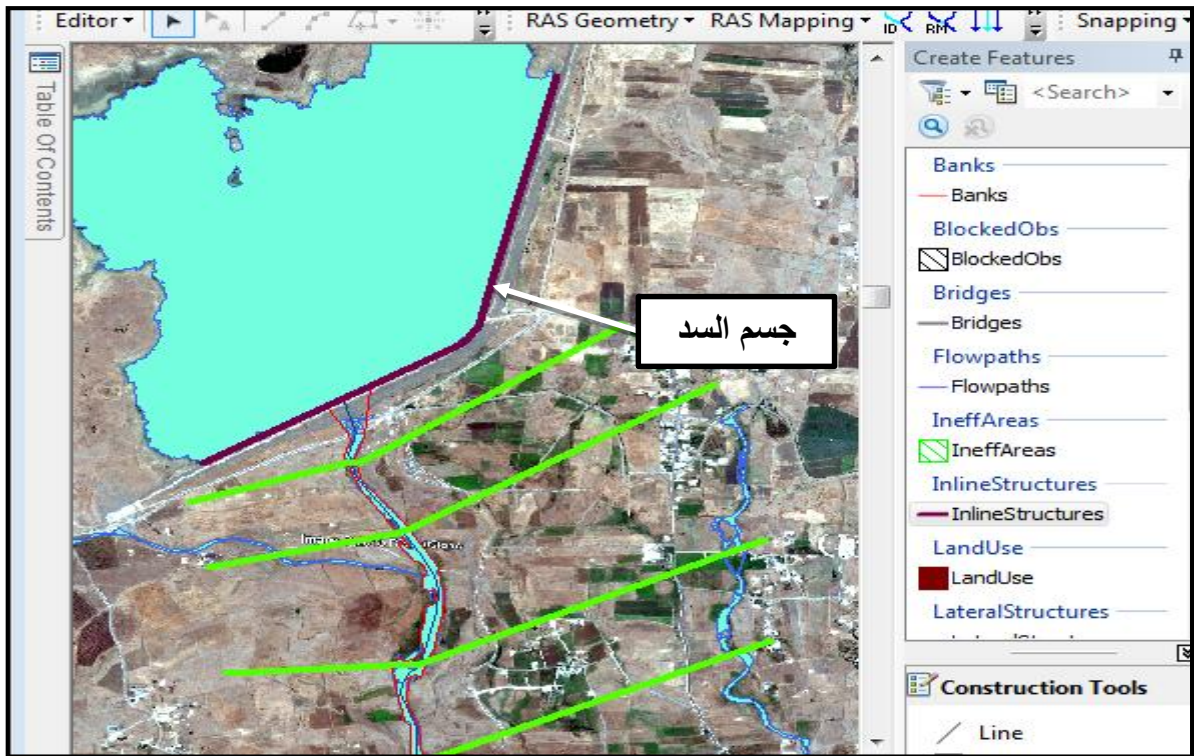
الشكل (9-4). رسم مجرى الضفاف

■ رسم المقاطع العرضية (Cross Section) الشكل (10-4).



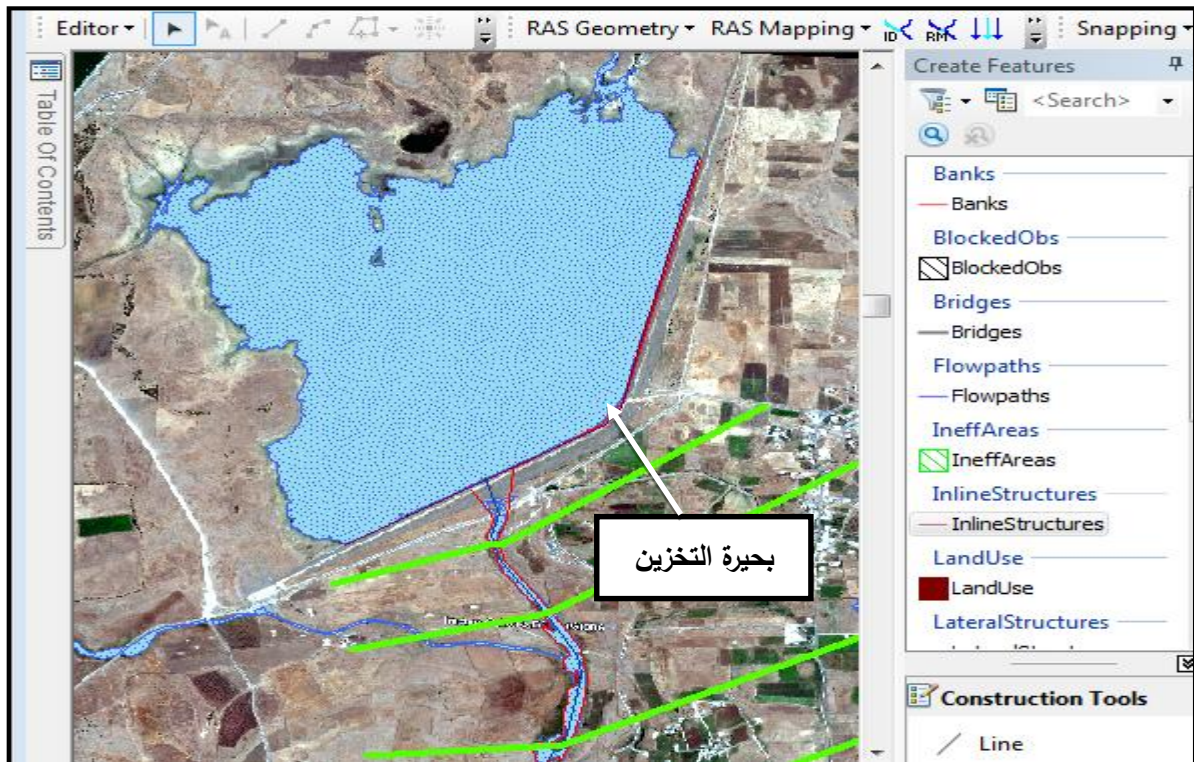
الشكل (10-4). رسم المقاطع العرضية

رسم جسم السد (Inline Structure)، الشكل (11-4).




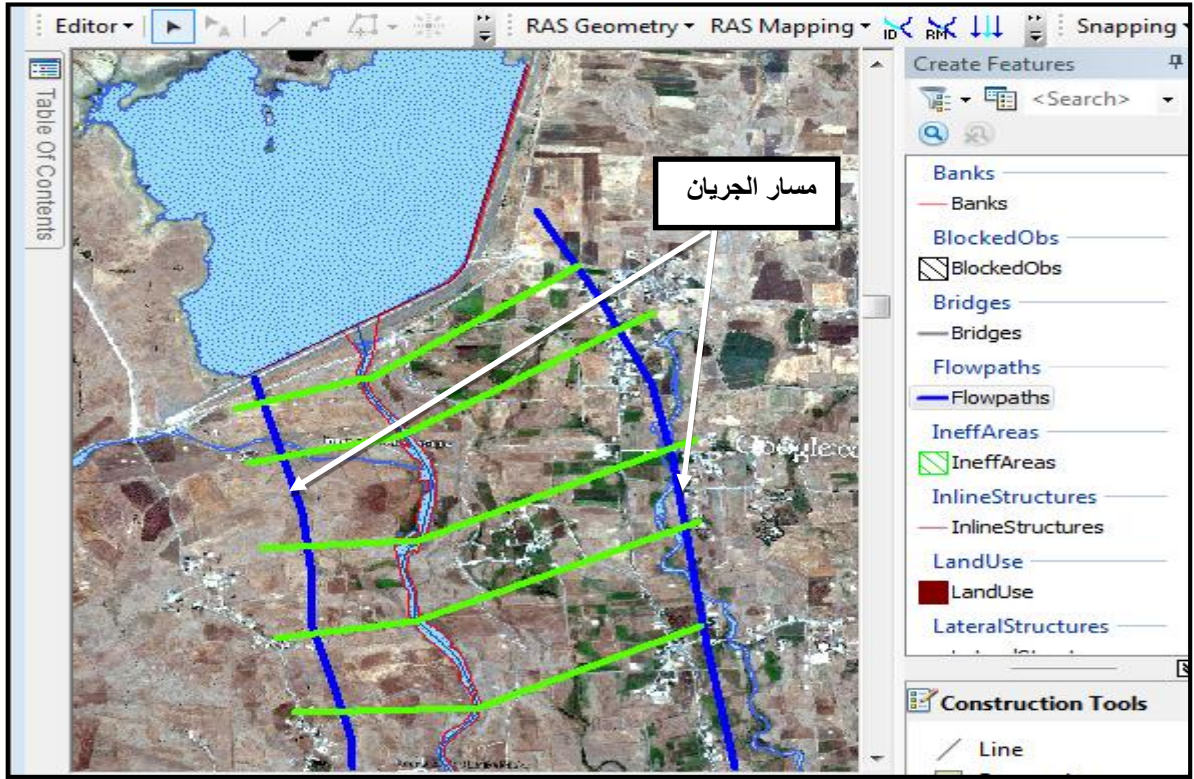
الشكل (11-4). رسم جسم السد

رسم بحيرة التخزين (Storage Area)، الشكل (12-4).



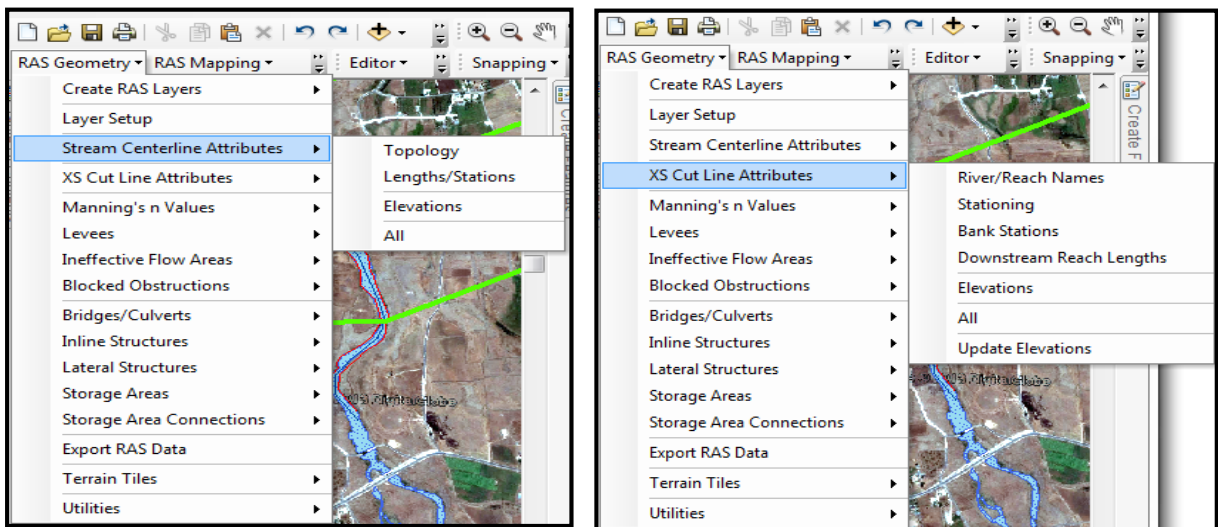
الشكل (12-4). رسم بحيرة التخزين

- رسم مسار الجريان على الضفاف (Flow Path center line)، الشكل (4-13)، ثم نستخدم الأداة  لتحديد مسار مجرى القناة الرئيسي والضفتين اليمنى واليسرى.



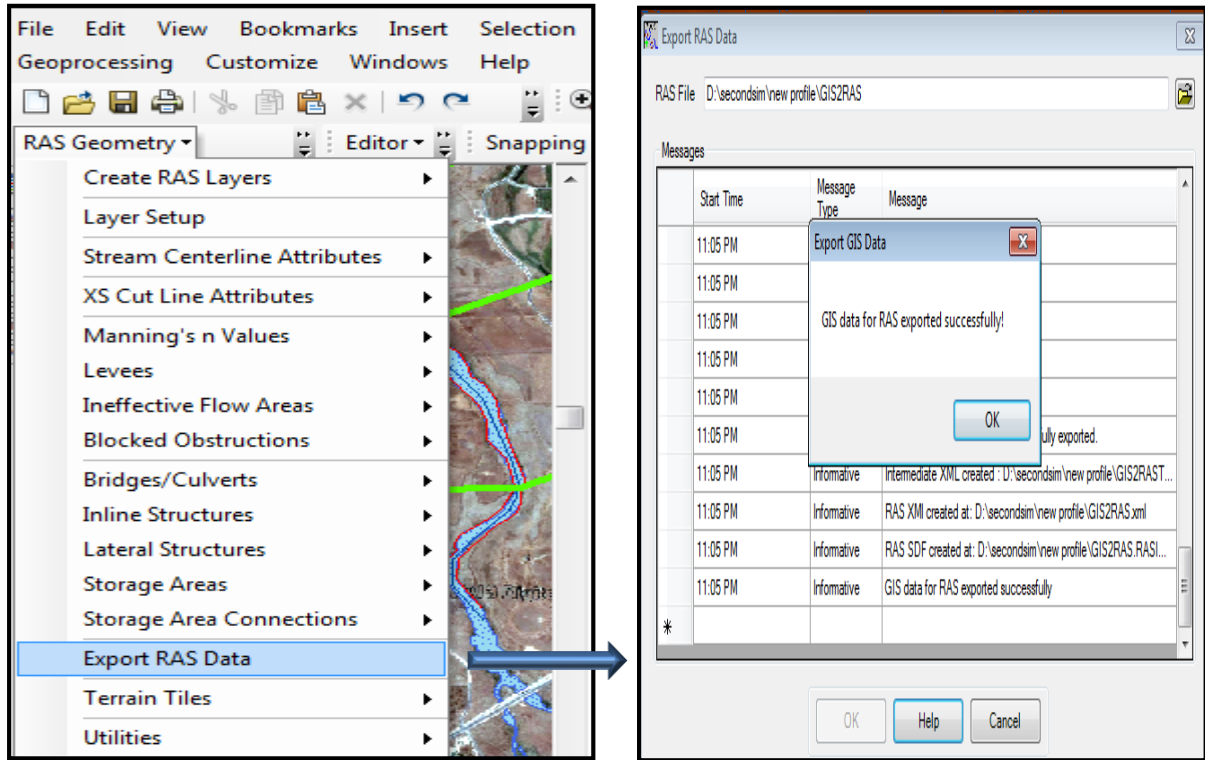
الشكل (4-13). رسم مسار الجريان على الضفاف

- بعد ذلك نقوم بتحويل كل عنصر من عناصر المجرى المائي والضفاف والمقاطع العرضية ومسارات الجريان وبحيرة التخزين وجسم السد من عناصر ثنائية البعد إلى عناصر ثلاثية البعد، الشكل (4-14).



الشكل (4-14). تحويل العناصر ثنائية البعد إلى عناصر ثلاثية البعد

4. إنشاء ملف يمكن تصديره إلى برنامج الـ Hec-Ras (Generate the Ras GIS Import File)،



الشكل (4-15). تصدير البيانات إلى برنامج الـ Hec-Ras

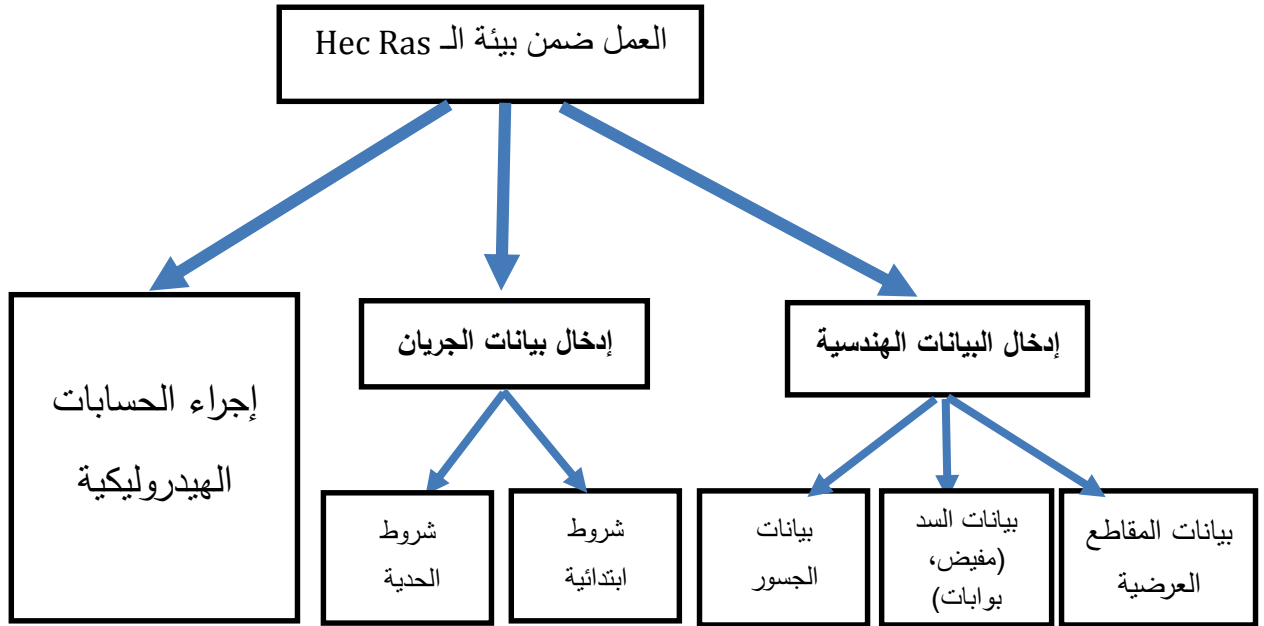
3-4-4. تحليل البيانات باستخدام برنامج الـ Hec Ras

بعد معالجة البيانات ضمن بيئة الـ GIS حصلنا على ملف يستطيع برنامج الـ Hec Ras قراءته، ثم قمنا باستيراد البيانات المطلوبة من هذا الملف، ثم تمت معالجتها ضمن بيئة الـ Hec Ras، الشكل (16-4) فيما يلي خطوات العمل المتبعة:

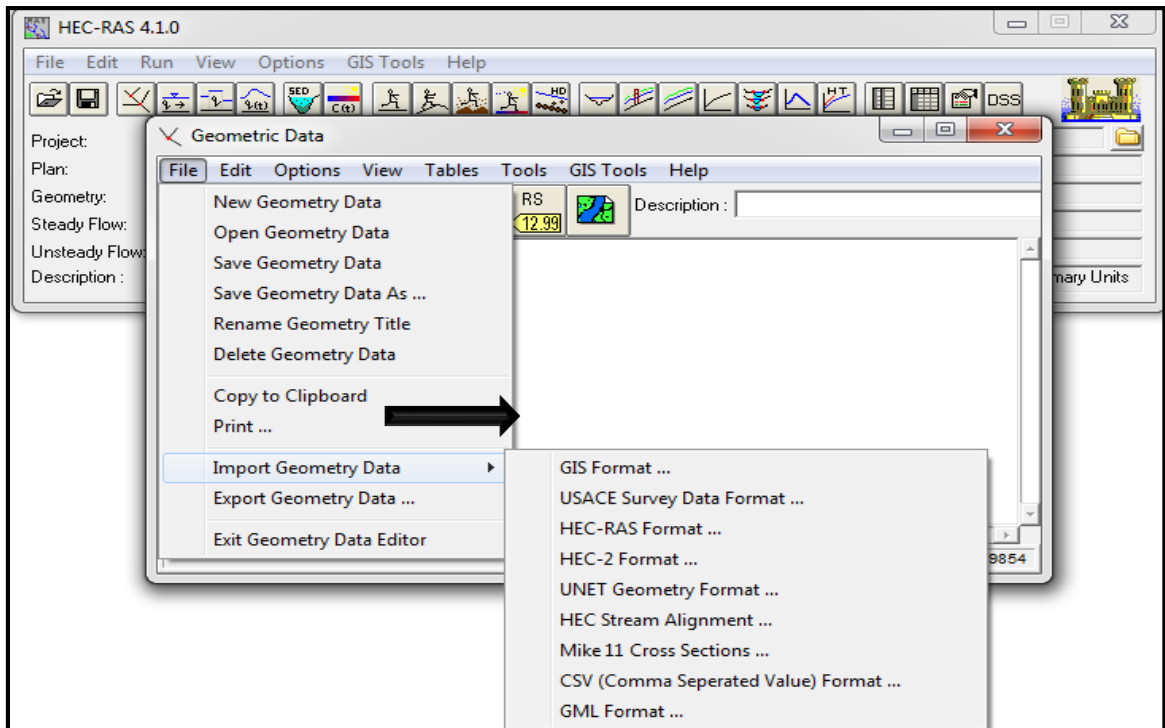
1. إدخال البيانات الهندسية: تم استيرادها من برنامج الـ GIS، الشكل (17-4) تشمل البيانات الهندسية ما يلي:

- بيانات المقاطع العرضية، الشكل (18-4)، تم تكثيف المقاطع العرضية من أجل دقة الحساب عن طريق توليد مقاطع عرضية إضافية. من قائمة tool اخترنا interpolate الشكل (19-4) والشكل (20-4).

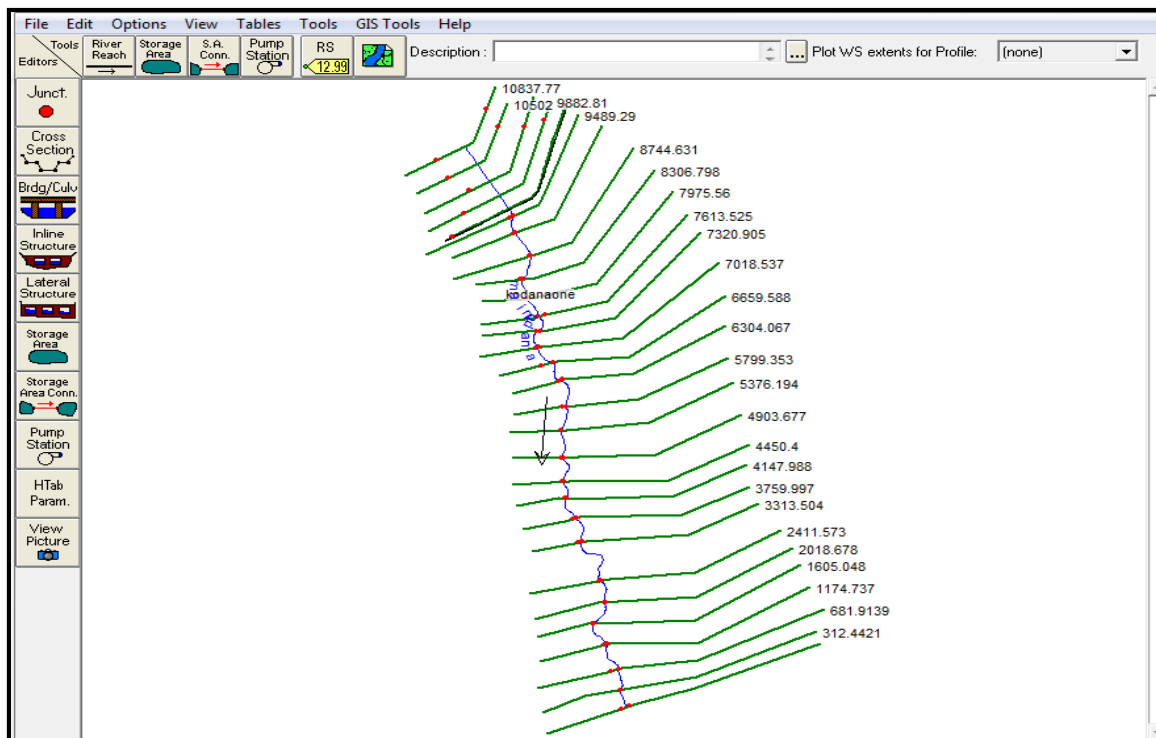




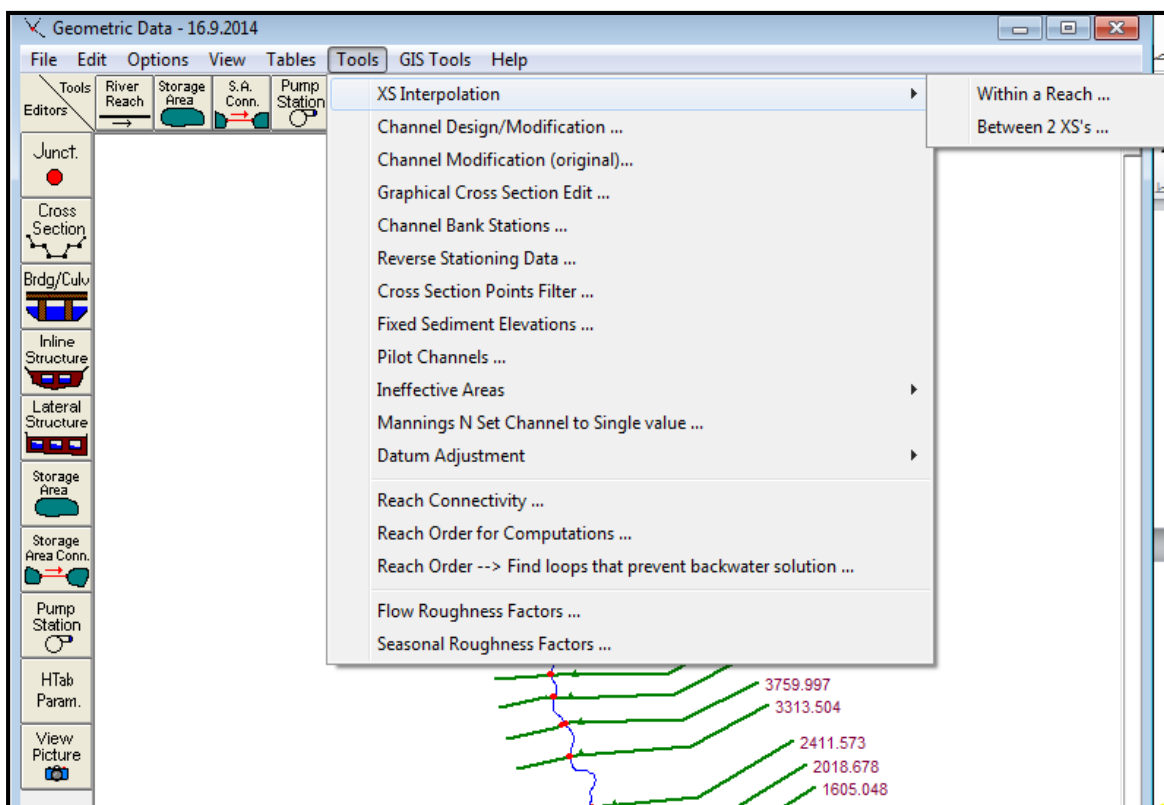
الشكل (4-16). العمل ضمن بيئة الـ Hec Ras



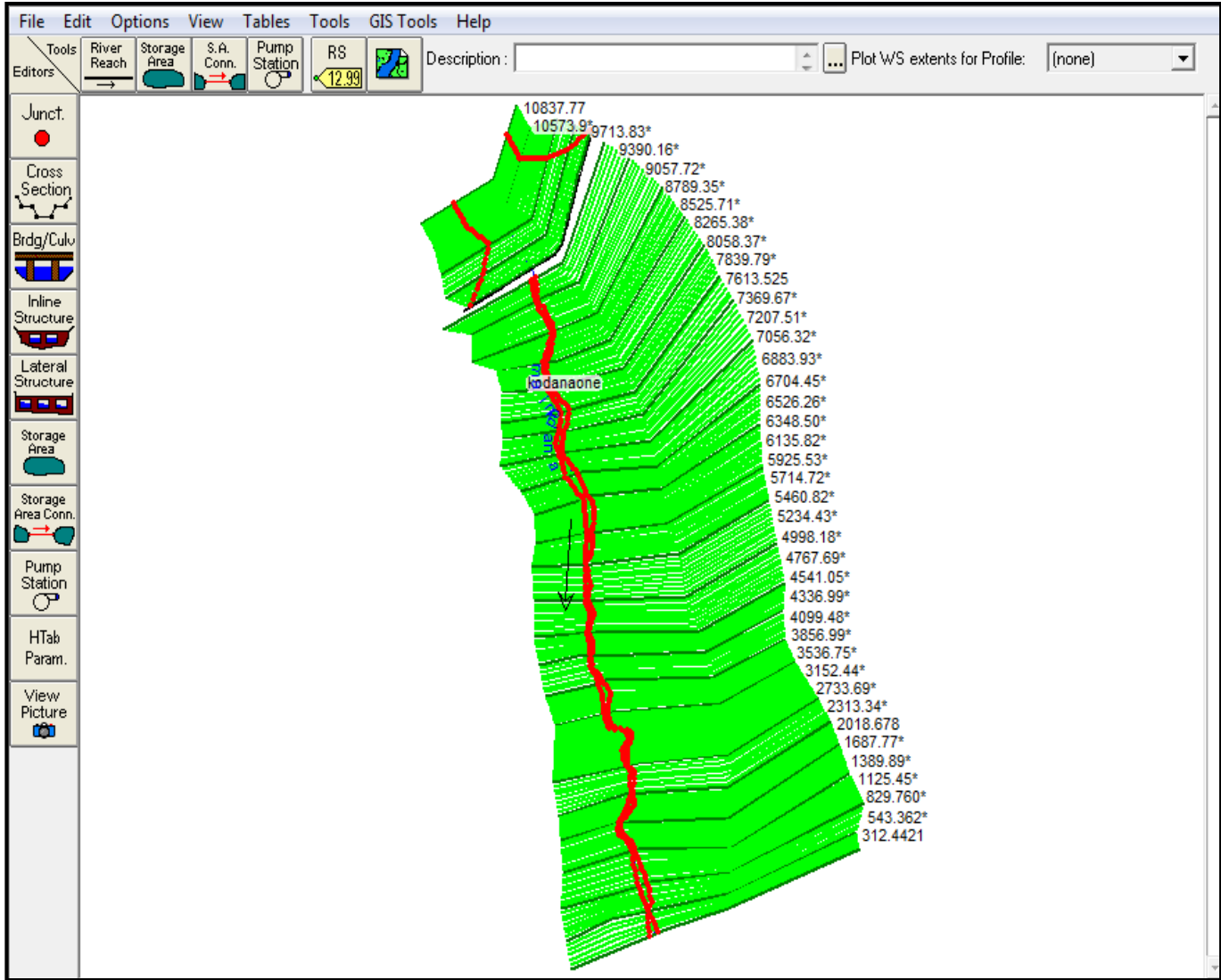
الشكل (4-17). استيراد البيانات الهندسية من برنامج الـ GIS



الشكل (18-4). المقاطع العرضية المستوردة

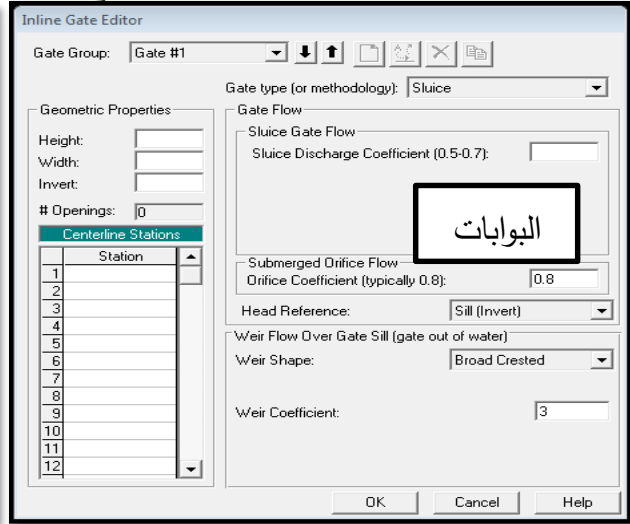
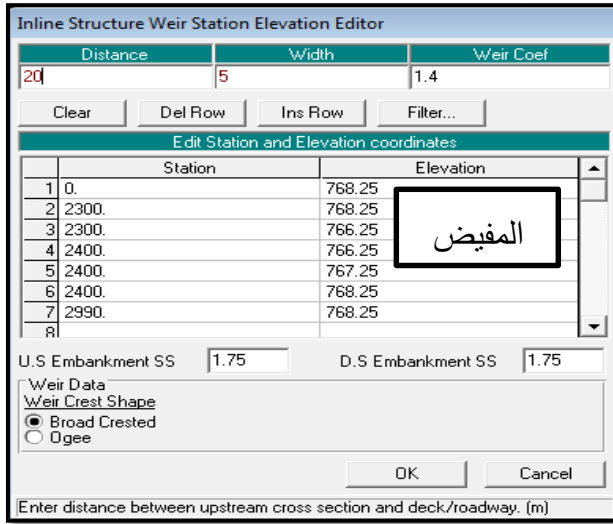
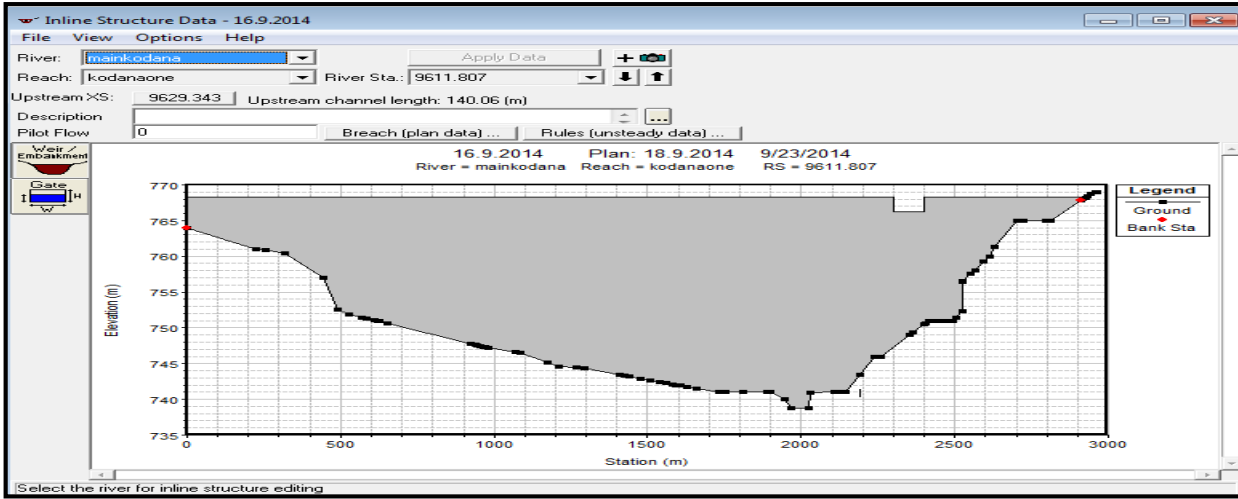


الشكل (19-4). توليد المقاطع العرضية



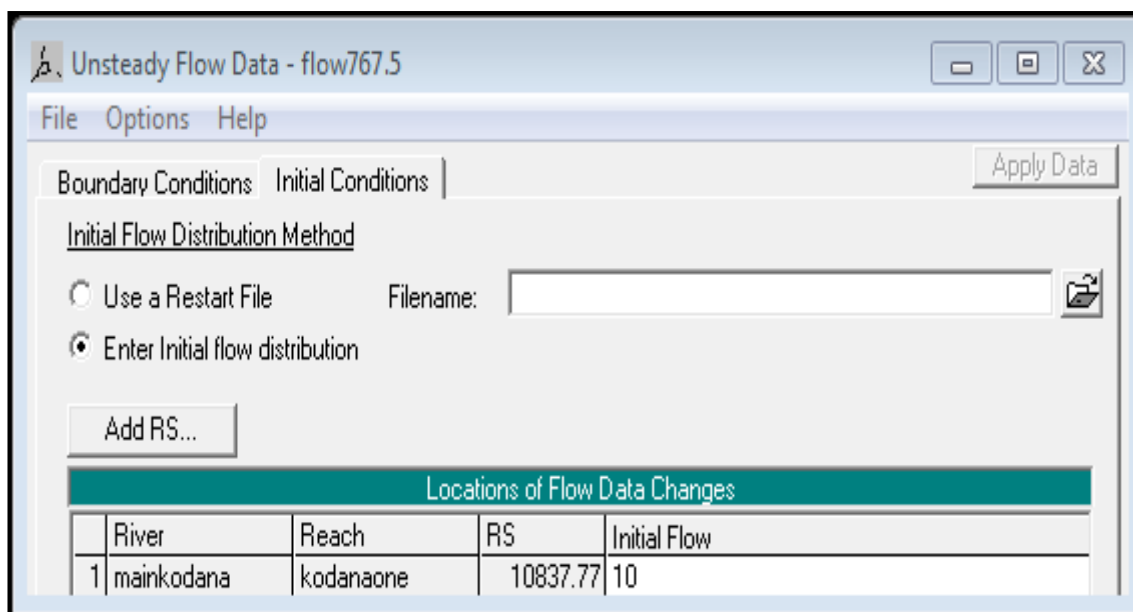
الشكل (4-20). المقاطع العرضية المولدة

- بيانات السد، الشكل (4-21) وتشمل بيانات المفيض وبيانات البوابات، حيث تم إدخال عرض قمة السد وميول السفوح وبعُد السد عن المقطع الذي يسبقه أما بالنسبة للبوابات فلا توجد بوابات على المفيض، وبالنسبة للمفرغ السفلي يمكن إدخاله ضمن بيانات البوابات على اعتبار أنه بوابة صغيرة بارتفاع معين وتتوضع على منسوب معين لكن تم إهماله لعدم تأثيره على النتائج في حالة الانهيار.

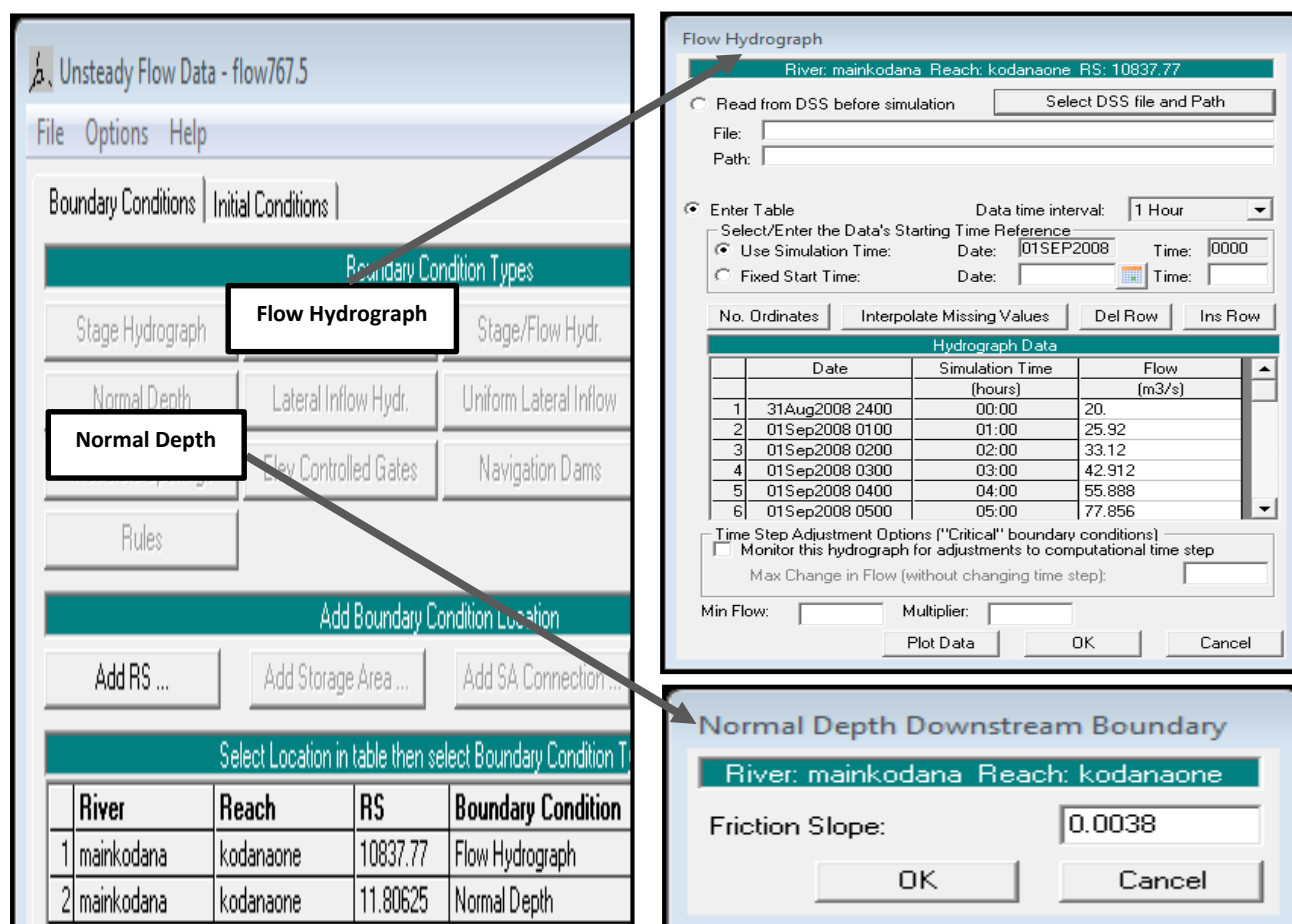


الشكل (4-21). بيانات السد (المفيض، البوابات)

2. إدخال بيانات الجريان: تتضمن بيانات الجريان الشروط الحدية والشروط الابتدائية للنموذج، بما أن المجرى المائي المدروس ليس مجرى دائم الجريان فقد وضعنا شرط بدائي وهو مرور غزارة قدرها  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  كوسطي للغزارات التي تمر بالمجرى المائي سنويا الشكل (4-22)، ووضعنا علاقة الغزارة مع الزمن كشرط حدي في أعلى المجرى المائي وهي عبارة عن الموجة الفيضانية التي تمر كل 1000 سنة مرة، أما في أسفل المجرى وضعنا العمق النظامي كشرط حدي الشكل (4-23).

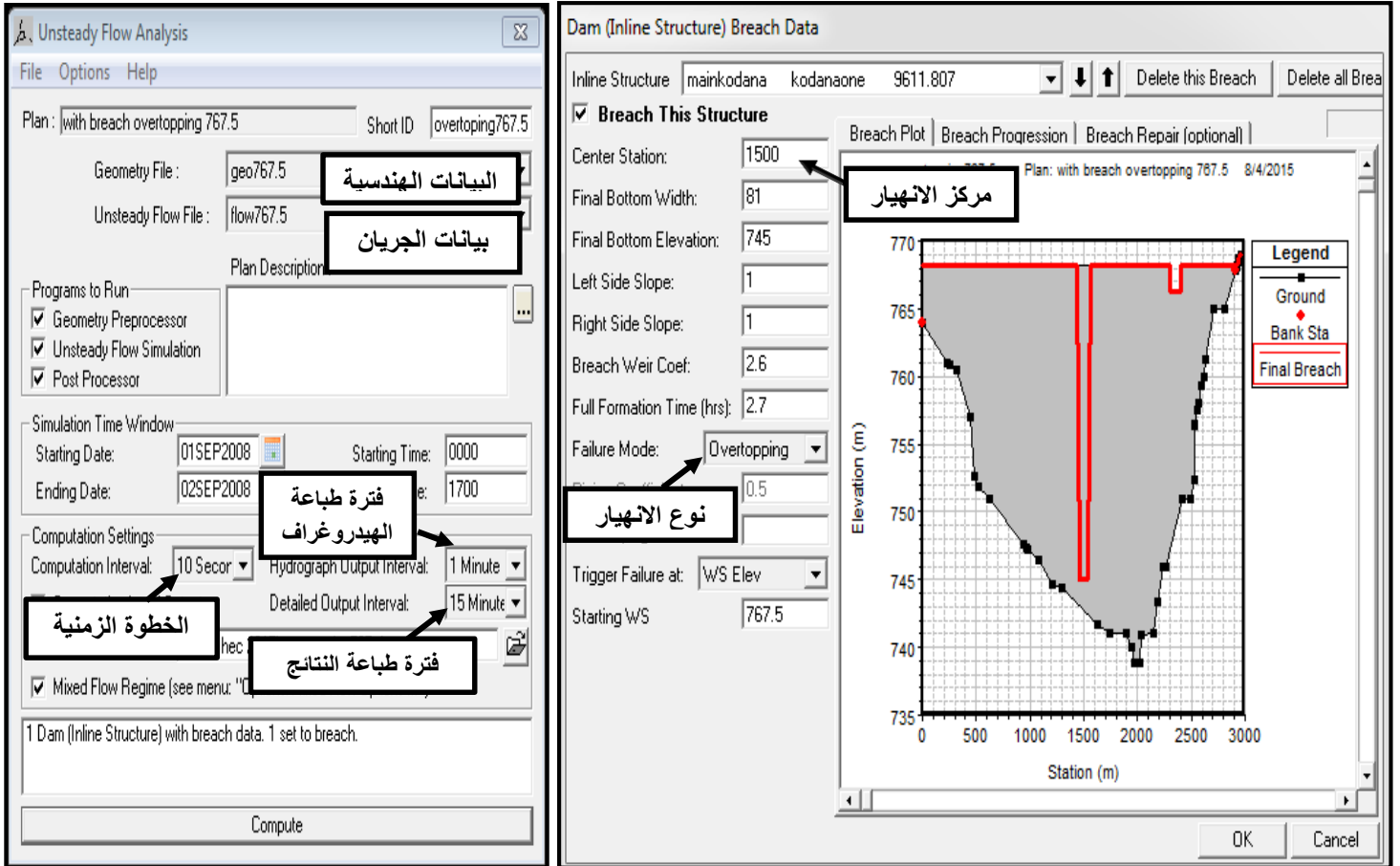


الشكل (22-4). بيانات الجريان الغير مستقر (الشروط البدائية)



الشكل (23-4). بيانات الجريان الغير مستقر (الشروط الحدية)

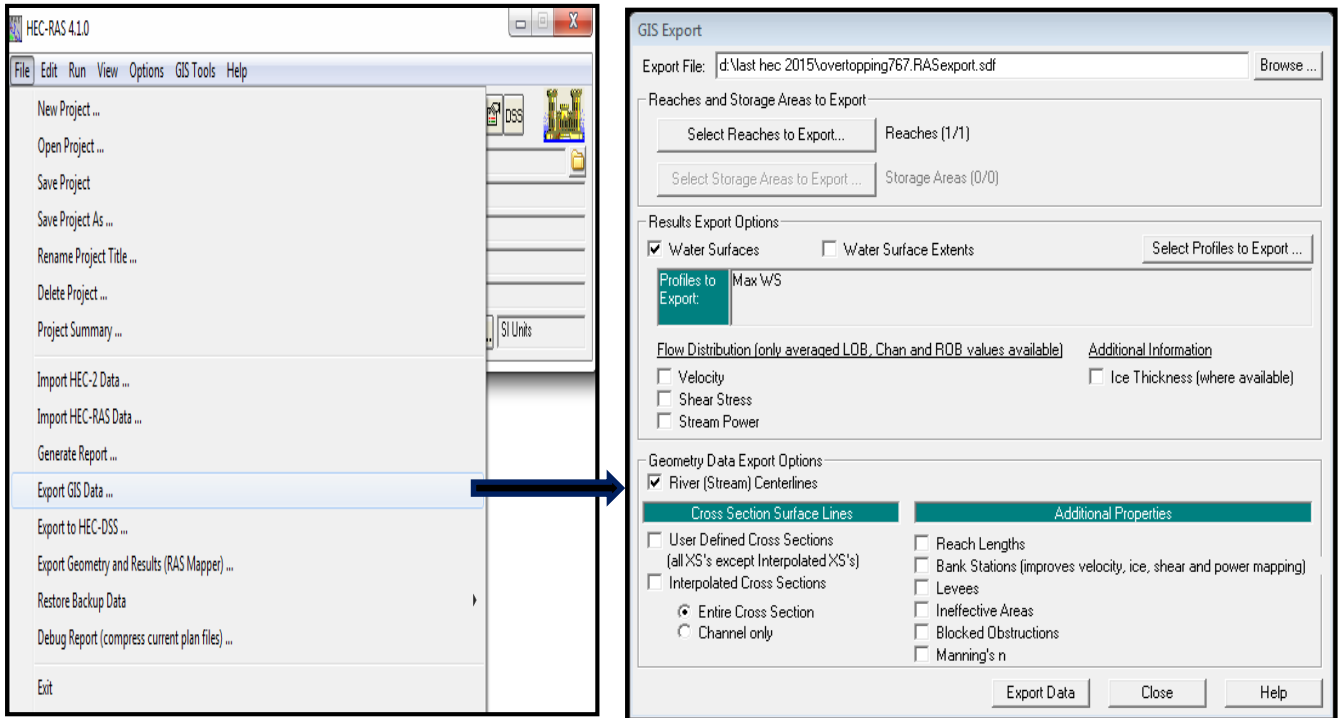
4-4-4. إجراء الحسابات الهيدروليكية: الشكل (4-24)، وفي هذه المرحلة نقوم بعمل عدّة سيناريوهات للانهييار واختيار السيناريو الأخطر حيث يتضمّن كل سيناريو خطة للعمل تشمل بيانات الجريان والبيانات الهندسية وتحديد بداية زمن النمذجة ونهايته وكذلك تحديد الخطوة الزمنية ووضع مخطط للانهييار يشمل هذا المخطط مكان الانهييار، شكل فتحة الانهييار (شبه منحرف، مثلثي، مستطيل) ونوع الانهييار (جريان فوق القمة، تسربات ضمن جسم السد) والمنسوب الذي تبدأ عنده فتحة الانهييار بالشكل.




الشكل (4-24). الحسابات الهيدروليكية وبيانات الانهييار

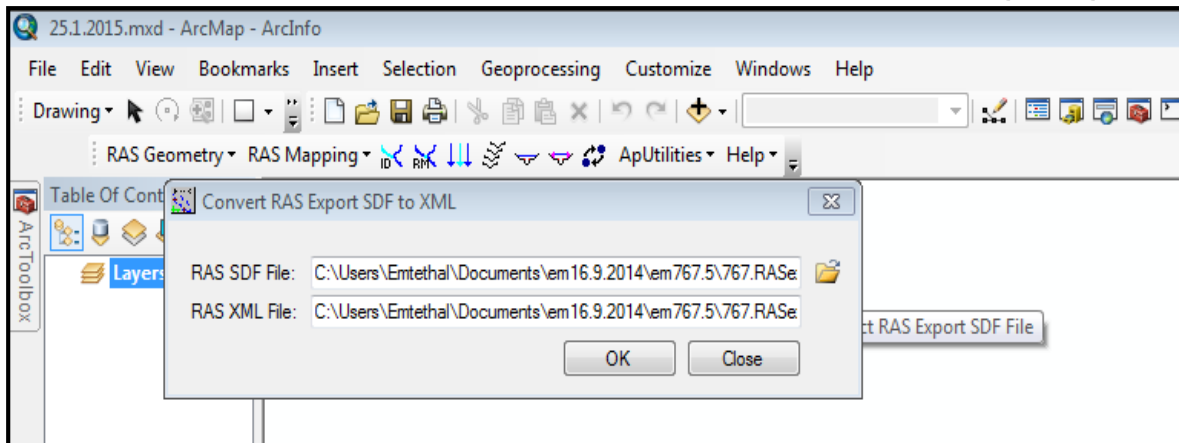
#### 5-4-4. تصدير نتائج الـ hec ras إلى برنامج الـ GIS:

1. من النافذة الأساسية للـ Hec-Ras نختار من ملف Export GIS Data، الشكل (4-25).
2. من النافذة الرئيسية لبرنامج الـ GIS:
  - نقوم بحفظ الملف.



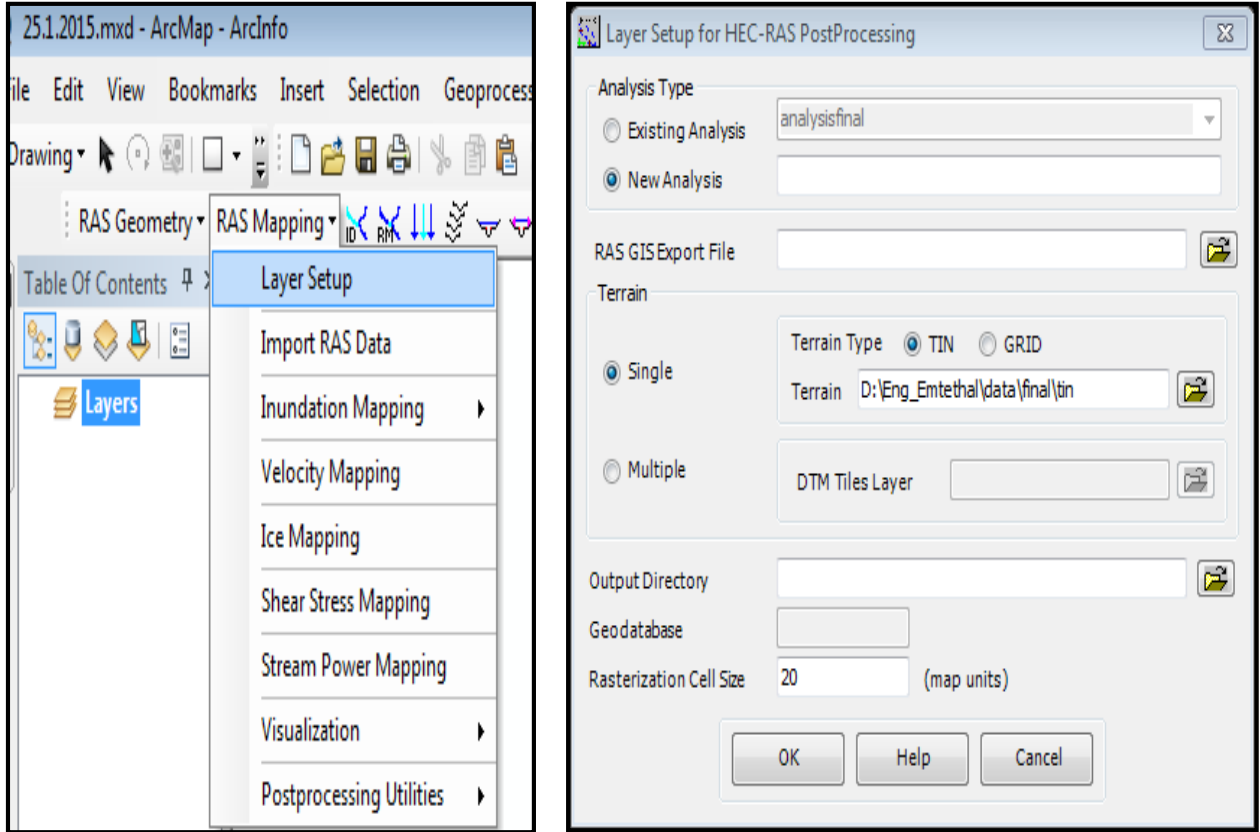
الشكل (4-25). تصدير بيانات الـ hec-Ras إلى برنامج GIS

- ثم من شريط أدوات الـ hec-Geo Ras نحول ملف الـ Hec-Ras ذو اللاحقة sdf إلى اللاحقة xml عن طريق الضغط على الأيقونة  الشكل (4-26) لكي يستطيع برنامج الـ GIS قراءة نتائج برنامج الـ Hec-Ras.



الشكل (4-26). تحويل ملف الـ Hec-Ras ذو اللاحقة sdf إلى ملف ذو اللاحقة xml

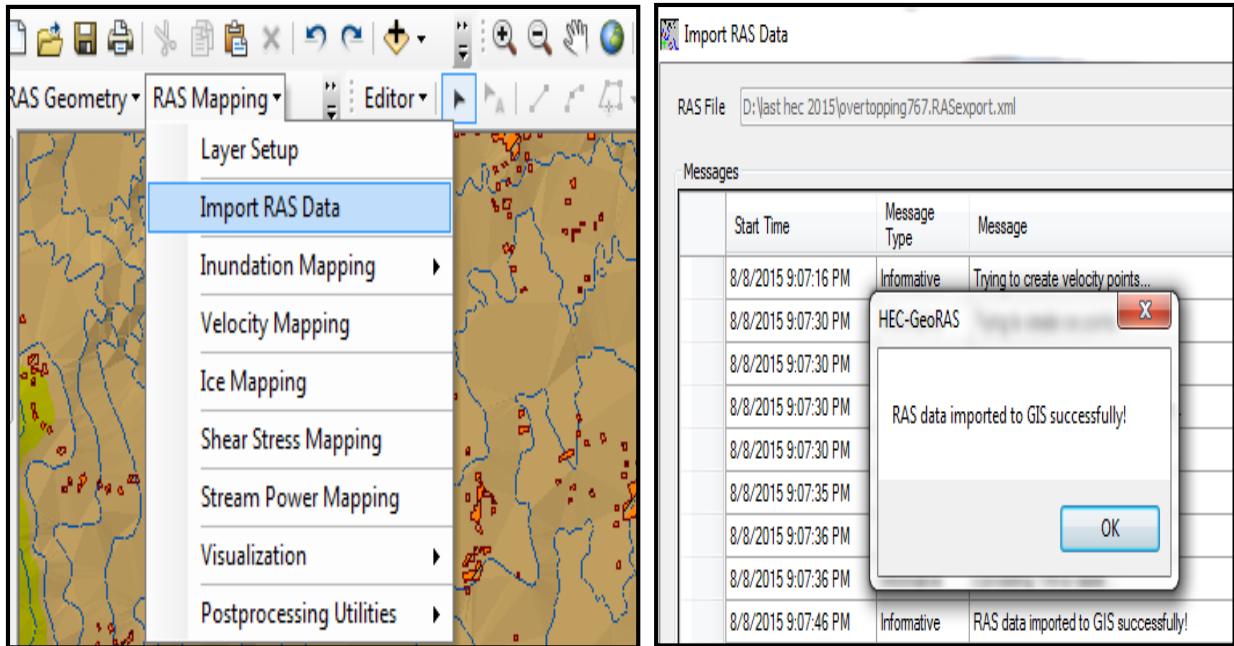
- إنشاء طبقة الإحداثيات، من الأيقونة Ras Mapping نختار Layer Setup الشكل (27-4).



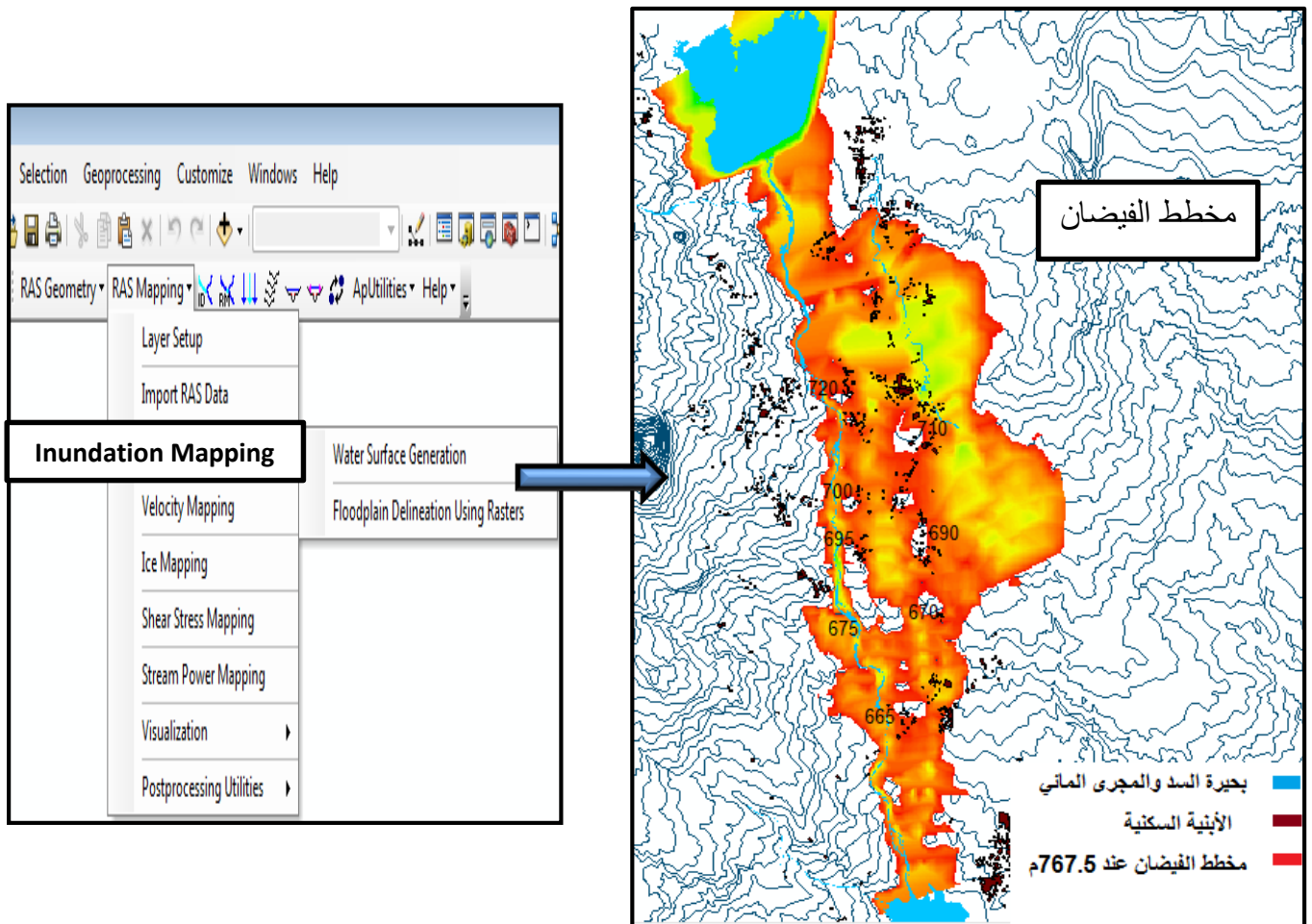
الشكل (27-4). إنشاء طبقة الإحداثيات (Layer Setup)

- استيراد نتائج الـ hec-Ras من Ras Mapping نختار Import Data حيث يتم في هذه المرحلة استيراد طبقة الضفاف والمجرى المائي والمقاطع العرضية وطبقة سرعات الجريان الشكل (28-4).
- ثم نقوم باستيراد طبقات الفيضان والتي من خلالها نستطيع تحديد المناطق المهدة بخطر الغمر وذلك من ras mapping نختار Inundation Mapping خرائط الغمر الشكل (29-4).





الشكل (4-28). استيراد نتائج الـ hec-ras



الشكل (4-29). استيراد طبقة الفيضان

# الفصل الخامس

سيناريوهات الانحياز المدروسة



## الفصل الخامس

### سيناريوهات الانهيار المدروسة

#### 1-5. مقدّمة

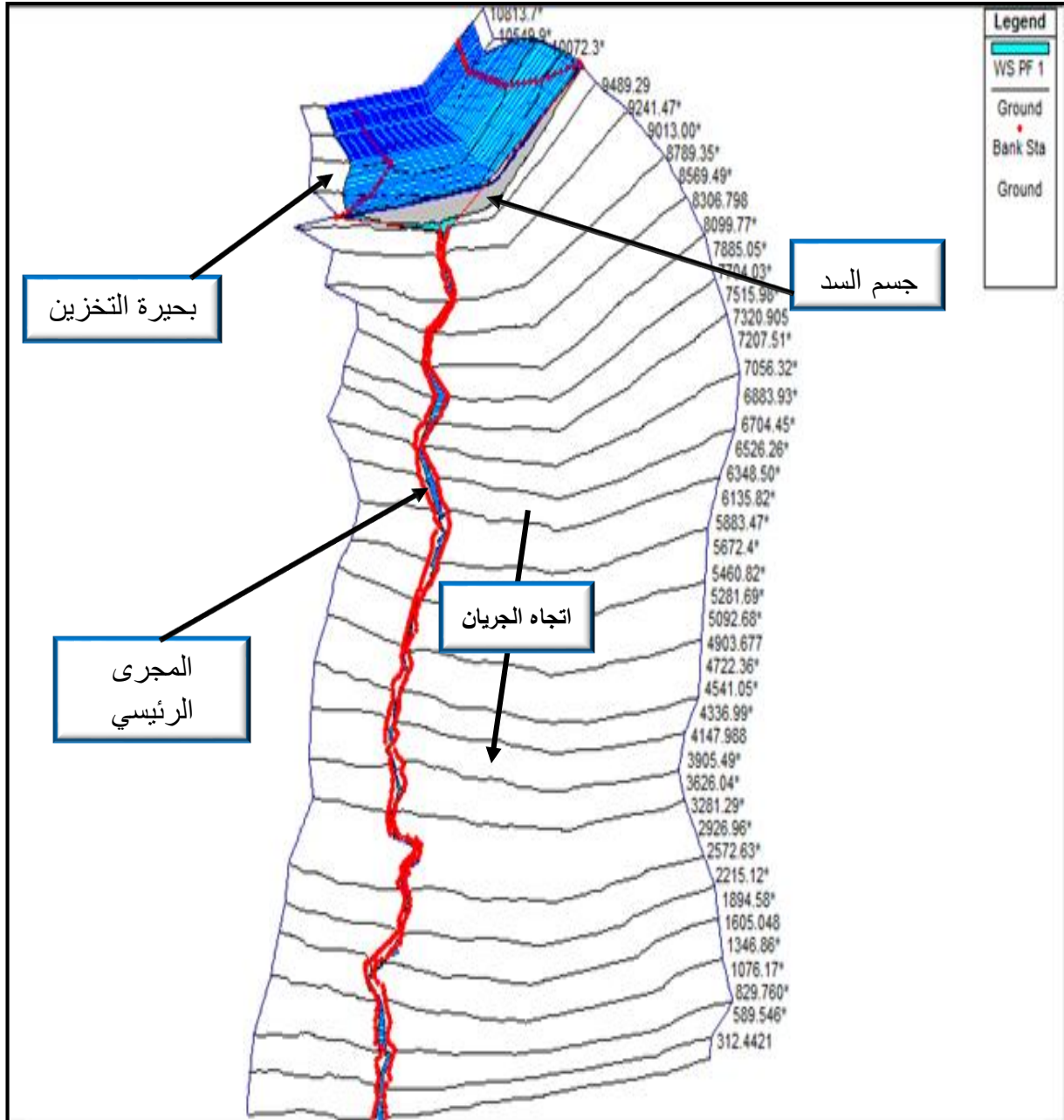
يتضمن هذا الفصل دراسة عن الحالة المستقرة (Steady Flow) للجريان والحالة غير المستقرة (Unsteady Flow) وهي حالة مرور موجة فيضانية بدون انهيار سد، كما يتضمن دراسة مجموعة من سيناريوهات الانهيار، حيث تمت دراسة الحالة المستقرة من أجل مقارنة نتائج سيناريوهات الانهيار معها وبالتالي تقدير حجم المساحات المغمورة نتيجة الانهيار الافتراضي للسد.

#### 2-5. دراسة الحالة المستقرة

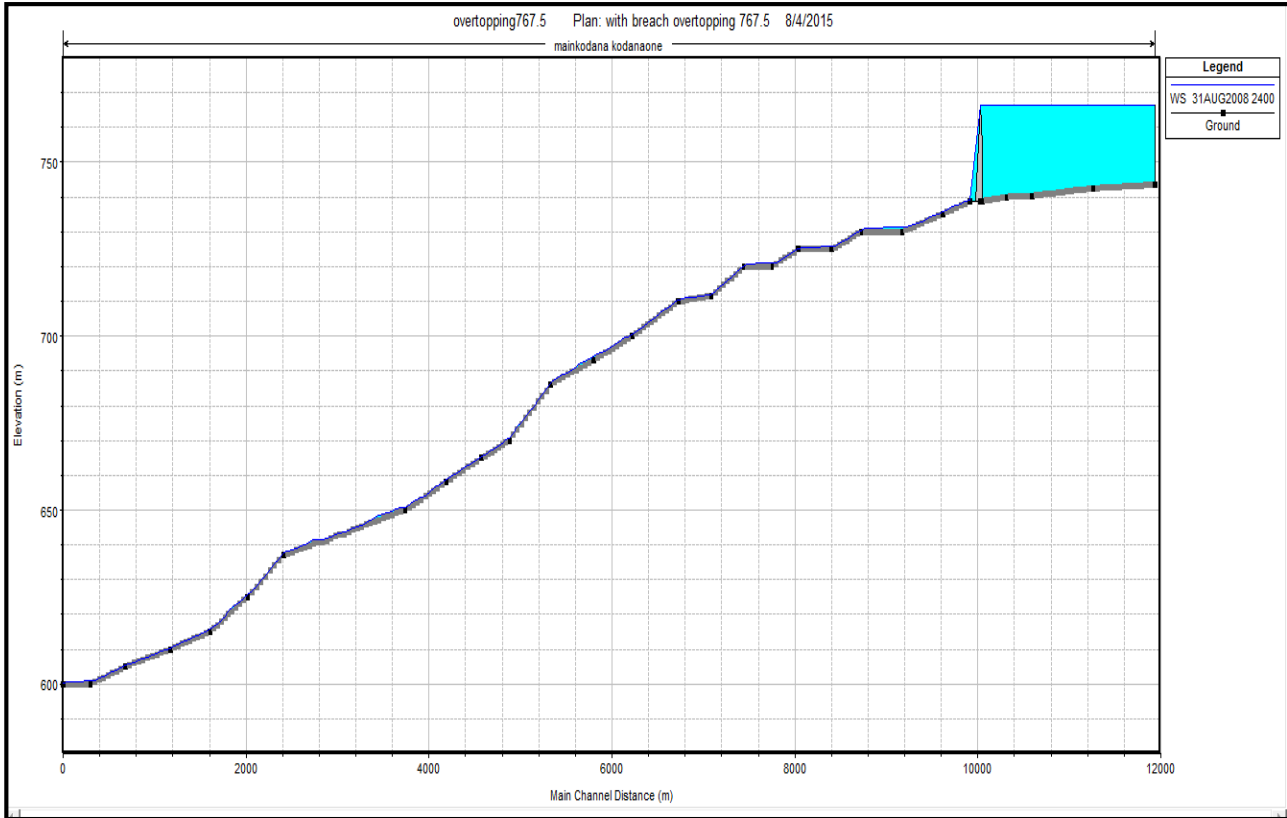
لقد تم افتراض غزارة بدائية من أجل دراسة هذه الحالة قدرها  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  وفيما يلي النتائج التي حصلنا عليها نتيجة إجراء تحليل للنموذج في الحالة المستقرة:

- مقطع ثلاثي أبعاد للمنطقة المدروسة يُبين امتداد المياه نتيجة مرور غزارة بدائية في المجرى المائي حيث نلاحظ أنّ المياه تبقى ضمن المجرى المائي ولا تخرج فوق منسوب الضفاف الشكل (1-5).
- مقطع طولي للمجرى المائي يُبين مناسيب وأعماق المياه على طول المجرى المائي، حيث تتراوح مناسيب المياه في القناة بالحالة المستقرة بين (600.35 - 739.19) متر أما أعماق المياه فتتراوح بين (0.33 - 1.03) متر، الشكل (2-5)، الشكل (3-5).
- السرعات عند كل مقطع عرضي وعند أي لحظة زمنية، تراوحت قيم السرعة في حالة الجريان المستقر بين (0.21 - 2.04) متر في الثانية، الشكل (4-5).

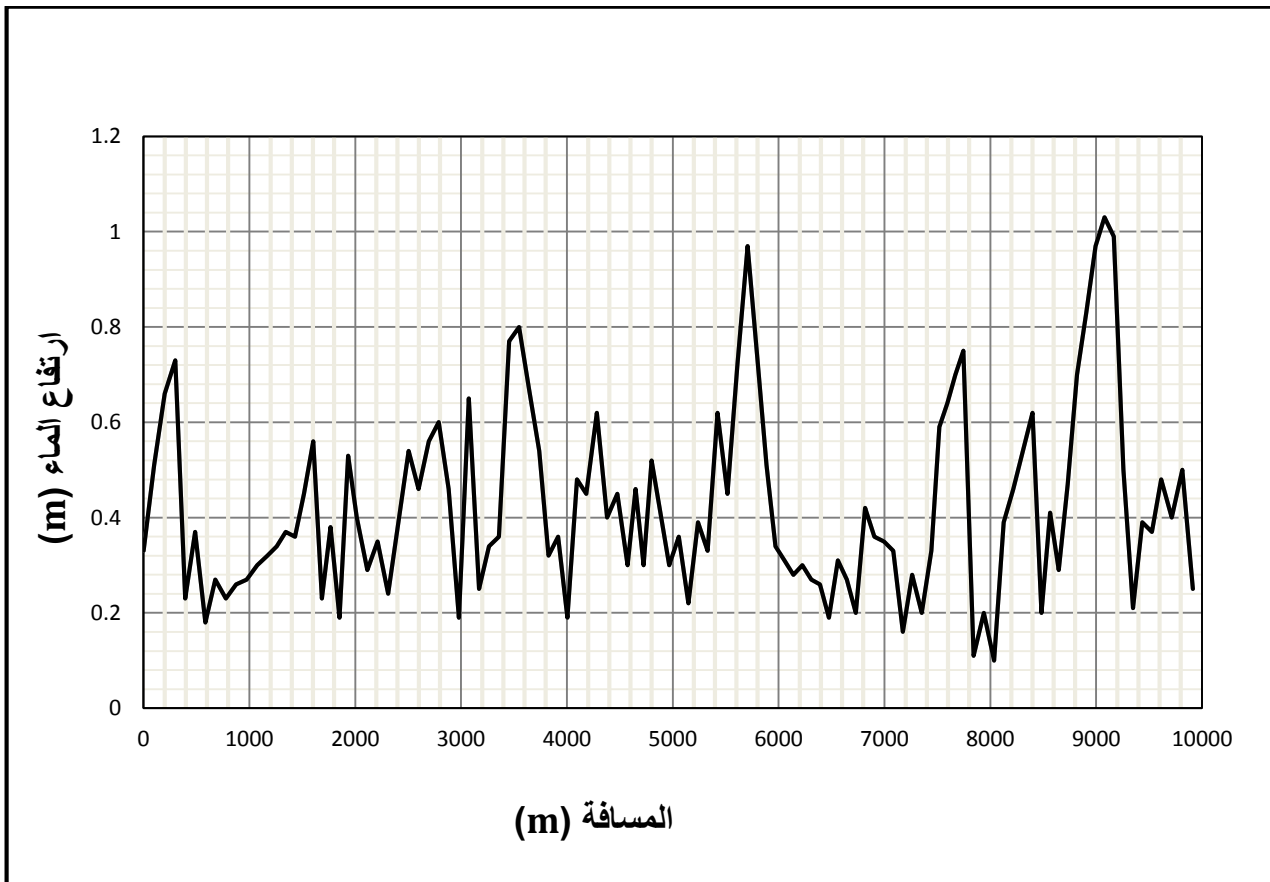
بعد دراسة الحالة المستقرة سنقوم بدراسة الحالة غير المستقرة (انهيار السد)، عن طريق وضع عدّة سيناريوهات للانهيار عند مناسيب تخزين مختلفة للمياه أمام السد، وعند أنماط انهيار مختلفة وأشكال متعددة لفتحة الانهيار ثم سنقوم بتحديد زمن وصول موجة الانهيار لكل مقطع وارتفاع الغمر وسرعة المياه أثناء الانهيار ومساحات الغمر.



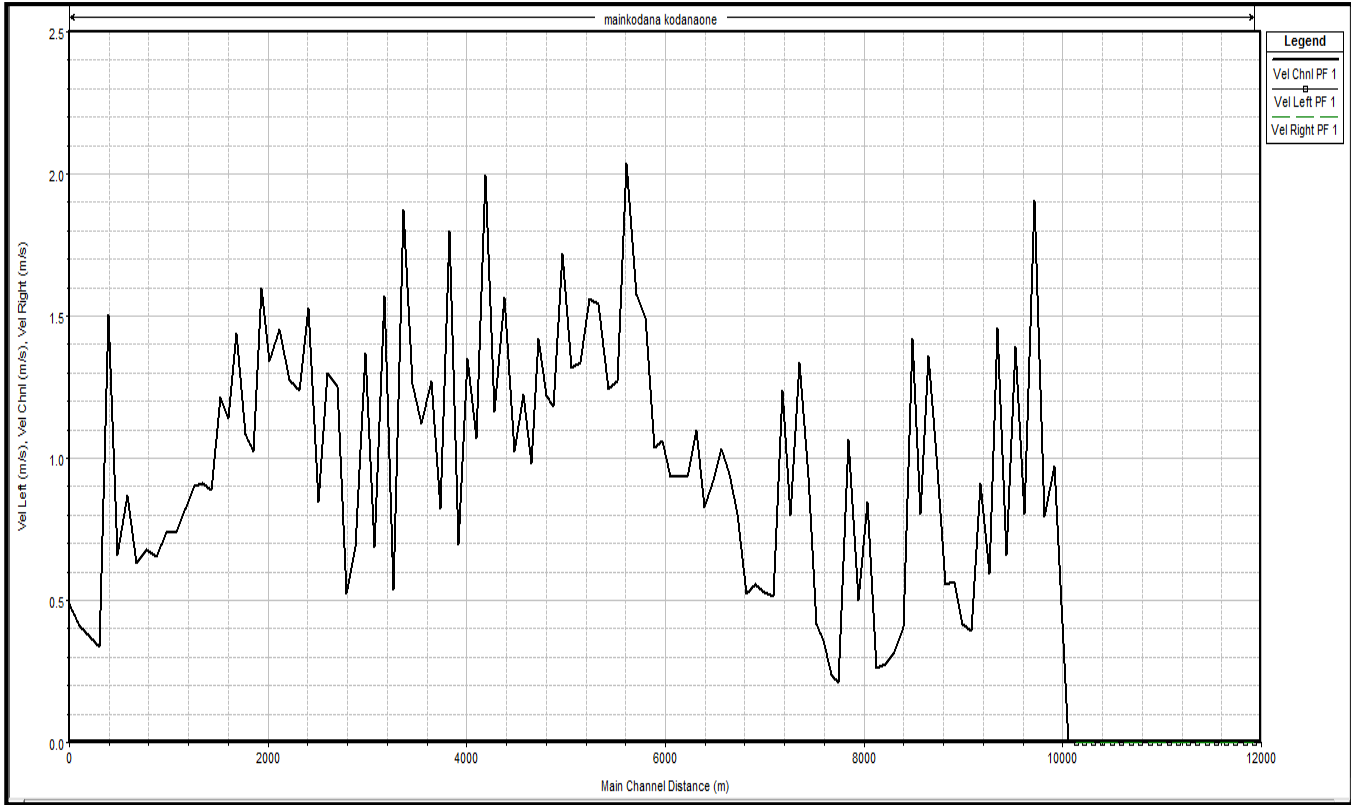
الشكل (1-5). مخطط ثلاثي أبعاد للمنطقة المدروسة في الحالة المستقرة



الشكل (2-5). مناسيب المياه في كل مقطع على طول المجرى المائي في الحالة المستقرة



الشكل (3-5). أعماق المياه في كل مقطع على طول القناة بالحالة المستقرة



الشكل (4-5). مخطط السرعة على طول المجرى المائي في الحالة المستقرة

### 3-5. تحديد شكل فتحة الانهيار [20]

سنستخدم معادلات الطرق التجريبية (Empirical Methods) لتحديد شكل فتحة الانهيار .

▪ طريقة **MacDonald & Langridge**: تحسب أبعاد فتحة الانهيار كما يلي الشكل (5-5).

نحسب حجم الكتلة المنهارة من جسم السد ثم نقوم بحساب العرض الوسطي لفتحة الانهيار بتقسيم الحجم الناتج على العرض الوسطي لمقطع السد مضروباً بالارتفاع ما بين مركز فتحة الانهيار وقمة السد.

$$V_{eroded} = 0.00348 * (V_w * h_w)^{0.852}$$

$$t_f = 0.0179 * (V_{eroded})^{0.364}$$

$$h_w = 767.5 - 738.8 = 28.7m$$

$h_w$ : عمق الماء أثناء الانهيار ( $m$ ) ويساوي في حالتنا منسوب الماء أثناء الانهيار 767.5 متر مطروحاً

منه منسوب الأرض الطبيعية عند مقطع السد 738.8 متر.

$$V_w = 31 * 10^6 m^3$$

$$V_{eroded} = 0.00348 * (31 * 10^6 * 28.7)^{0.852}$$

$$V_{eroded} = 146668 m^3$$

$$t_f = 0.0179 * (146668)^{0.364}$$

$$t_f = 2.5 h$$

$V_w$ : حجم التخزين أثناء الانهيار

$V_{eroded}$ : حجم الكتلة المنهارة من جسم السد

$t_f$ : زمن تشكل فتحة الانهيار

أما العرض الوسطي لفتحة الانهيار  $B_{ave}$  يحسب كالتالي:

$$B_{ave} = \frac{V_{eroded}}{h_b * W_{ave}}$$

$h_b$ : الارتفاع ما بين مركز فتحة الانهيار وأعلى قمة السد (m)

$$h_b = \frac{768.25 - 745}{2} = 11.63 m$$

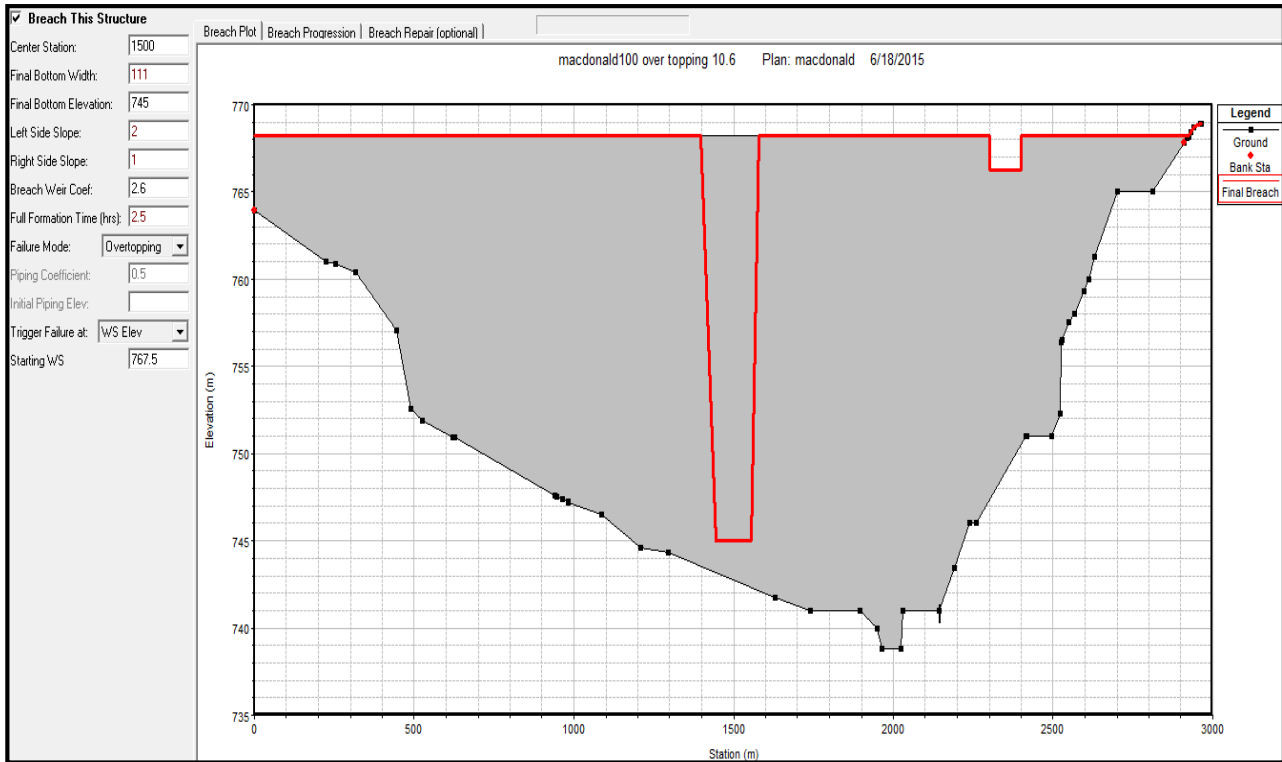
إن منسوب أعلى قمة السد يساوي في حالتنا 768.25 متر ومنسوب مركز فتحة الانهيار يساوي 745 متر.

$W_{ave}$ : العرض الوسطي لمقطع السد

$$W_{ave} = 100m$$

$$B_{ave} = \frac{146668}{11.63 * 100} = 126 m$$

حسب الجدول (2-3)، تكون الميول الجانبية للفتحة: 2.0:1 وبالتالي سيكون عرض الفتحة من الأسفل 111 m ومن الأعلى 180.75 m والشكل التالي (5-5)، يوضح أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة .MacDonald & Langridge



الشكل (5-5). أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة MacDonald & Langridge

- طريقة Froehlich(1995) تحسب أبعاد فتحة الانهيار كما يلي الشكل (5-6):  
العرض الوسطي لفتحة الانهيار  $B_{ave}$ :

$$B_{ave} = 0.1803 K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.19}$$

$$t_f = 0.00254 V_w^{0.53} h_b^{-0.90}$$

$$B_{ave} = 0.1803 * 1.3 * 31000000^{0.32} * 11.63^{0.19}$$

$$B_{ave} = 93 \text{ m}$$

زمن تشكل فتحة الانهيار  $t_f$ :

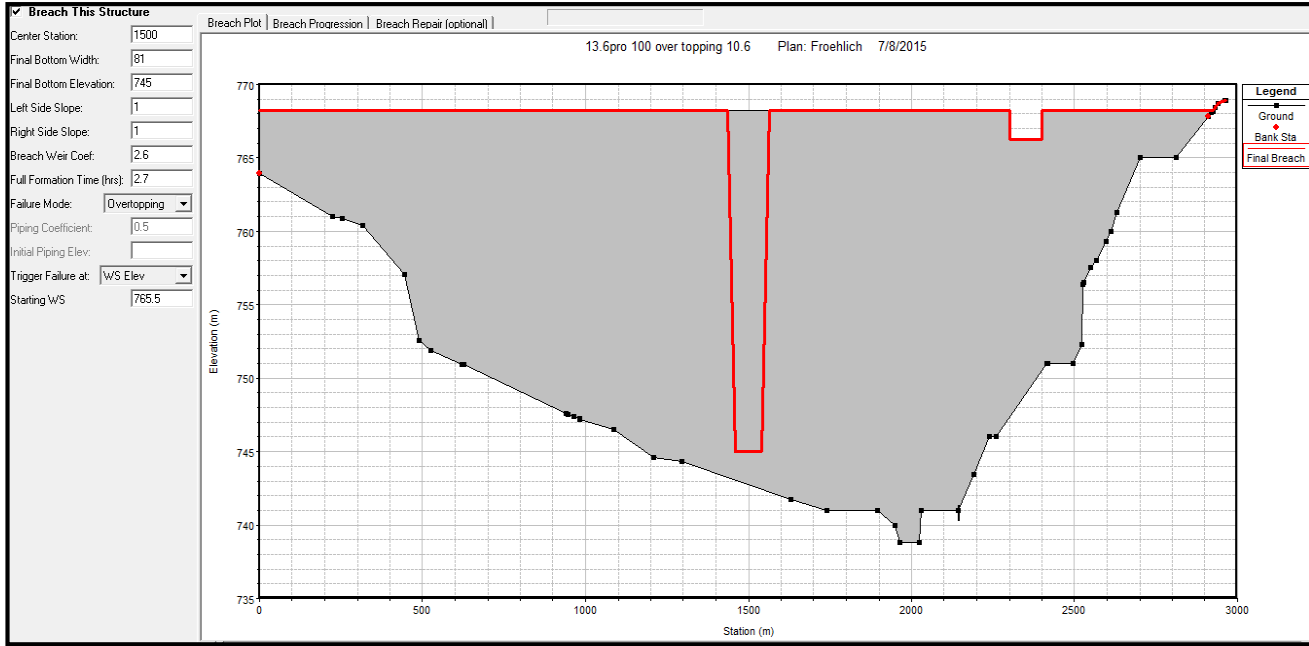
$$t_f = 0.00254 * (31000000)^{0.53} * 11.63^{0-0.9}$$

$$t_f = 2.7 \text{ h}$$

حسب الجدول (3-2) تكون الميول الجانبية للفتحة 1:1 وبالتالي سيكون عرض الفتحة من الأسفل

.81 m





الشكل (5-6). أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة Froehlich(1995)

▪ طريقة Von Thun & Gillette (1990): تحسب أبعاد فتحة الانهيار كما يلي الشكل (5-7):

$$B_{avg} = 2.5 * 23.25 + 54.9$$

$$B_{avg} = 124 \text{ m}$$

عند وجود مقاومة للتآكل

$$t_f = 0.02 * 29.5 + 0.25$$

$$t_f = 0.84 \text{ h}$$

الميول الجانبية للفتحة 0.5:0.5، وبالتالي سيكون عرض الفتحة من الأسفل 100 m.

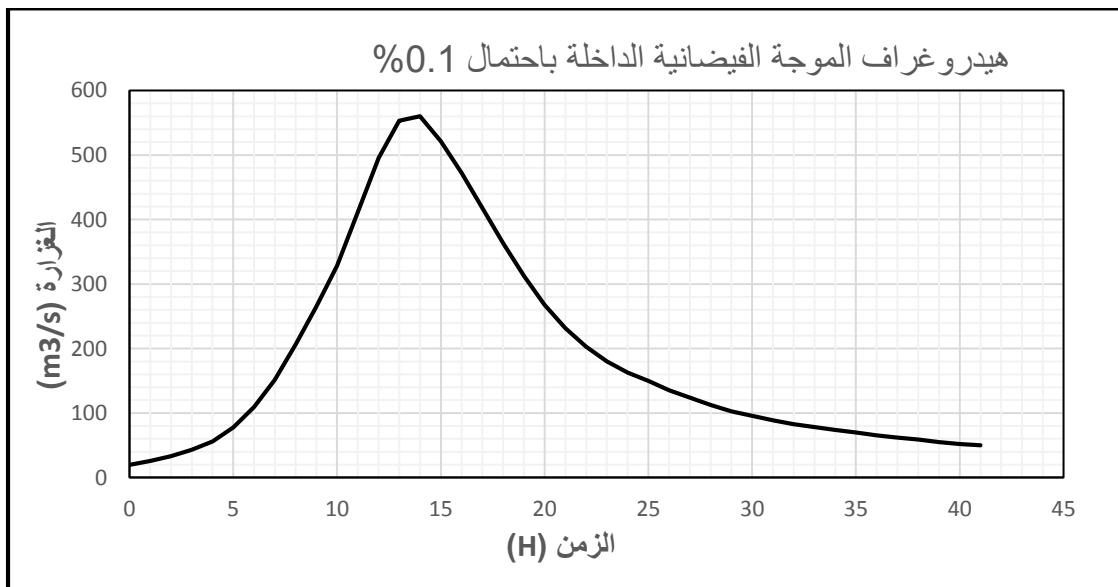


الشكل (5-7). أبعاد فتحة الانهيار حسب طريقة (1990) Von Thun & Gillette

من الواضح أنّ أشكال فتحة الانهيار متقاربة من بعضها بجميع الطرق لذلك سوف نعتمد إحدى هذه الطرق ولتكن طريقة (1995) Froehlich من أجل كافة السيناريوهات المدروسة.

ملاحظة (1): تم إجراء تحليل للنموذج باستخدام كافة الطرق وكانت النتائج متقاربة جداً.

ملاحظة (2): إنّ هيدروغراف الموجة الفيضانية الذي تم وضعه كشرط في بداية المجرى المائي موضح بالشكل (5-8)، نلاحظ أنّ أعلى قيمة للغزارة تبلغ  $560 \text{ m}^3/\text{s}$  وحجم الموجة 23 مليون متر مكعب تقريباً.



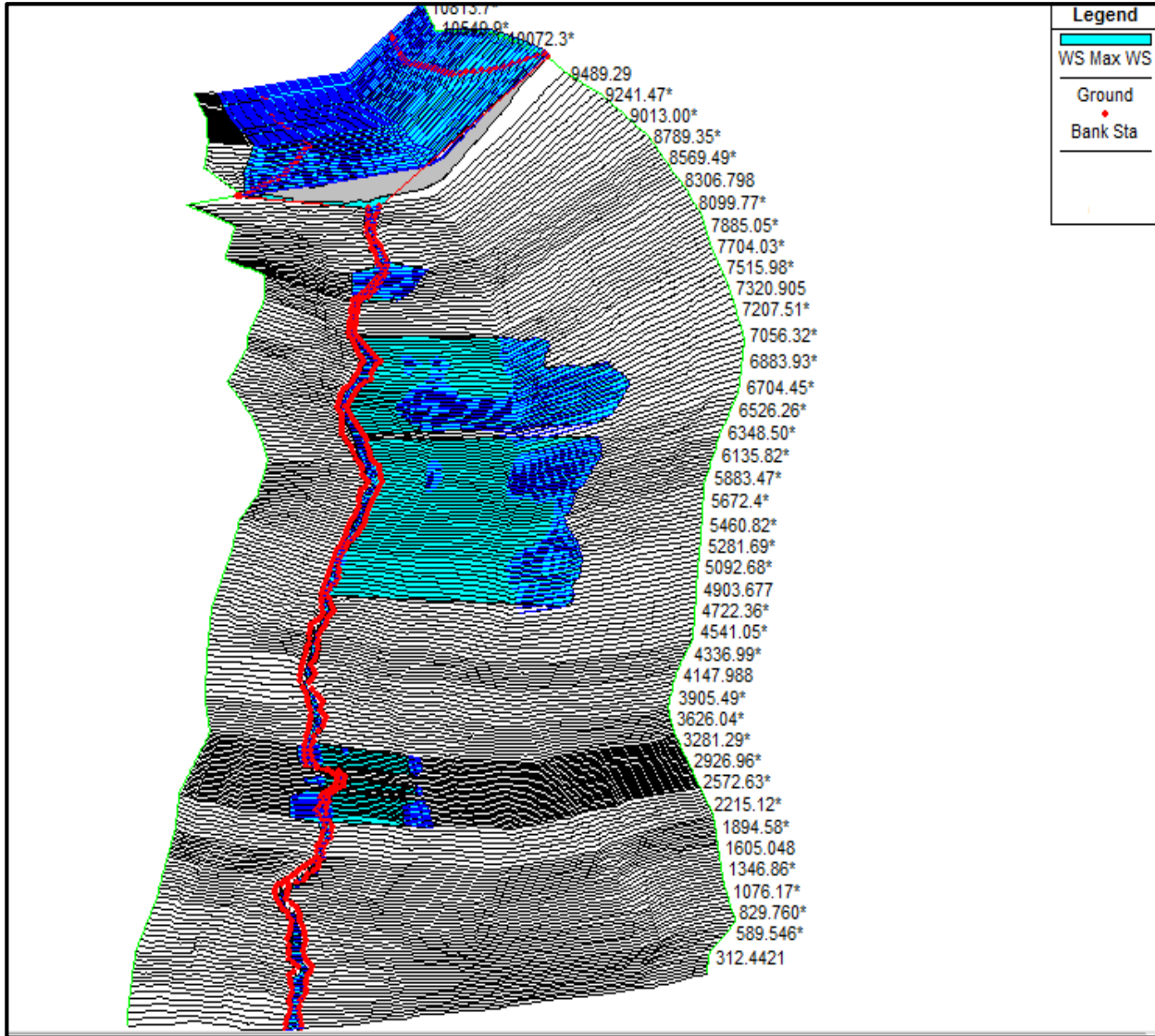
الشكل (5-8) هيدروغراف الموجة الفيضانية المارة أثناء الانهيار

### 4-5. حالة مرور الموجة الفيضانية باحتمال 0.1% بدون انهيار السد

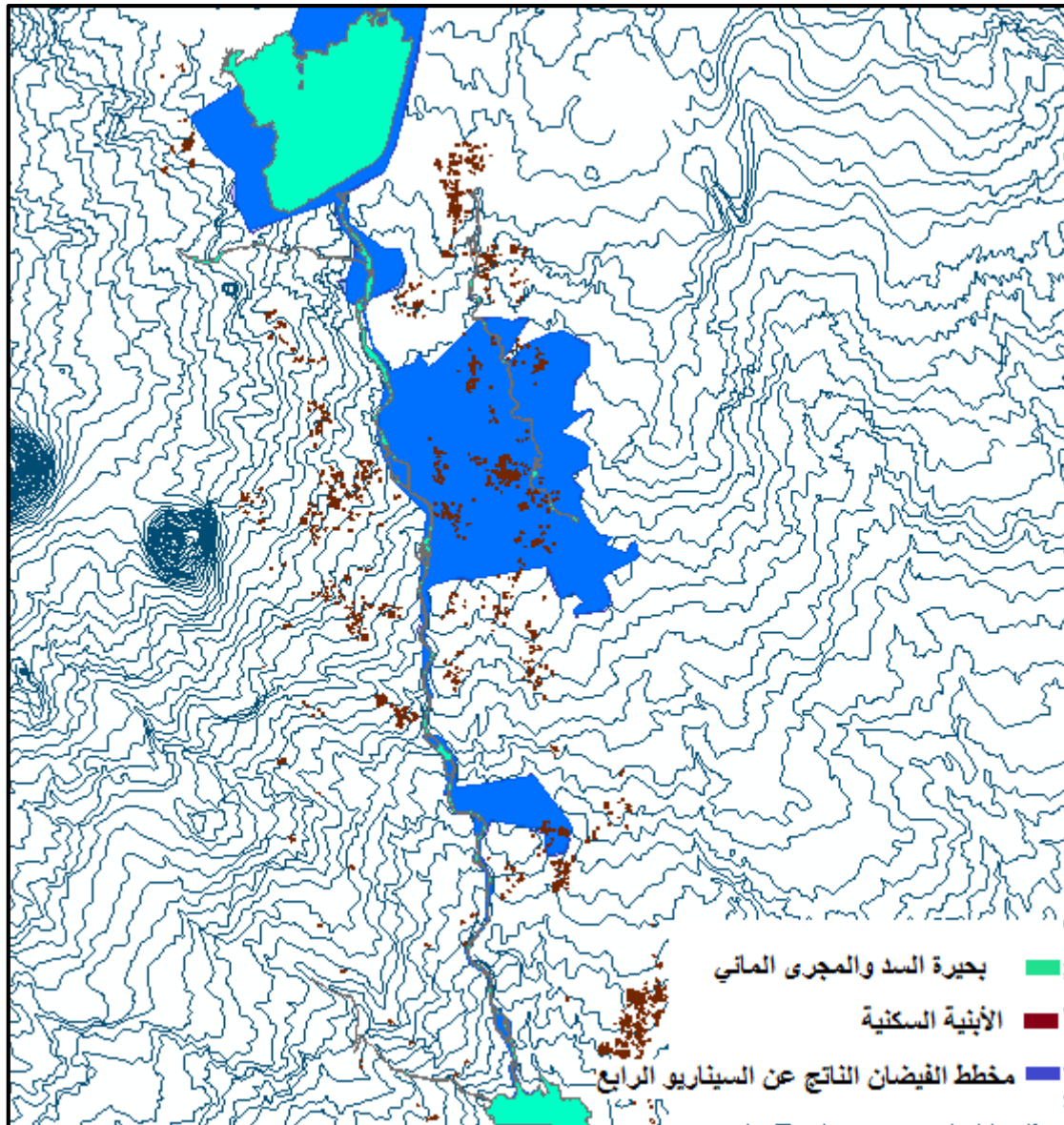
#### 1-4-5. فرضيات الدراسة:

- تاريخ بداية الدراسة افتراضي.
- الخطوة الزمنية 10 ثواني.

يبين الشكل (9-5)، المساحات المغمورة الناتجة عن الموجة الفيضانية المارة باحتمال 0.1%.



الشكل (9-5). مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الرابع باستخدام برنامج Hec-Ras



الشكل (10-5) مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الرابع باستخدام برنامج الـ GIS

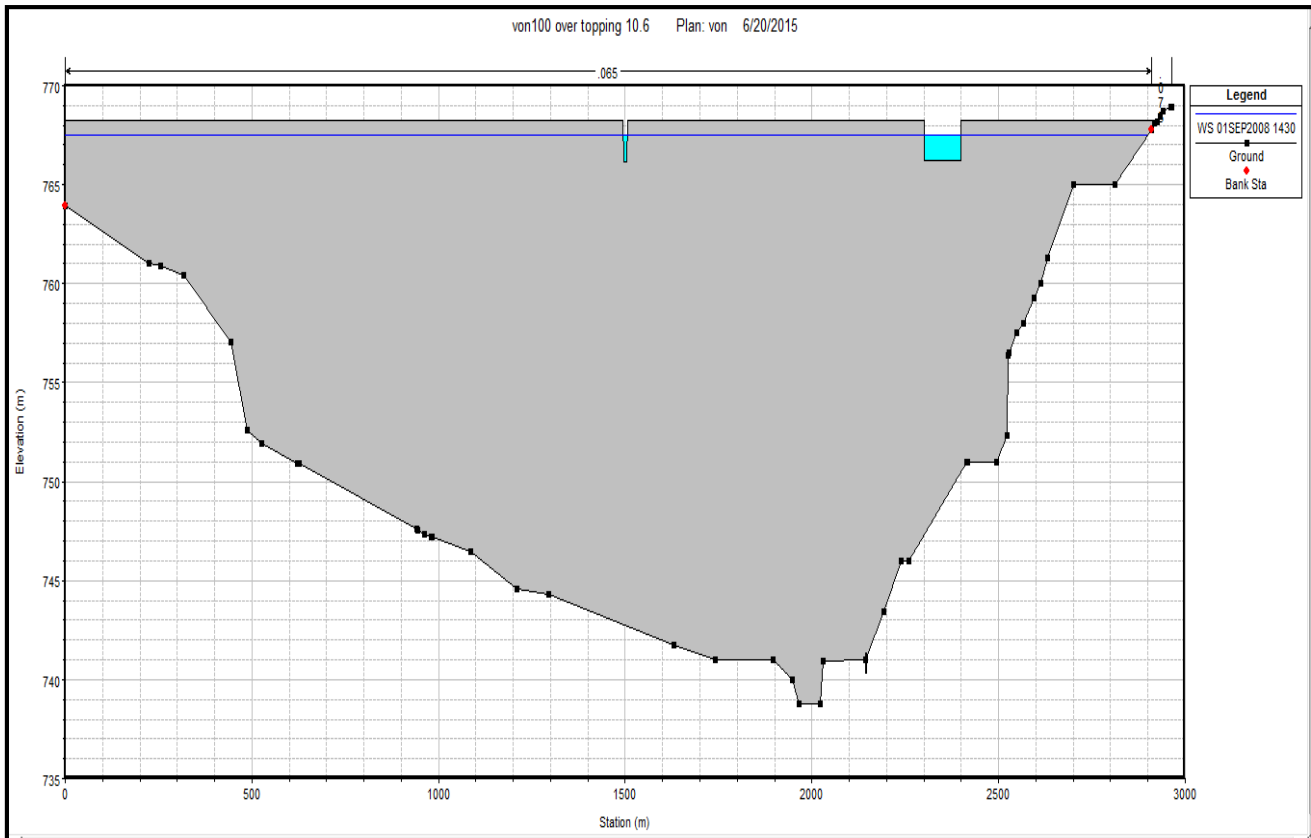
نلاحظ أنّ المناطق المغمورة قد شملت بعض المناطق السكنية المحيطة بالمجرى المائي المدروس ووصلت سرعة الموجة الفيضانية العظمى إلى  $7.15 \text{ m/s}$ ، ووصل أعلى ارتفاع للغمر إلى  $1.59 \text{ m}$ ، أما زمن وصول الموجة إلى المقطع الأخير فقد وصل إلى ساعة و 15 دقيقة.

#### 5-5. سيناريوهات الانهيار المدروسة:

1-5-5. السيناريو الأول: حالة انهيار السد من نوع (overtopping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب قمة السد  $767.5 \text{ m}$  وعند مرور موجة فيضانية باحتمال  $0.1\%$ .

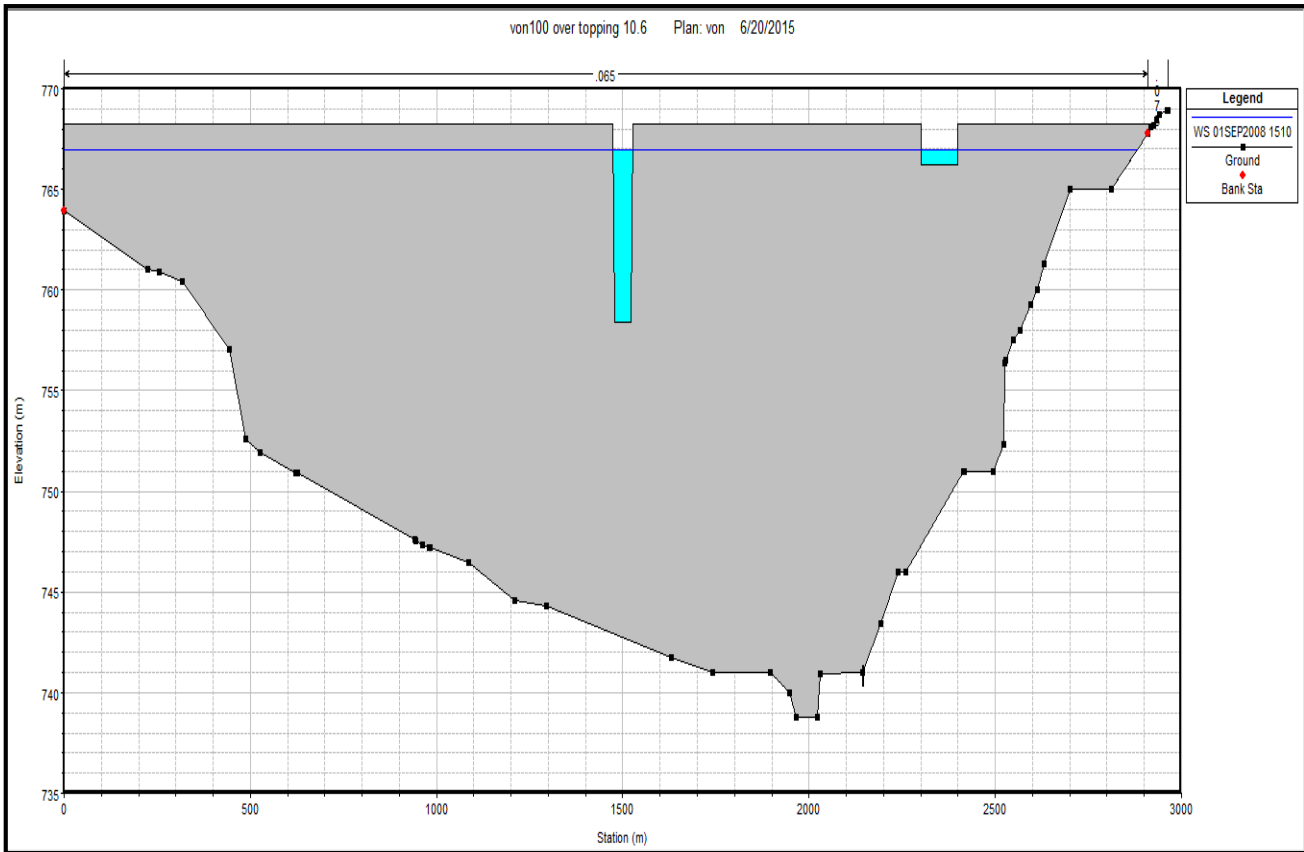
## 1-1-5-5. فرضيات الدراسة

- نوع الانهيار (overtopping)، أي أنه عندما يحدث الانهيار لسبب ما سوف تتشكل فتحة في جسم السد ابتداء من أعلى قمة السد إلى الأسفل.
- مركز الانهيار (Center Station) 1500 متر يتم إدخاله حسب إحداثيات المفيض، انظر الشكل (24-4).
- منسوب الماء في بحيرة التخزين الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل (Starting WS) 767.5 m.
- شكل فتحة الانهيار شبه منحرف لأنّ السد ركامي أمّا أبعادها فقد أخذت حسب طريقة Froehlich(1995).
- تاريخ بداية الدراسة افتراضي حيث تبدأ فتحة الانهيار بالتشكل عند وصول منسوب الماء أمام السد إلى 767.5 m ثمّ تتطور حتى تصل إلى الشكل النهائي بعد ساعتين و 36 دقيقة.
- الخطوة الزمنية 10 ثواني (في حالة انهيار السدود تؤخذ الخطوة الزمنية بين (1-60 ثانية)).

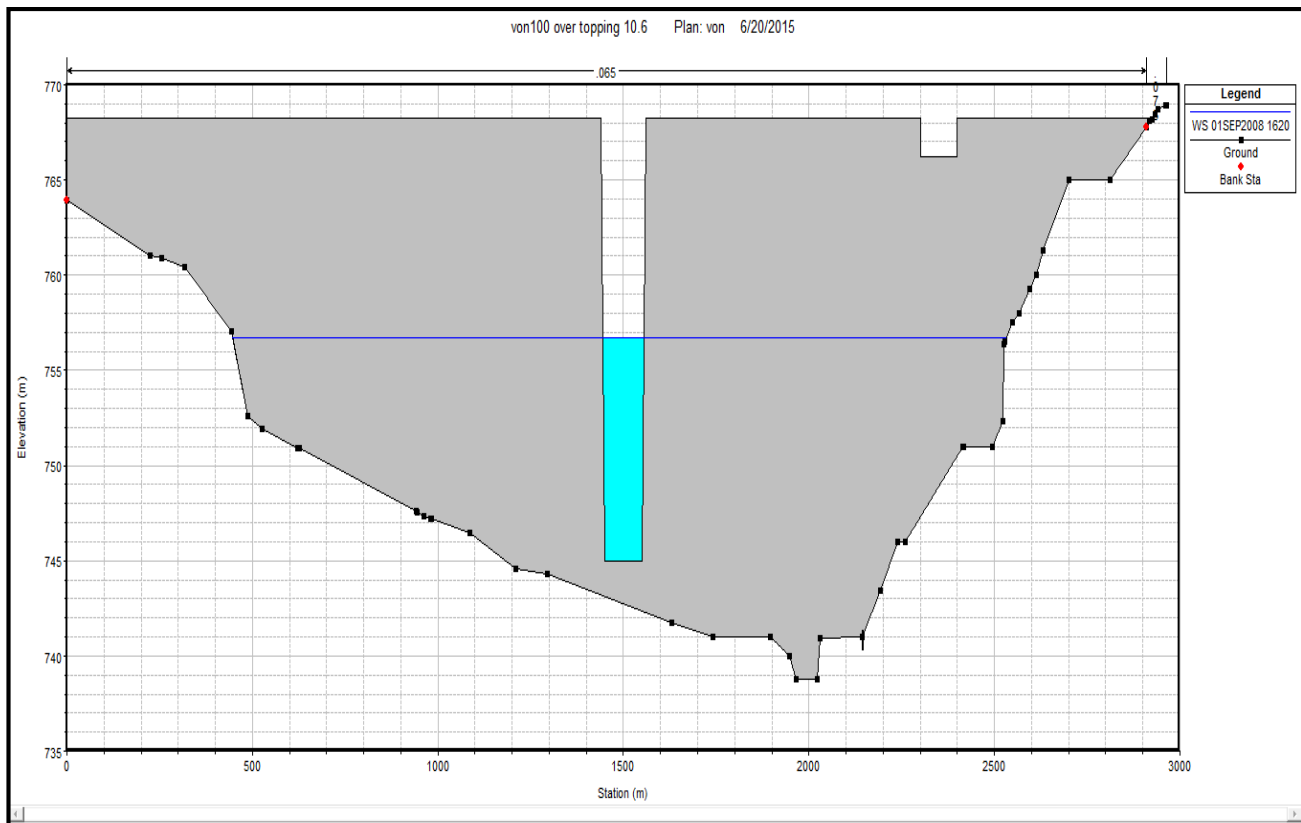


الشكل (11-5). بداية تشكل فتحة الانهيار

- ملاحظة: الرقم المدون في أعلى الأشكال التي تعبر عن المقاطع العرضية في الوادي يعبر عن معامل مانينغ.



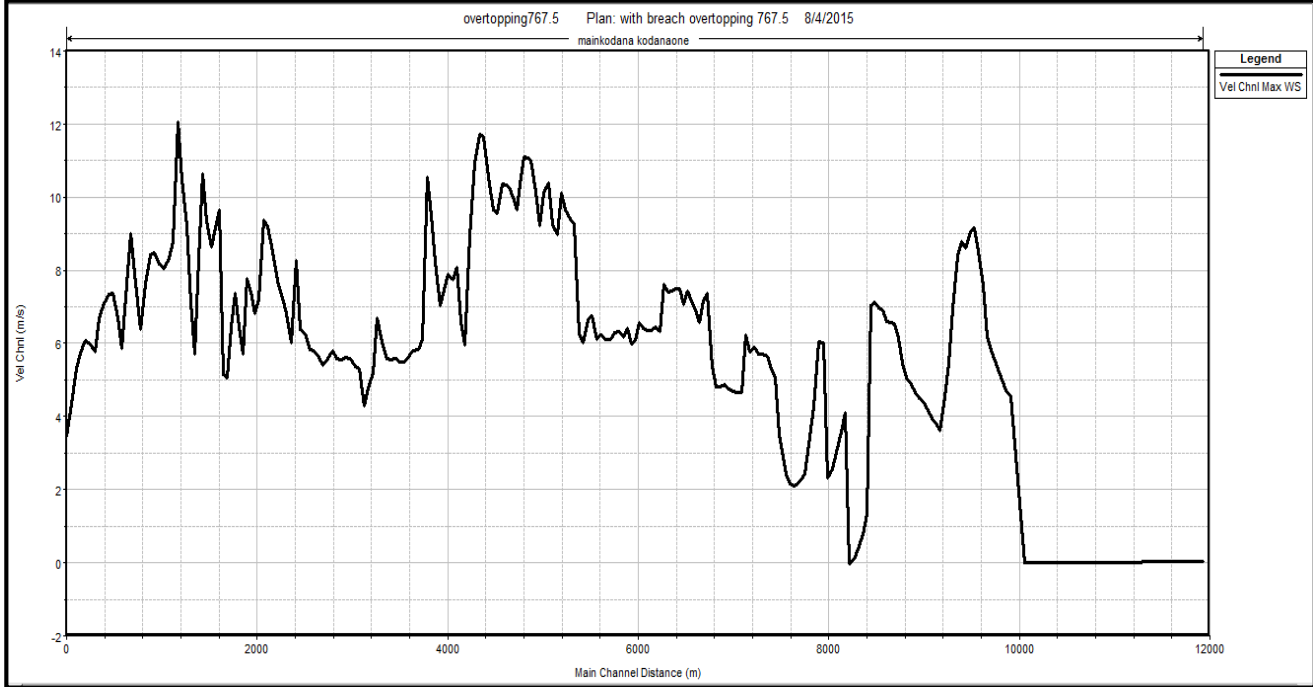
الشكل (5-12). حجم الفتحة بعد ساعة من بداية الانهيار



الشكل (5-13). حجم فتحة الانهيار النهائي

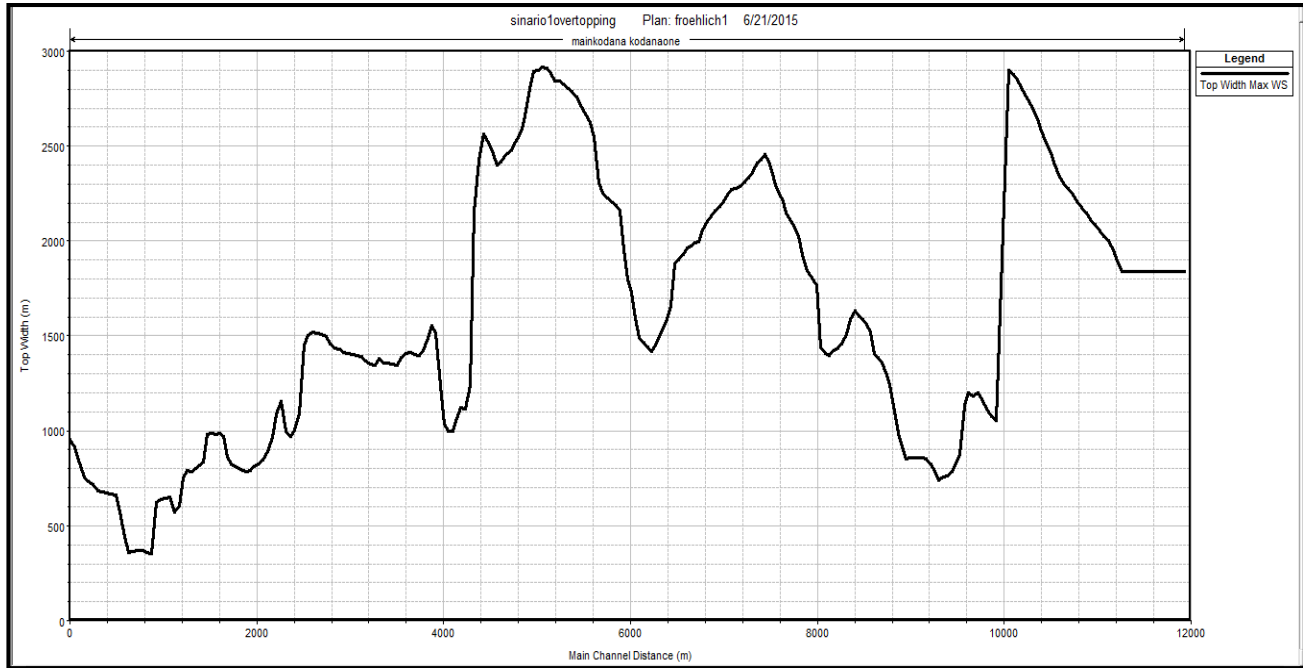
2-1-5-5. نتائج السيناريو الأول:

❖ السرعة العظمى أثناء الانهيار فقد وصلت قيمتها العظمى إلى 12.07 متر في الثانية ، الشكل (14-5).



الشكل (14-5). مخطط سرعة المياه الأعظمى عند كل مقطع عرضي

❖ عرض مناطق الغمر عند كل مقطع عرضي على طول المجرى المائي حيث يتراوح عرض مناطق الغمر بين (2915-347.69) متر، الشكل (15-5).

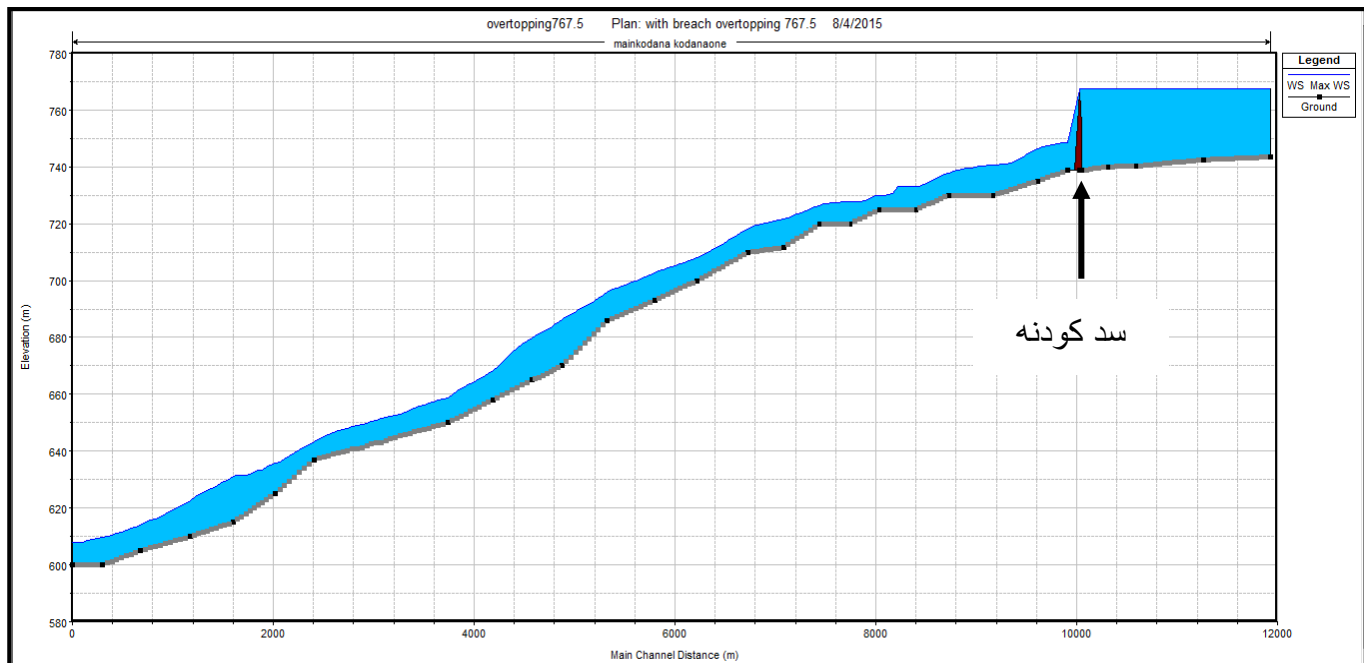


الشكل (15-5). عرض منطقة الغمر عند كل مقطع عرضي

❖ ارتفاع الغمر ويُحسب بطرح منسوب الماء الأعظمي من منسوب الضفاف في كل مقطع عرضي وتراوحته قيمه بين (0.7 و 8.15) متر الشكل (5-16)، ومنسوب الماء على طول المجرى المائي الشكل (5-17).



الشكل (5-16). ارتفاع الغمر على طول المجرى المائي



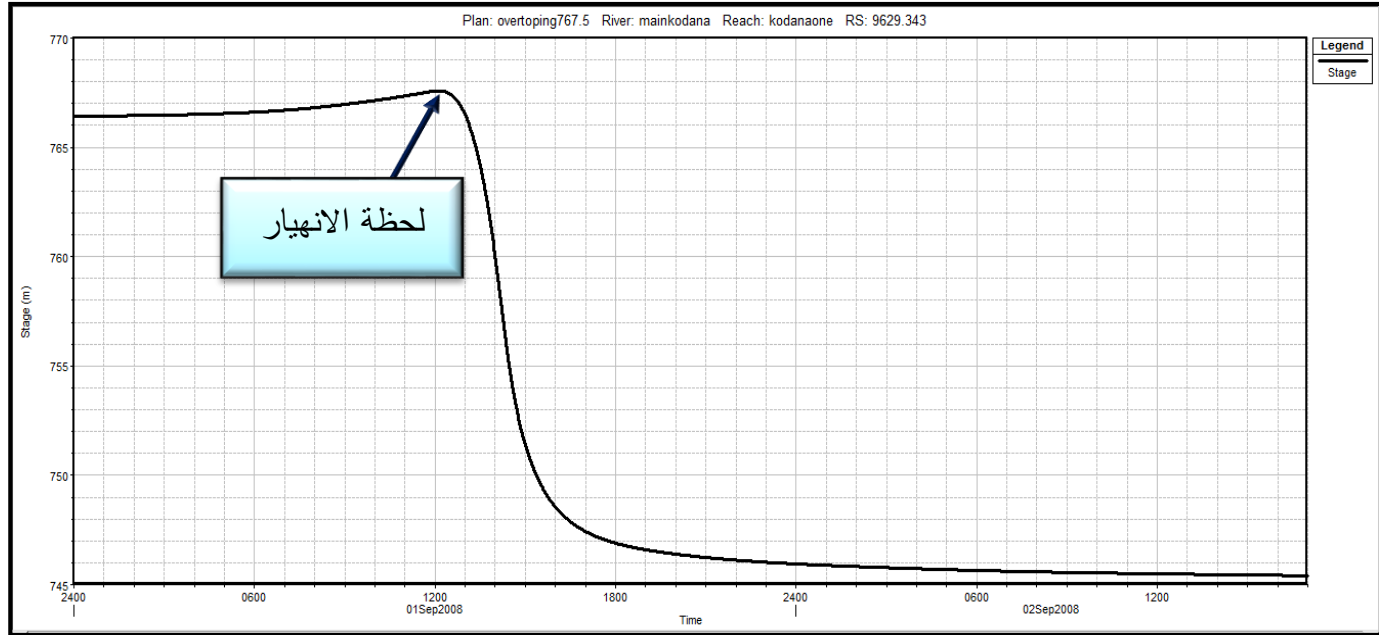
الشكل (5-17). يبين منسوب الماء الأعظمي في كل مقطع عرضي على طول المجرى المائي

❖ يوضح الشكل (5-18). 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



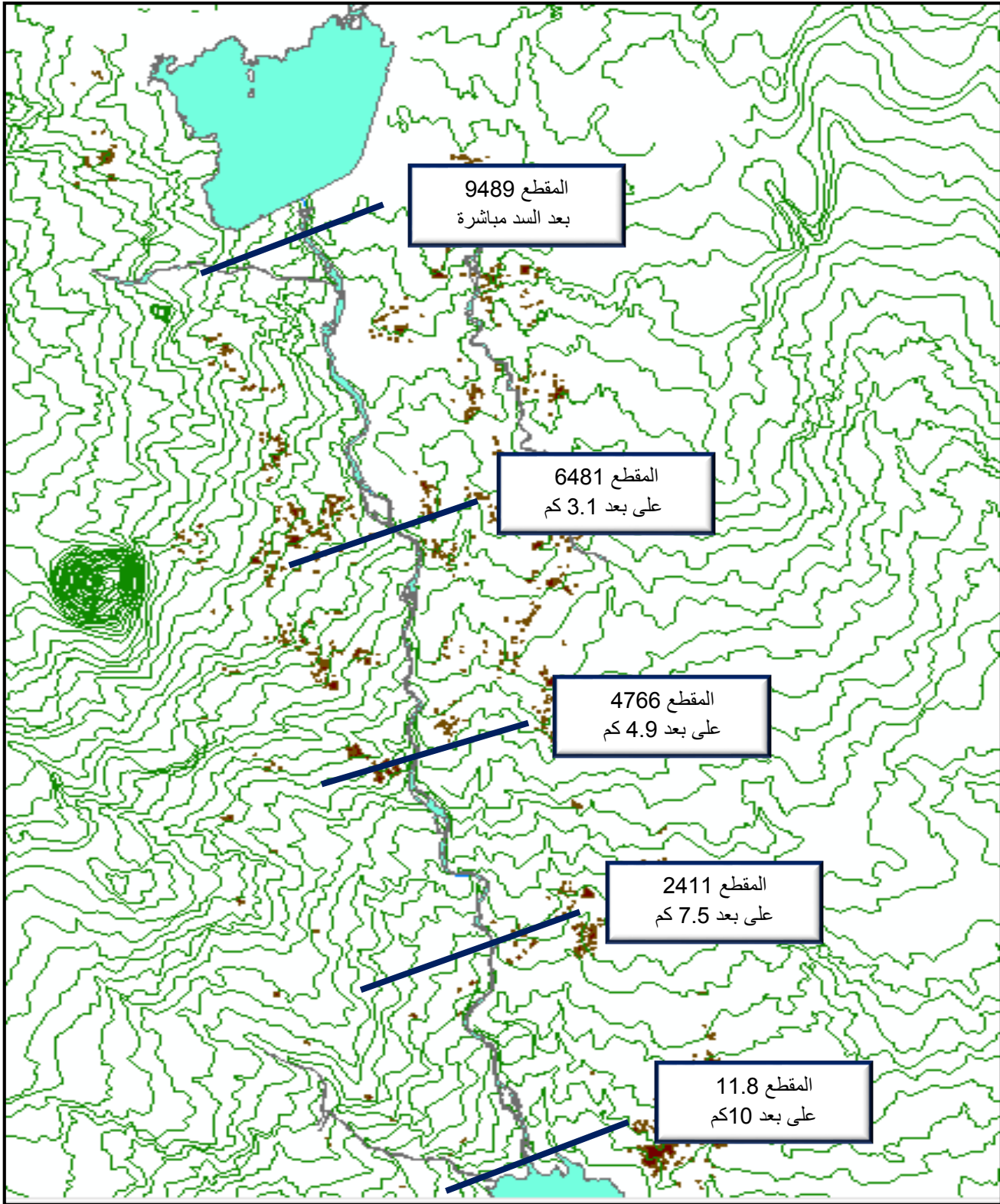
ساعتين وست وثلاثون دقيقة من بدء النمذجة حيث كان منسوب الماء أمام السد على منسوب قمة السد 767.5 m.

إن لحظة انهيار السد يمكن تحديدها عن طريق تحديد لحظة بداية تشكل فتحة الانهيار في السد، وفي حالتنا تبدأ فتحة الانهيار بالتشكل بعد مضي 11.5 ساعة من بداية النمذجة.



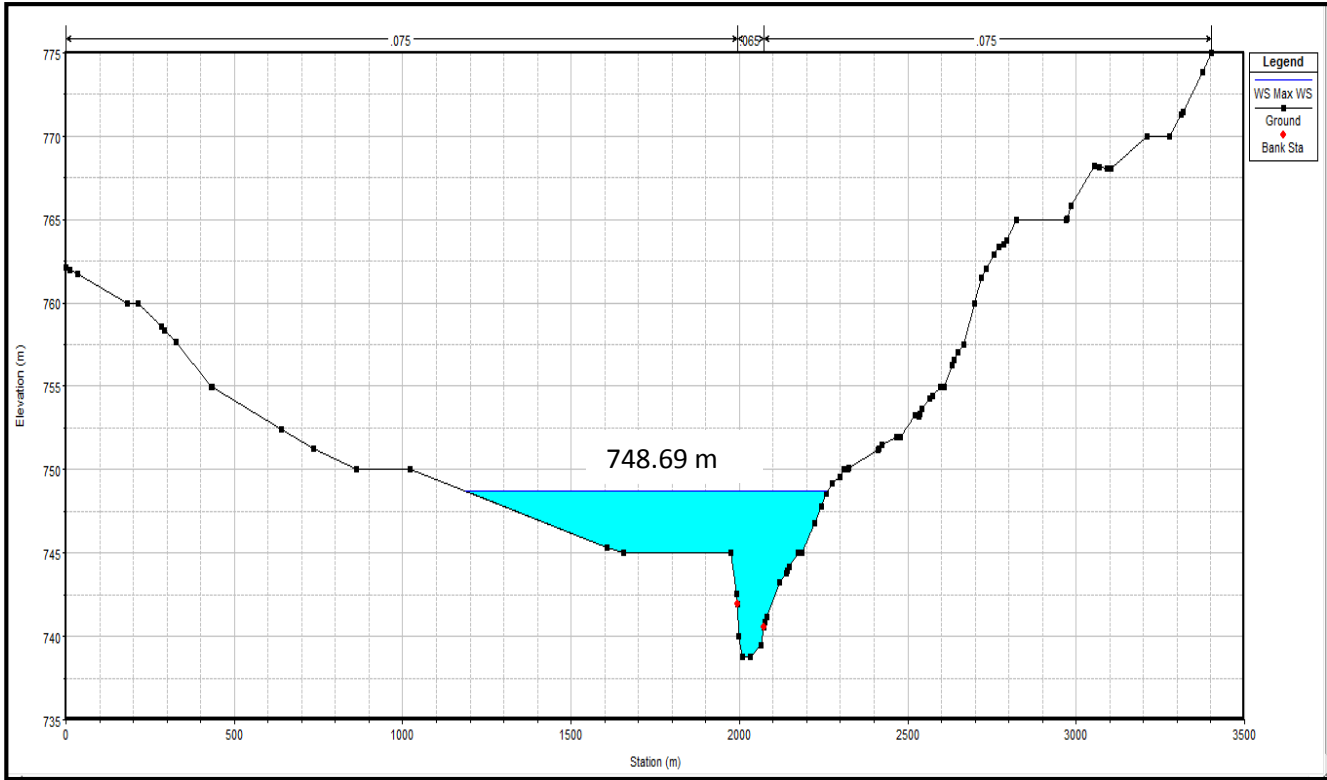
الشكل (5-18). انخفاض منسوب الماء أمام السد في المقطع (9629) قبل السد لحظة الانهيار

يُبين الشكل (5-19) المقاطع التي قمنا باختيارها من أجل إظهار النتائج على طول المجرى المائي المدروس.

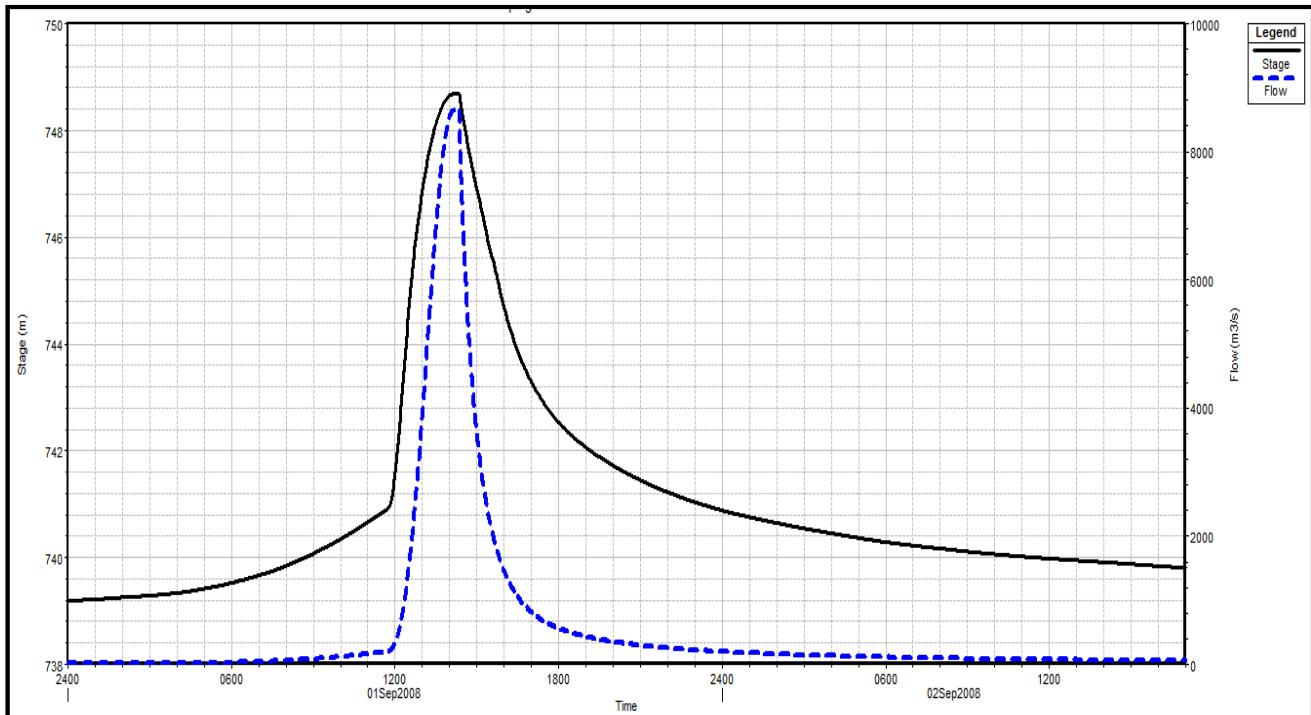


الشكل (5-19). المقاطع المختارة من أجل إظهار النتائج

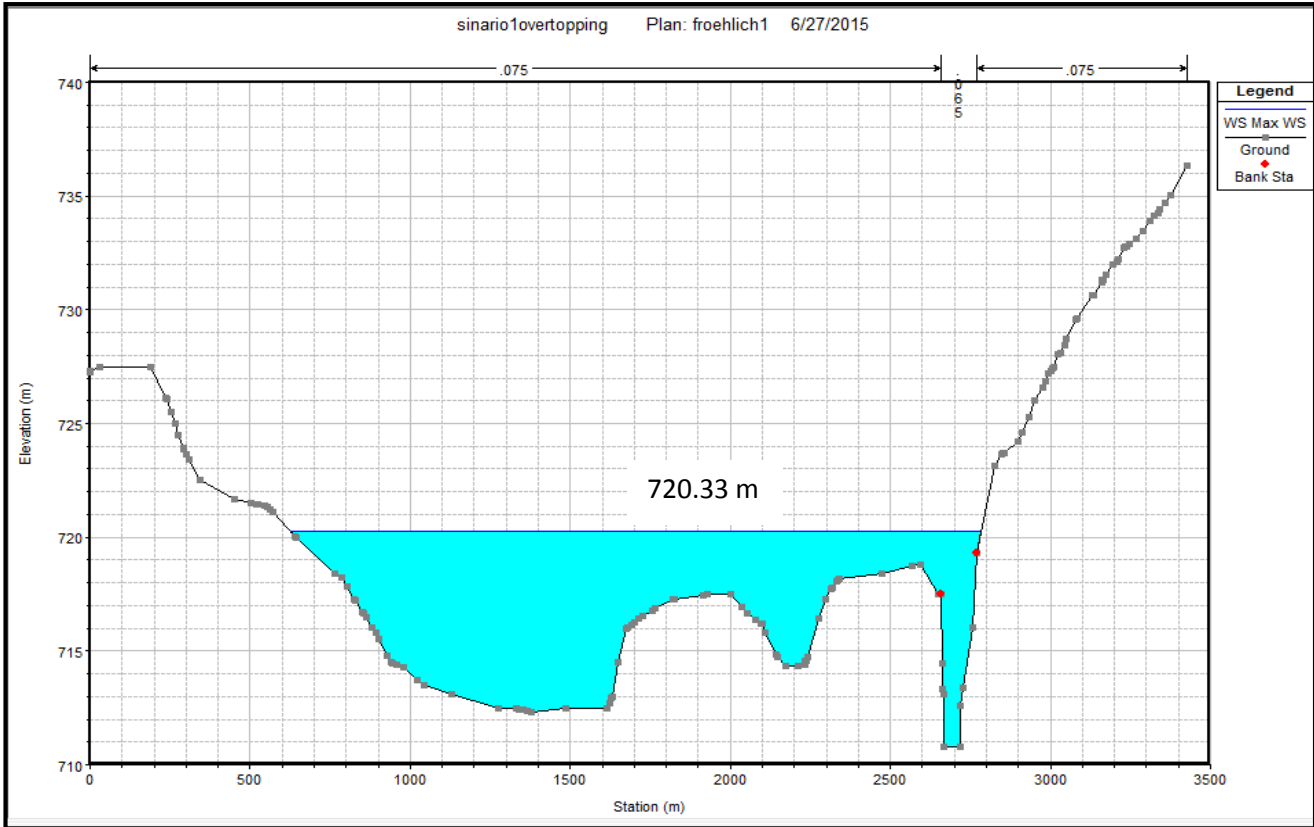
فيما يلي نبيّن أشكال المقاطع العرضية التي تم اختيارها موضعاً على كل منها منسوب الماء الأعظمي وارتفاع الغمر ومنسوب الضفاف، كما نبيّن علاقة تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند كل مقطع عرضي.



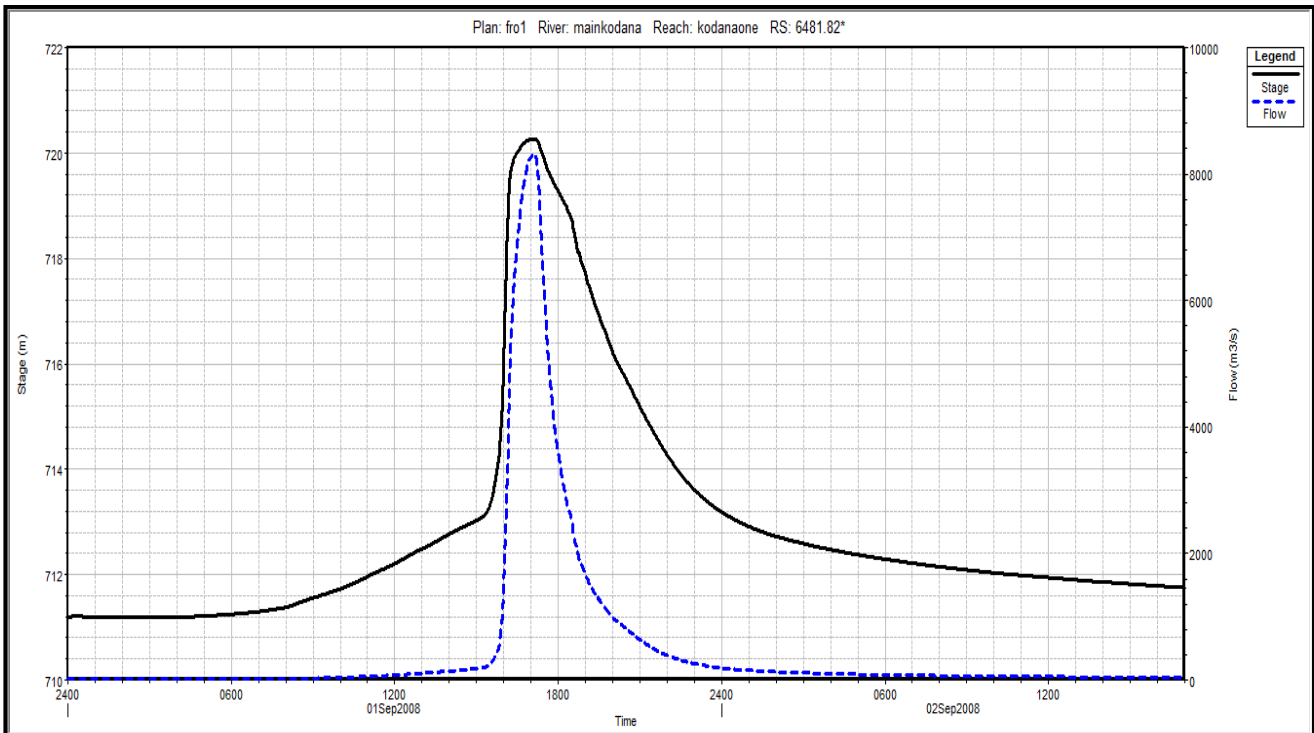
الشكل (20-5). المقطع العرضي وعمق الماء الأعظمي عند المقطع رقم (9489) بعد السد مباشرة



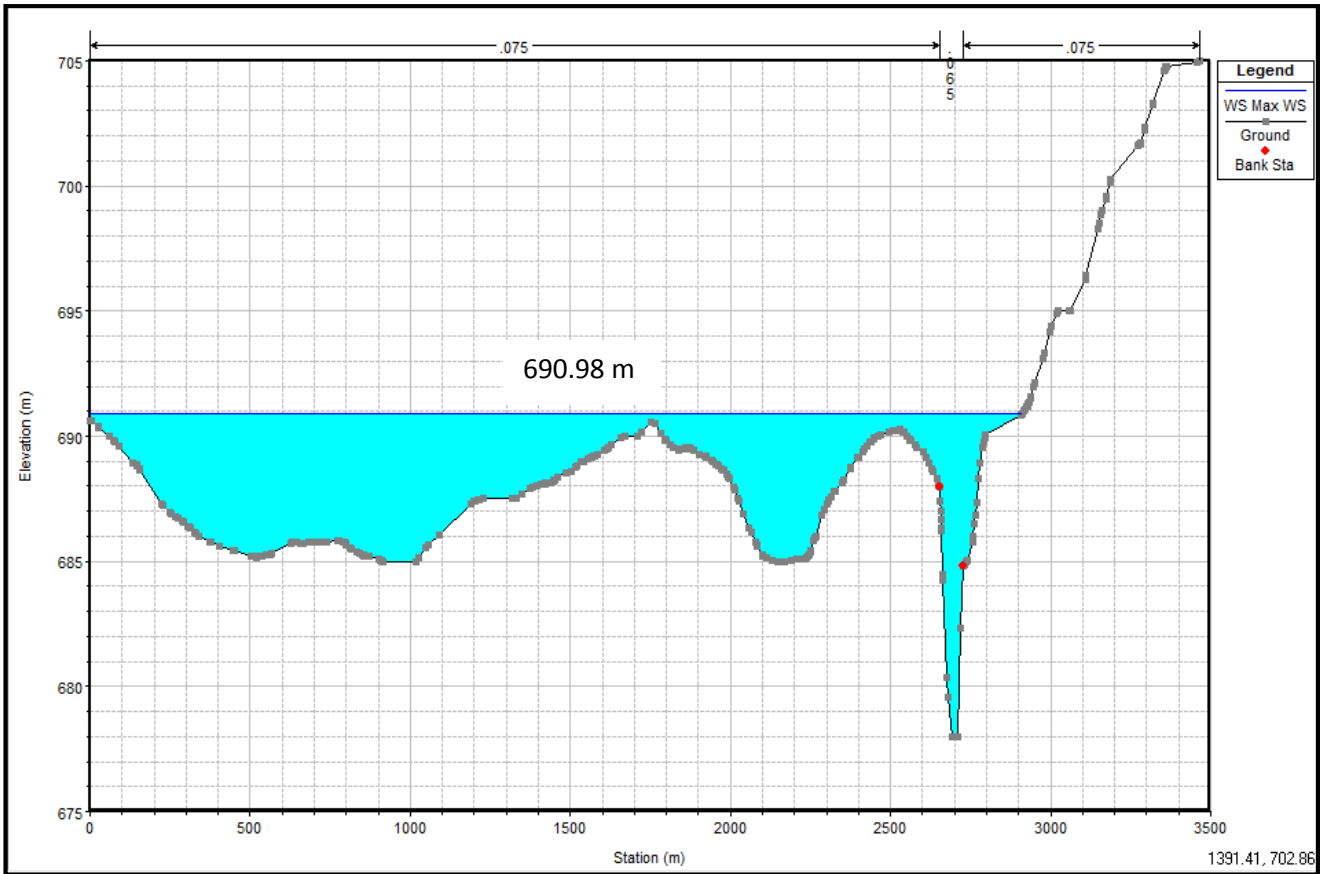
الشكل (21-5). تغير المنسوب والغازة مع الزمن عند المقطع (9489)



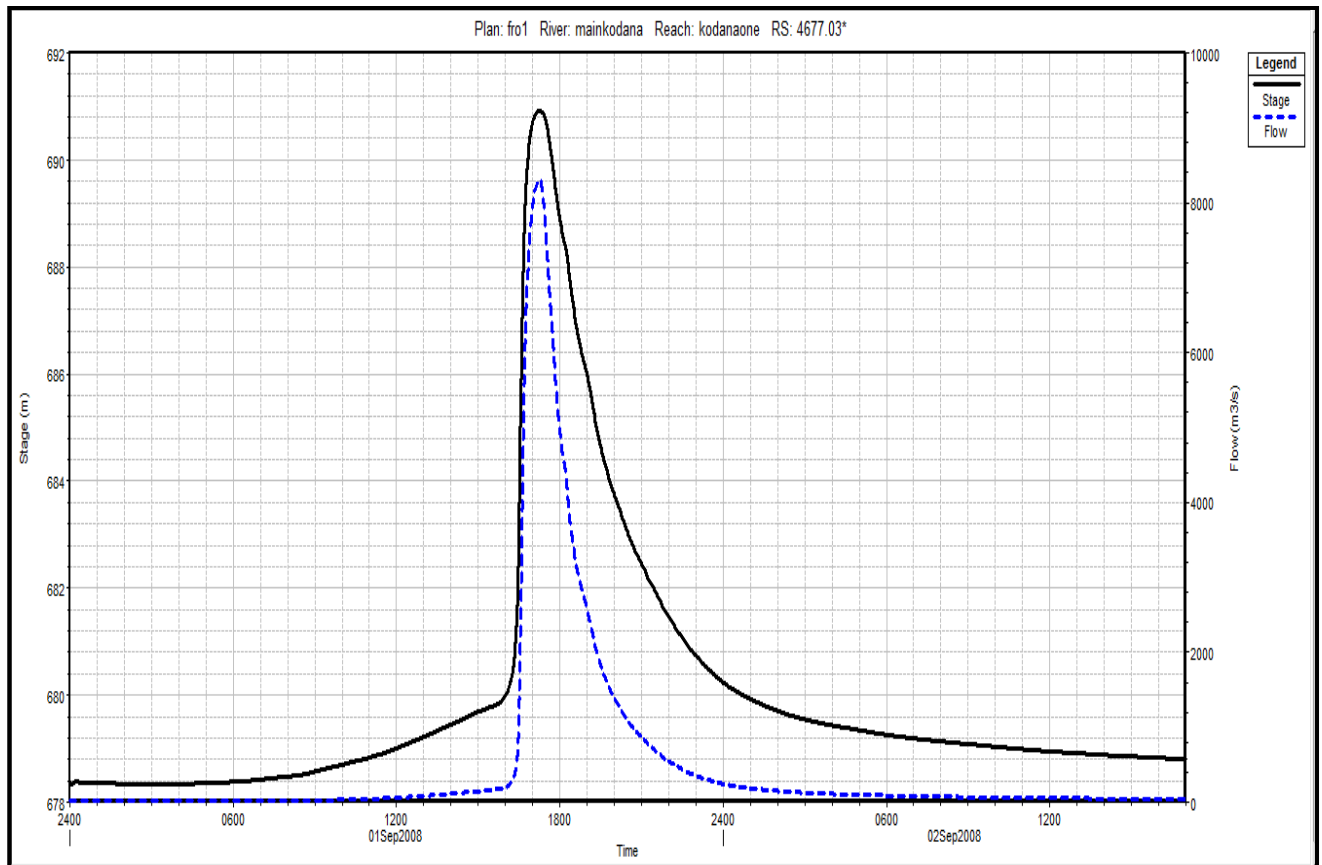
الشكل (22-5). شكل المقطع العرضي عند المقطع رقم (6481)



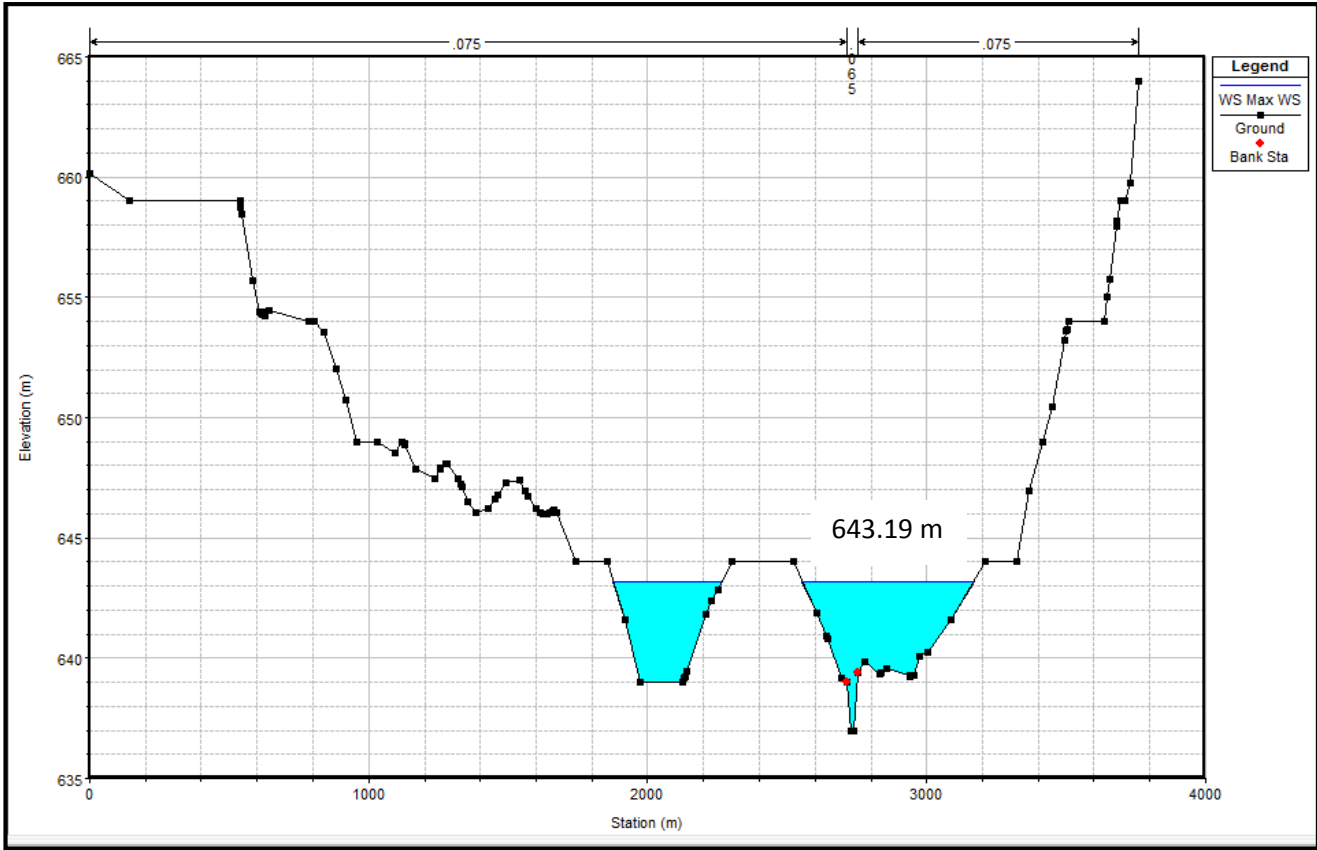
الشكل (23-5). تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (6481)



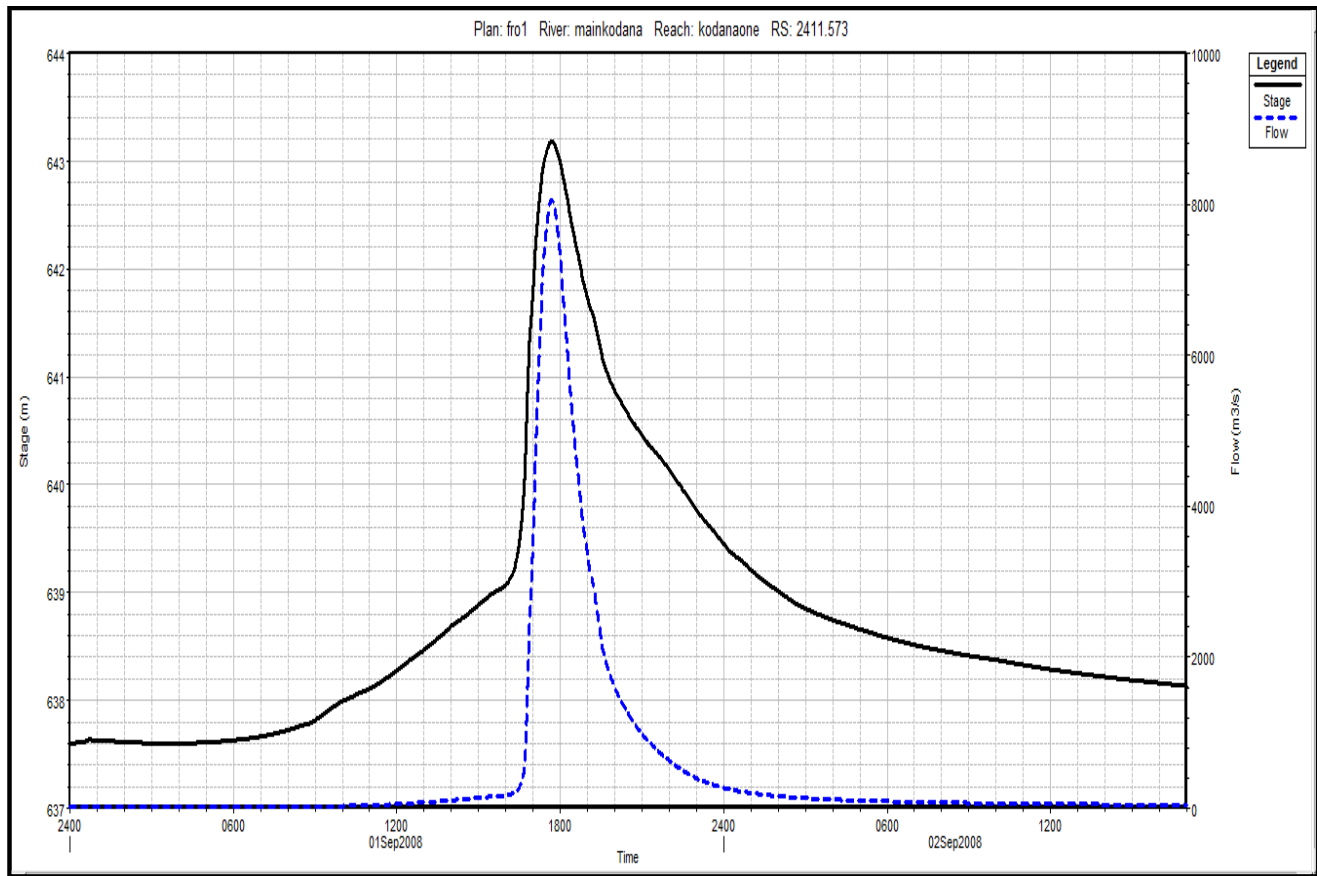
الشكل (24-5). شكل المقطع العرضي عند المقطع رقم (4677)



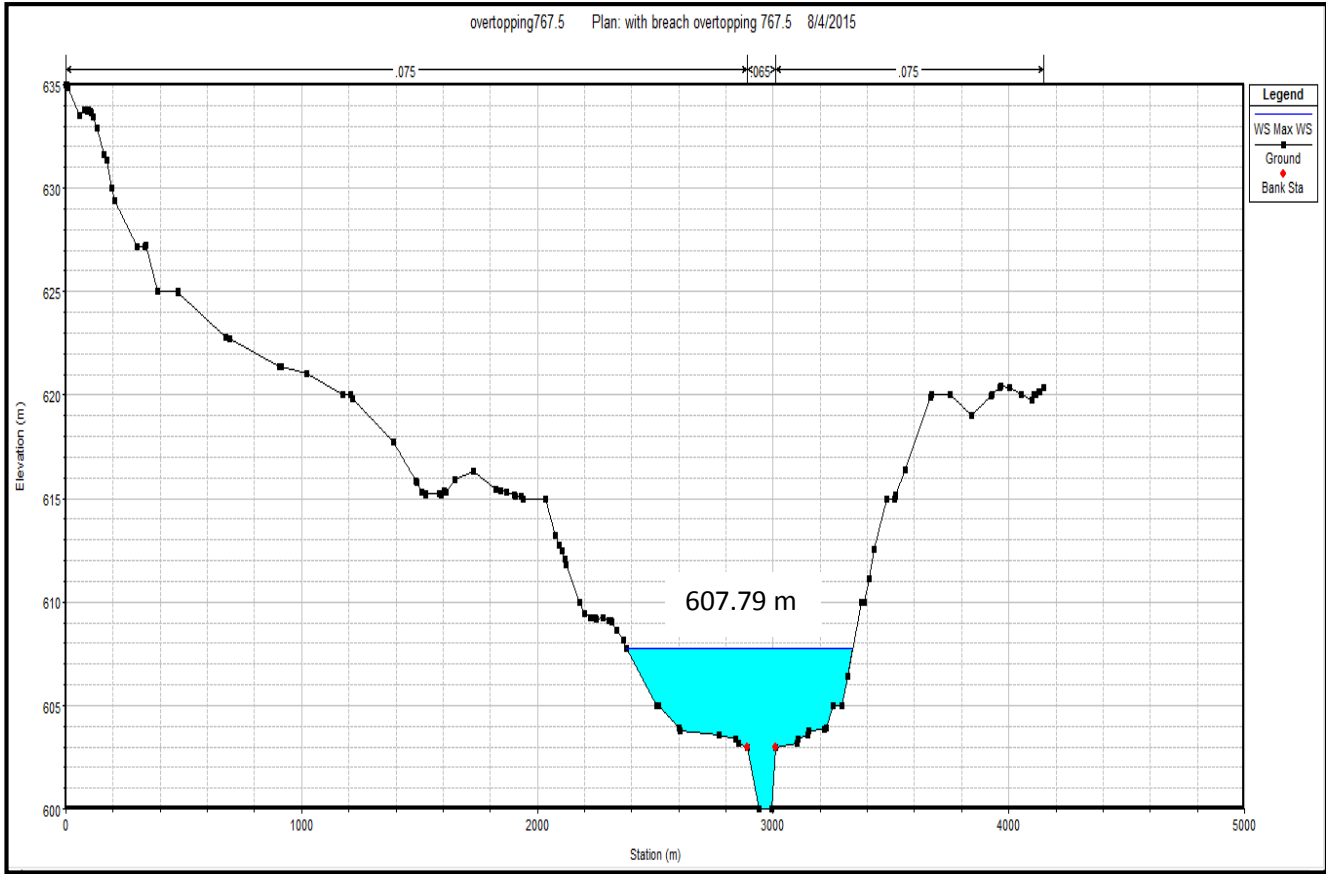
الشكل (25-5). تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (4677)



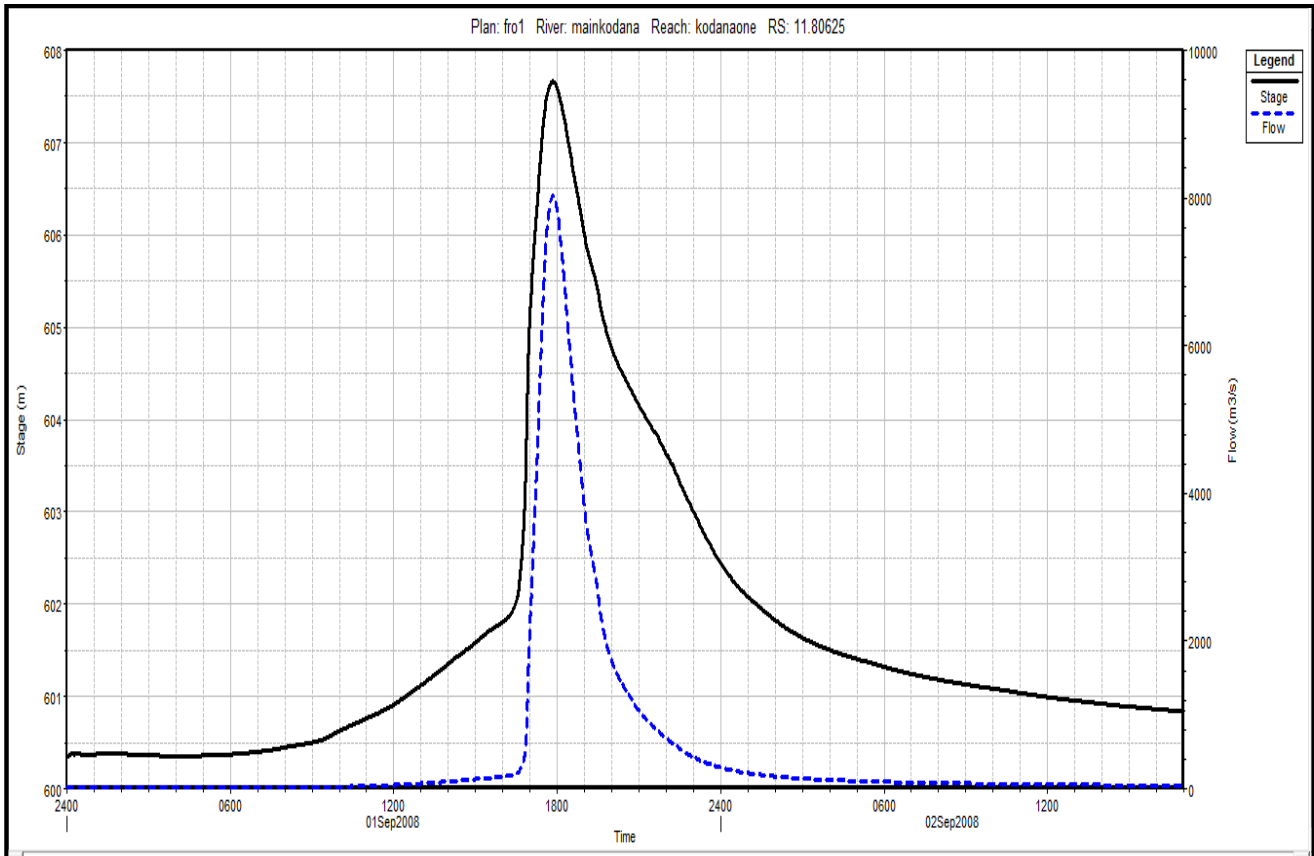
الشكل (26-5). شكل المقطع العرضي عند المقطع رقم (2411)



الشكل (27-5). تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (2411)



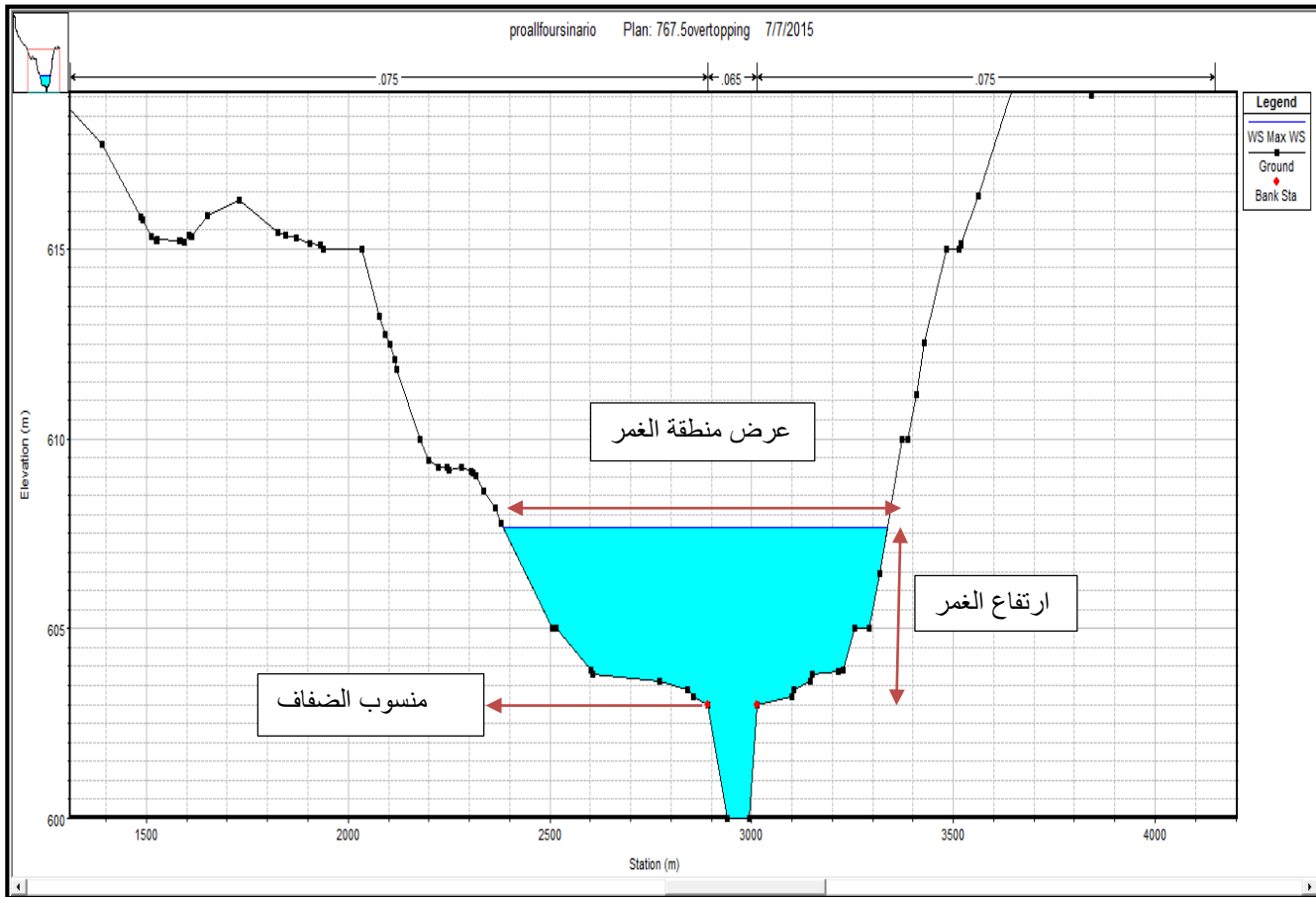
الشكل (28-5). شكل المقطع العرضي وارتفاع الماء عند المقطع رقم (11.8)



الشكل (29-5). تغير المنسوب والغزارة مع الزمن عند المقطع (11.8)

بعد إظهار النتائج على شكل مخططات سنقوم بتنظيم النتائج ضمن جدول كالتالي:

- رمز المقطع: حيث يتم ترميز المقاطع ضمن برنامج الـ Hec-Ras حيث يأخذ المقطع الأول الرقم الأكبر والمقطع الأخير الرقم الأصغر.
- وصف المقطع: حيث يتم وصفه تبعا لمكان وجوده على المجرى المائي.
- بعد المقطع المدروس عن السد.
- زمن وصول موجة الانهيار: أي الزمن الذي تقطعه الموجة من لحظة انهيار السد الى لحظة وصولها إلى المقطع المدروس.
- ارتفاع الغمر: أي ارتفاع الماء فوق منسوب الضفاف، الشكل (5-30).
- سرعة الانهيار العظمى: سرعة المياه العظمى في المقطع المدروس أثناء الانهيار.
- شكل المقطع العرضي.



الشكل (5-30). ارتفاع الغمر وعرض منطقة الغمر ومنسوب الضفاف في المقطع العرضي



يبين الجدول (1-5)، زمن وصول موجة الانهيار إلى المقاطع العرضية المختارة وكذلك ارتفاع الغمر ومدة الغمر وسرعة الانهيار العظمى فيها.

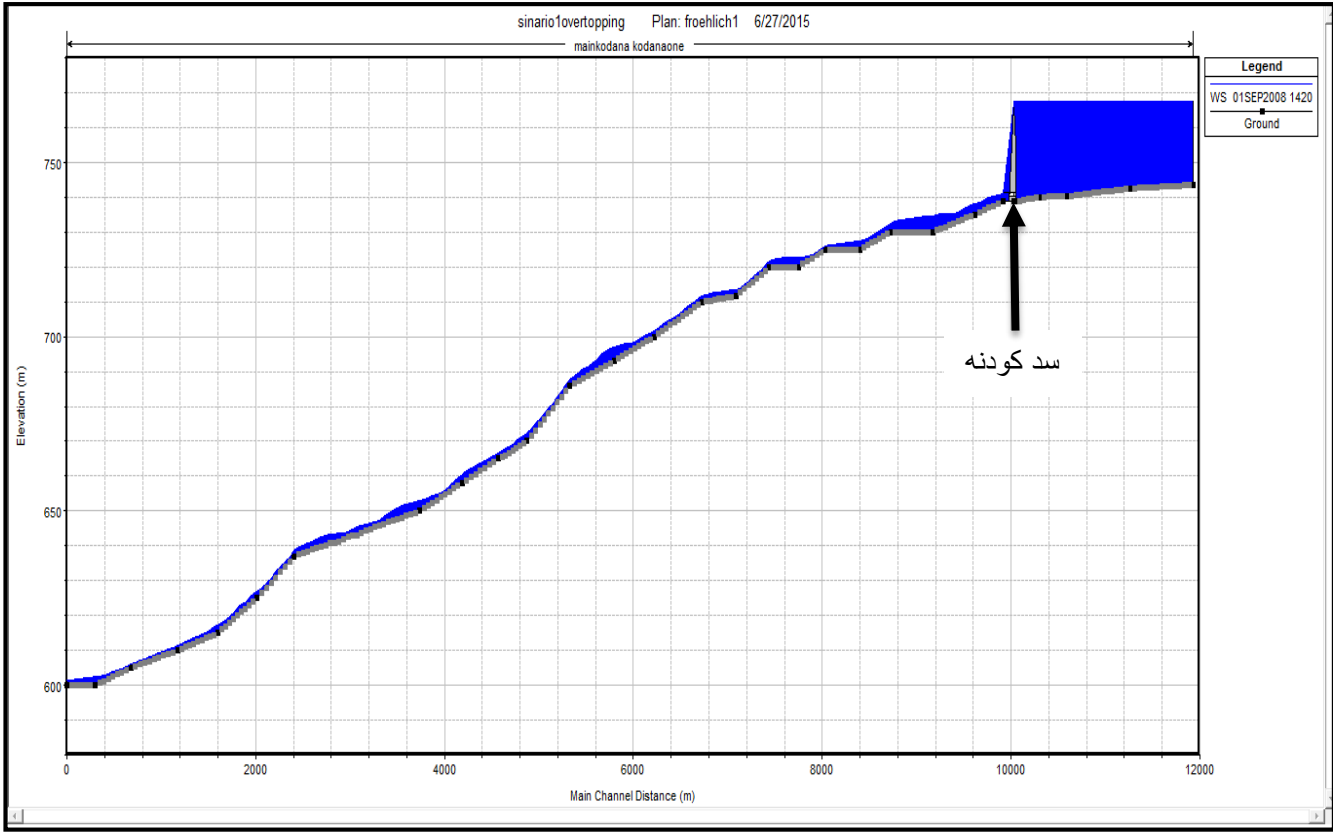
الجدول (1-5) نتائج السيناريو الأول (انهيار السد من نوع **overtopping** عند منسوب للماء أمام السد 767.5 m)

رمز المقطع	وصف المقطع	البعد عن سد كودنه (km)	زمن وصول موجة الانهيار (hour)	ارتفاع الغمر (m)	سرعة الانهيار العظمى (m/s)	شكل المقطع العرضي
9489	المقطع بعد السد مباشرة	0.08	0.6 دقيقة	8.15	4.53	الشكل (20-5)
6481	ضمن قرية السويسة	3.1	46 دقيقة	2.77	4.88	الشكل (22-5)
4677	ضمن قرية خربة القطا	4.9	50 دقيقة	6.07	9.26	الشكل (24-5)
2411	ضمن قرية خربة الاقرع	7.5	57 دقيقة	4.17	8.26	الشكل (26-5)
11.8	المقطع الأخير	10	1 ساعة و 2 دقيقة	2.61	3.45	الشكل (28-5)

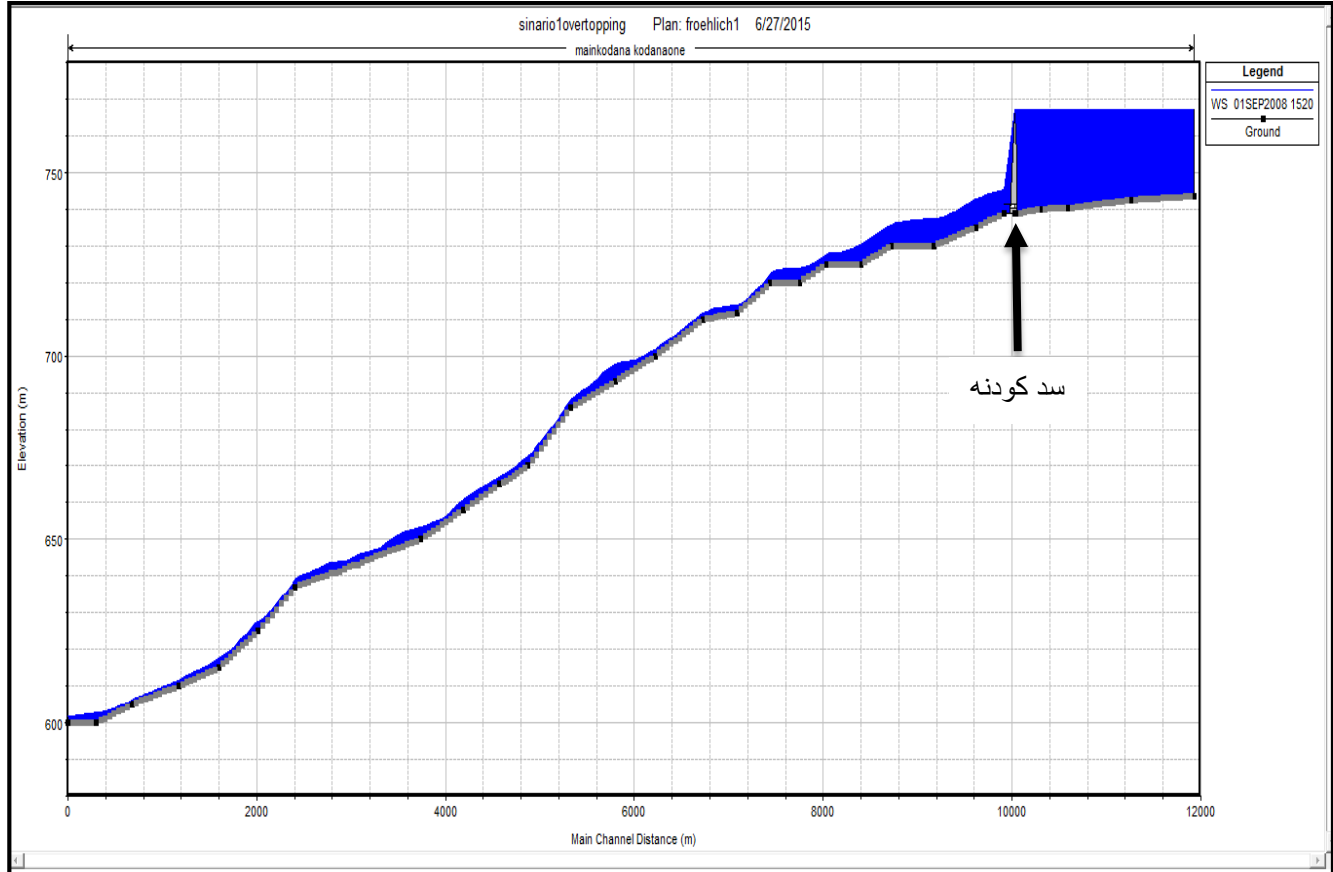
❖ مراحل تقدّم الموجة الفيضانية على طول المجرى المائي المدروس، الأشكال (31-5)، (32-5)، (33-5)، (34-5)، توضح مراحل تقدّم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار على طول المجرى المائي.

❖ أما حجم الفيضان الواصل إلى المقطع الأخير عند بحيرة سد غدير البستان فقد وصل إلى 82 مليون متر مكعب.

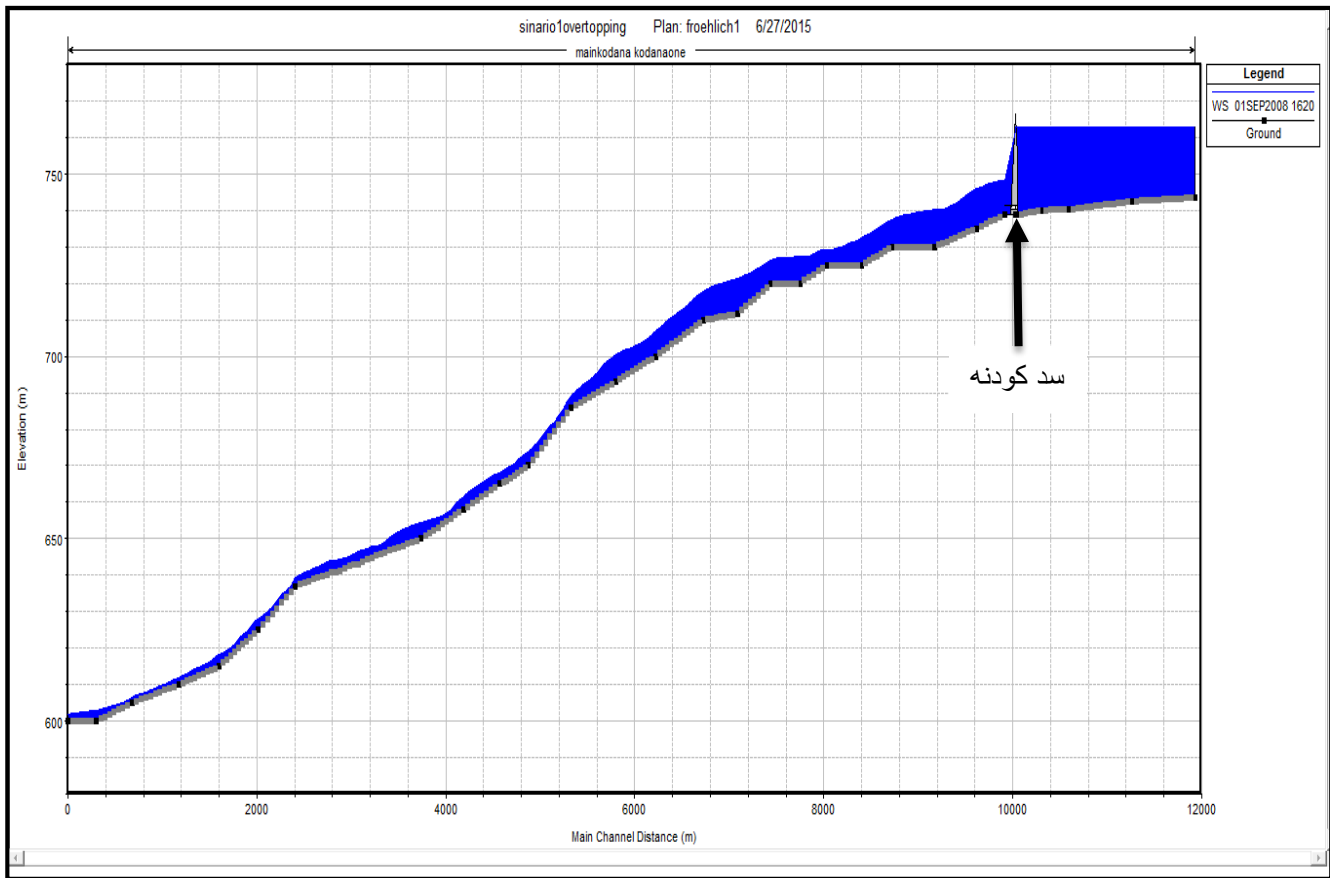
يبين الشكل (35-5) مقطع ثلاثي الأبعاد للمنطقة المدروسة موضح عليه المساحات المغمورة نتيجة الانهيار الافتراضي لسد كودنه كما يظهرها برنامج الـ Hec-Ras.



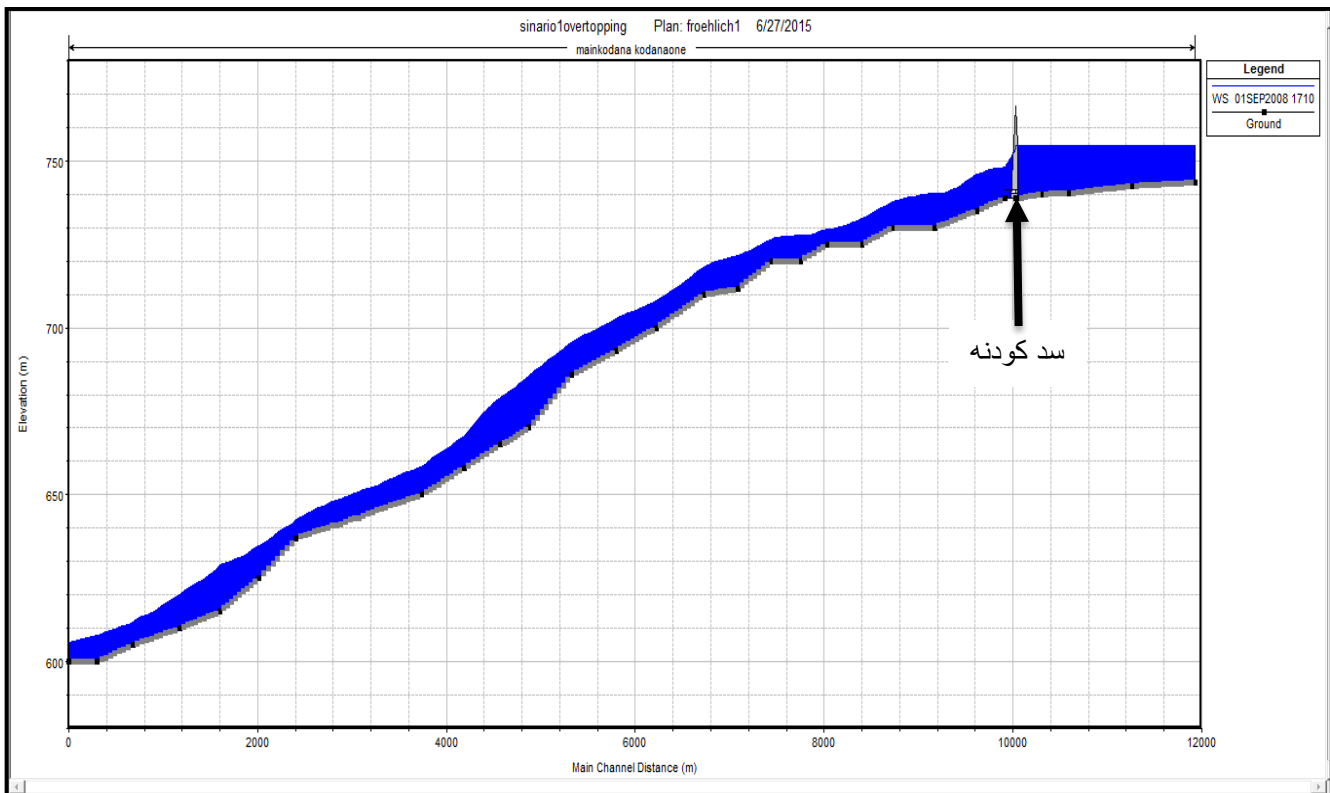
الشكل (31-5). المقطع الطولي للمجرى المائي قبل انهيار السد



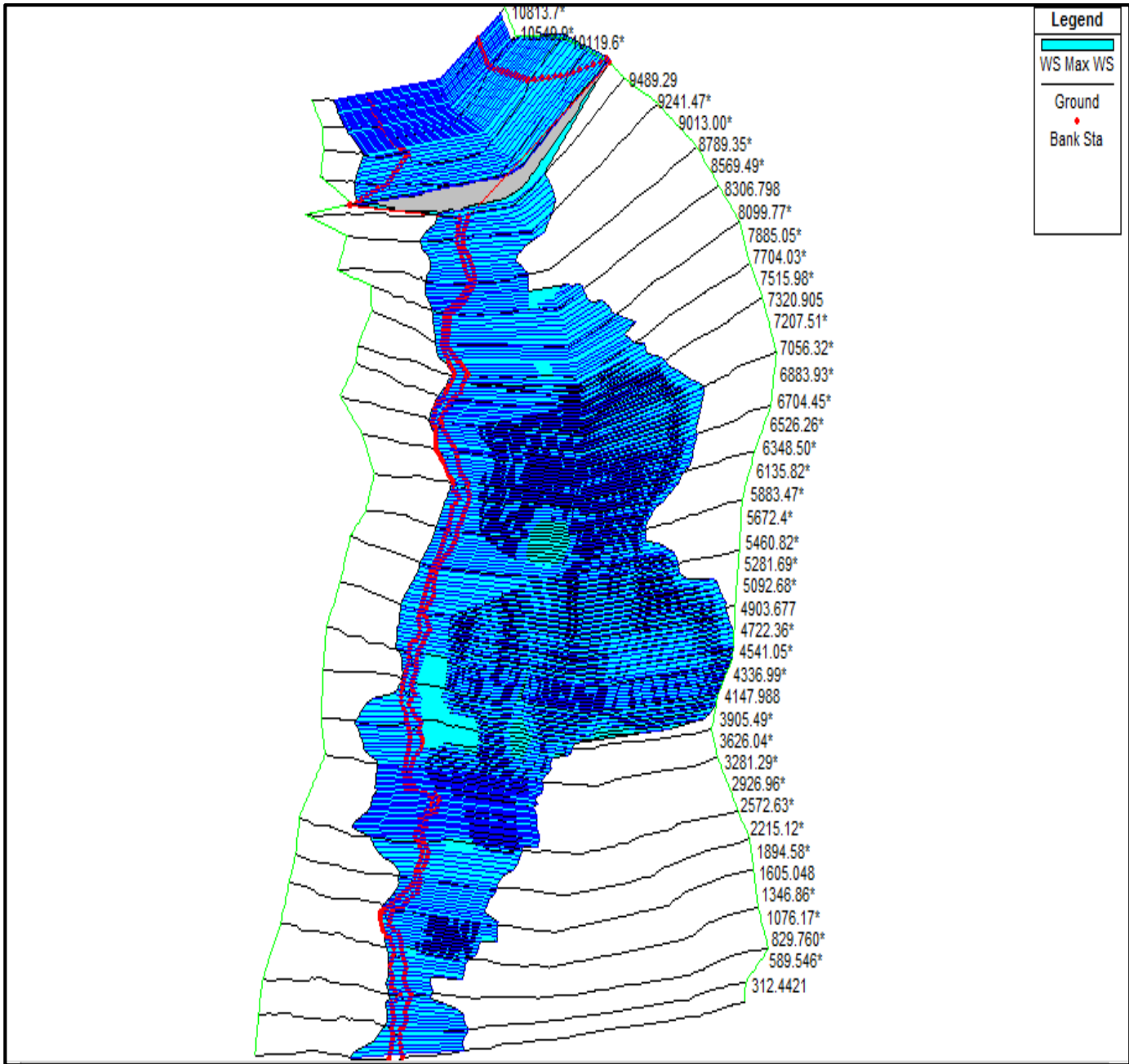
الشكل (32-5). تقدّم الموجة الفيضانية بعد مرور ساعة من انهيار السد



الشكل (5-33). تقدّم الموجة الفيضانية بعد مرور ساعتين من انهيار السد



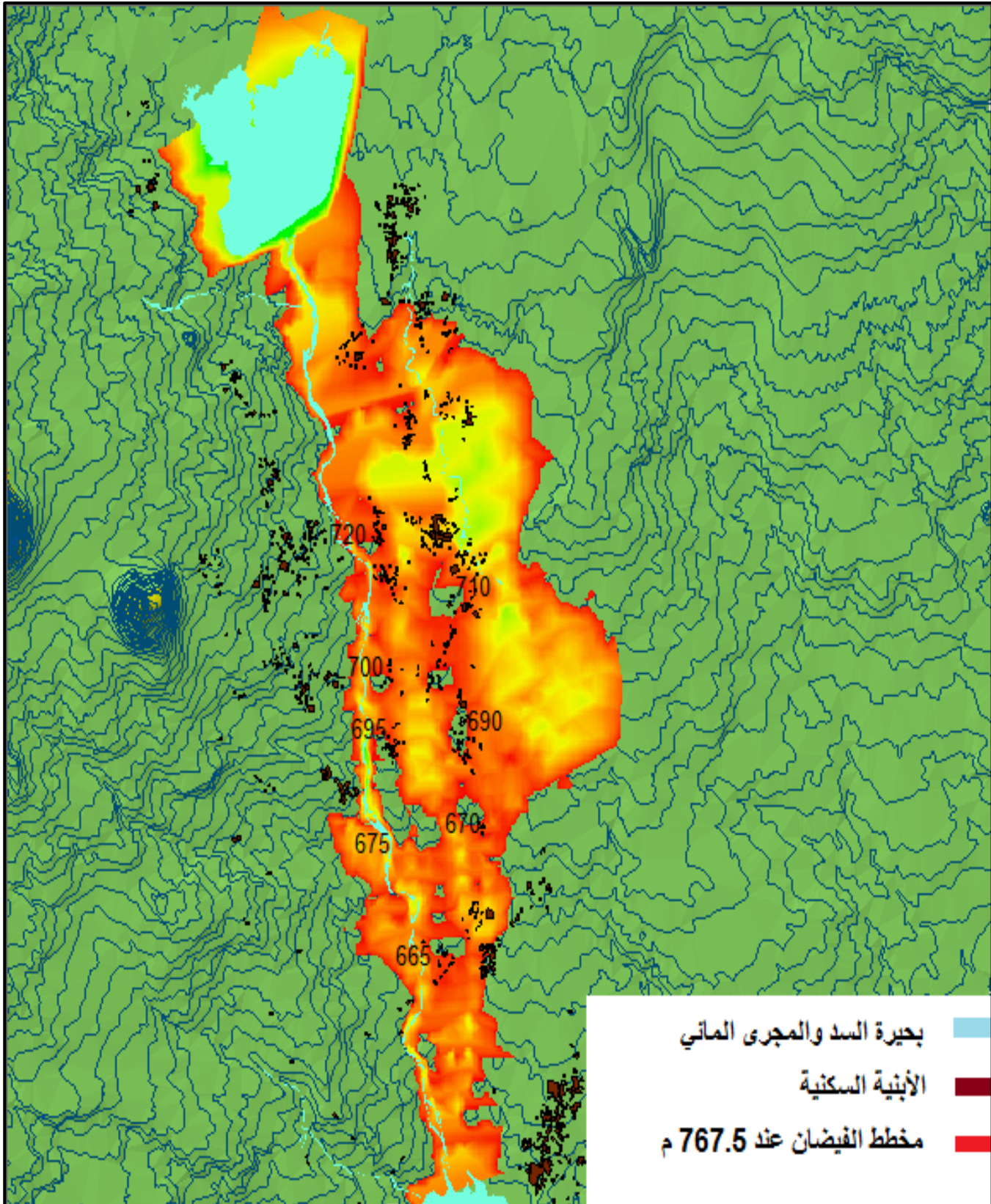
الشكل (5-34). تقدّم الموجة الفيضانية عند تشكل الفتحة الكاملة للانهيار



الشكل (5-35). مقطع ثلاثي البعد في المنطقة المدروسة يظهر عليه مساحات الغمر باستخدام برنامج الـhec-ras

بعد إظهار النتائج باستخدام برنامج الـhec-ras نقوم بتصديرها إلى برنامج الـGIS من أجل إظهار

مناطق السكنية والزراعية المتضررة من جراء الانهيار الشكل (5-36).

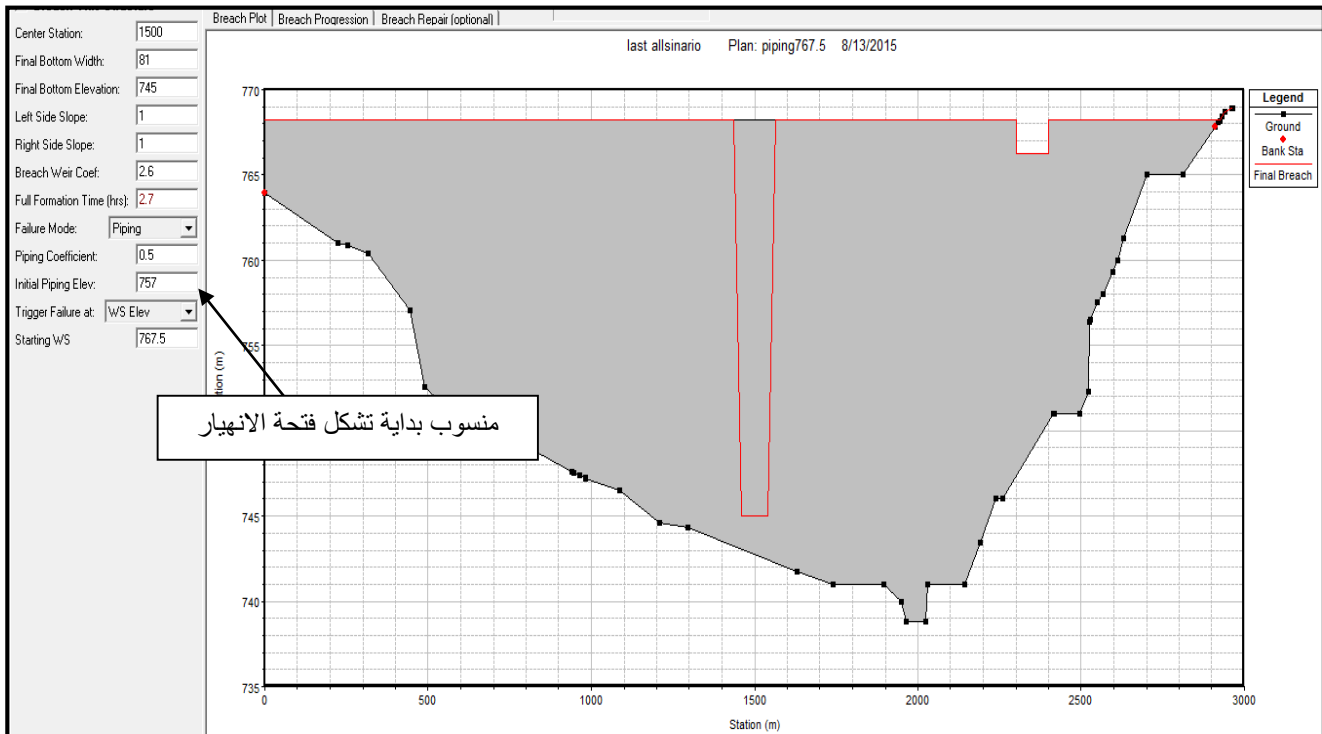


الشكل (5-36). مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الأول باستخدام برنامج الـ GIS

## 2-5-5. السيناريو الثاني: حالة انهيار السد من نوع (piping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب قمة السد 767.5 m عند مرور موجة فيضانية باحتمال 0.1%

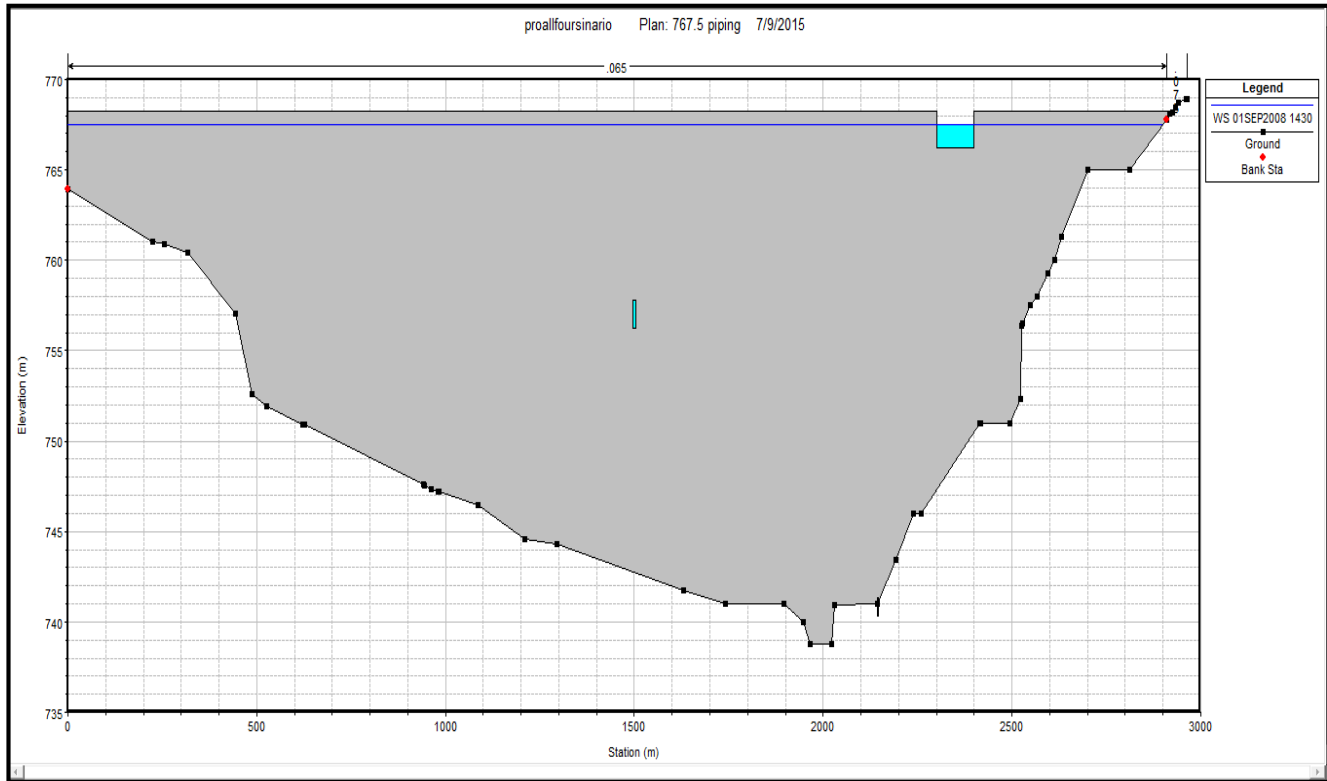
### 1-2-5-5. فرضيات الدراسة

- نوع الانهيار (piping)، أي أنه عندما يحدث الانهيار لسبب ما ستبدأ فتحة الانهيار بالتشكل في المناطق الضعيفة في جسم السد.
- مركز الانهيار (Center Station) 1500 متر يتم إدخاله حسب إحداثيات المفيض الشكل (2-24).
- المنسوب الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل ضمن جسم السد (Initial piping elevation) 757 m، الشكل (5-35).
- منسوب الماء في بحيرة التخزين الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل (Starting WS) 767.5 m.
- شكل فتحة الانهيار شبه منحرف لأنّ السد ركامي أمّا أبعادها فقد أخذت حسب طريقة Froehlich(1995).
- تاريخ بداية الدراسة افتراضي حيث تبدأ فتحة الانهيار بالتشكل عند وصول منسوب الماء أمام السد إلى 767.5 m ثمّ تتطور حتى تصل إلى الشكل النهائي بعد ساعتين و 36 دقيقة.
- الخطوة الزمنية 10 ثواني (في حالة انهيار السدود تؤخذ الخطوة الزمنية بين 1-60 ثانية).

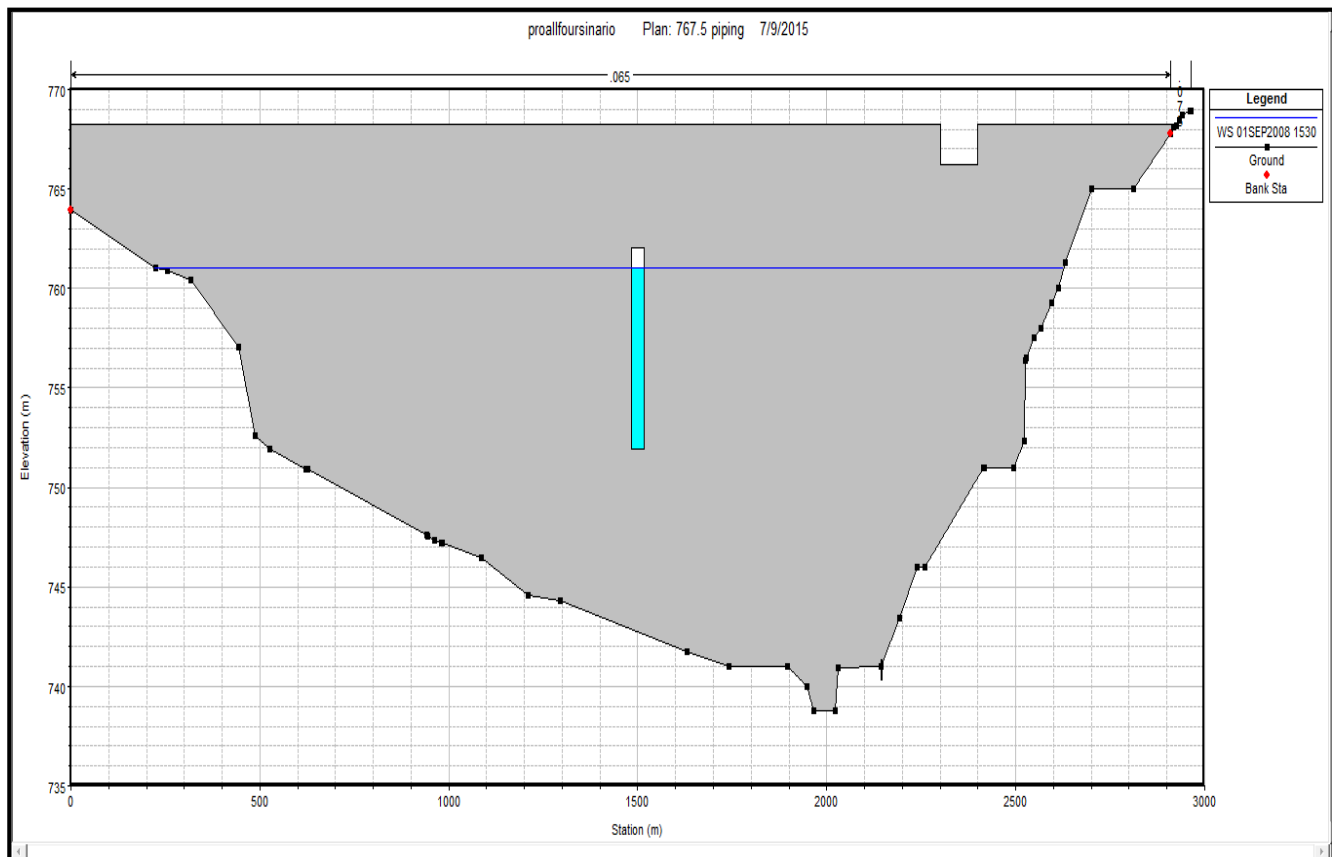


الشكل (5-37). المنسوب الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل ضمن جسم السد

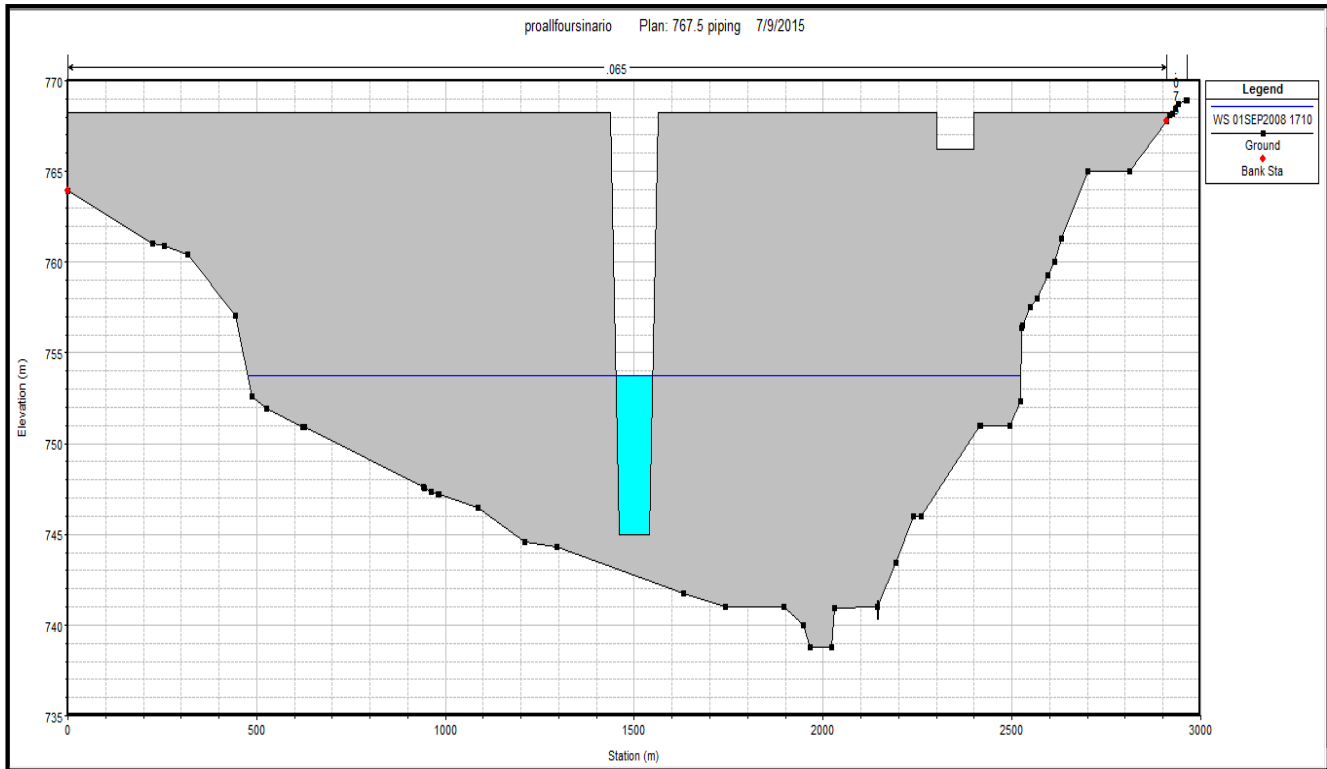
## 2-2-5-5. مراحل تشكل فتحة الانهيار من نوع (piping)



الشكل (38-5). بداية تشكل فتحة الانهيار



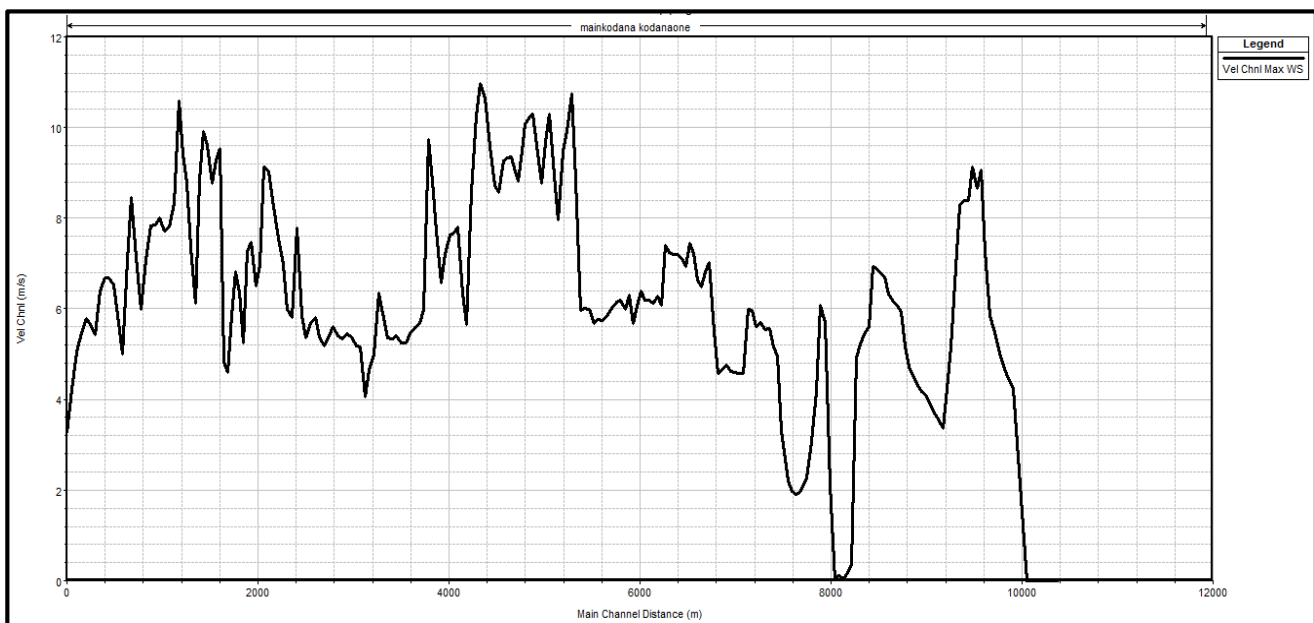
الشكل (39-5). حجم فتحة الانهيار بعد ساعة من بداية الانهيار



الشكل (40-5). حجم فتحة الانهيار النهائي

فيما يلي مخططات الانهيار للسيناريو الثاني، حيث نلاحظ اختلاف هذه المخططات عن مخططات السيناريو الأول بنسب صغيرة جدًا، أما الاختلاف الجوهري يكمن في بداية تشكل فتحة الانهيار فقط، الجدول (2-5).

بالنسبة للسرعات الأعظمية أثناء الانهيار، وصلت القيمة العظمى لها إلى  $10.97 \text{ m/s}$  في المقطع رقم 3905، الشكل (41-5).



الشكل (41-5). مخطط السرعة الأعظمية على طول المجرى المائي



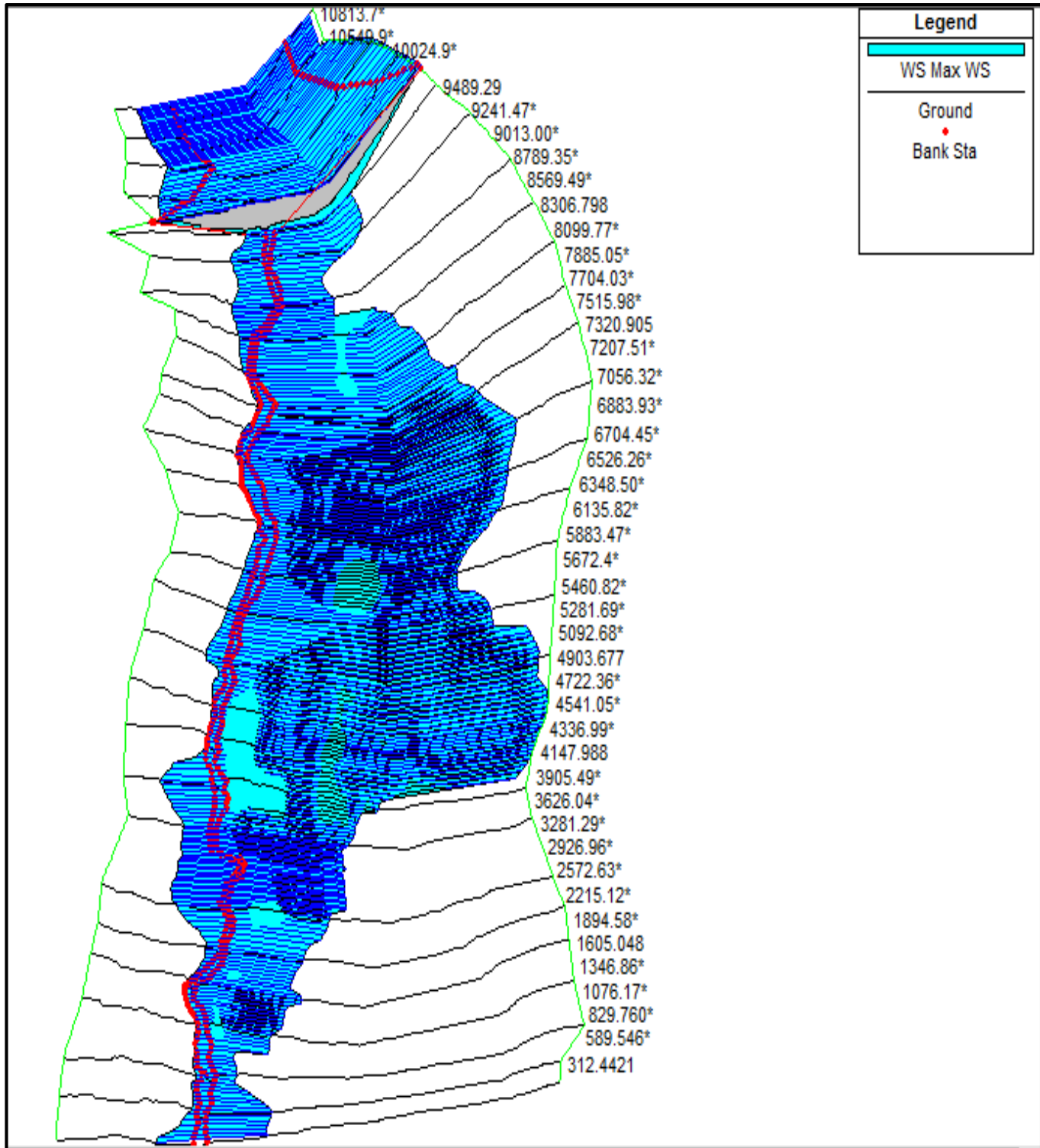
أما ارتفاع الغمر فقد وصلت أعلى قيمة له إلى  $7.72\text{ m}$  عند المقطع رقم 9489.

الجدول (2-5). نتائج السيناريو الثاني (انهيار السد من نوع PIPING عند منسوب للماء أمام السد إلى  $767.5\text{ m}$ )

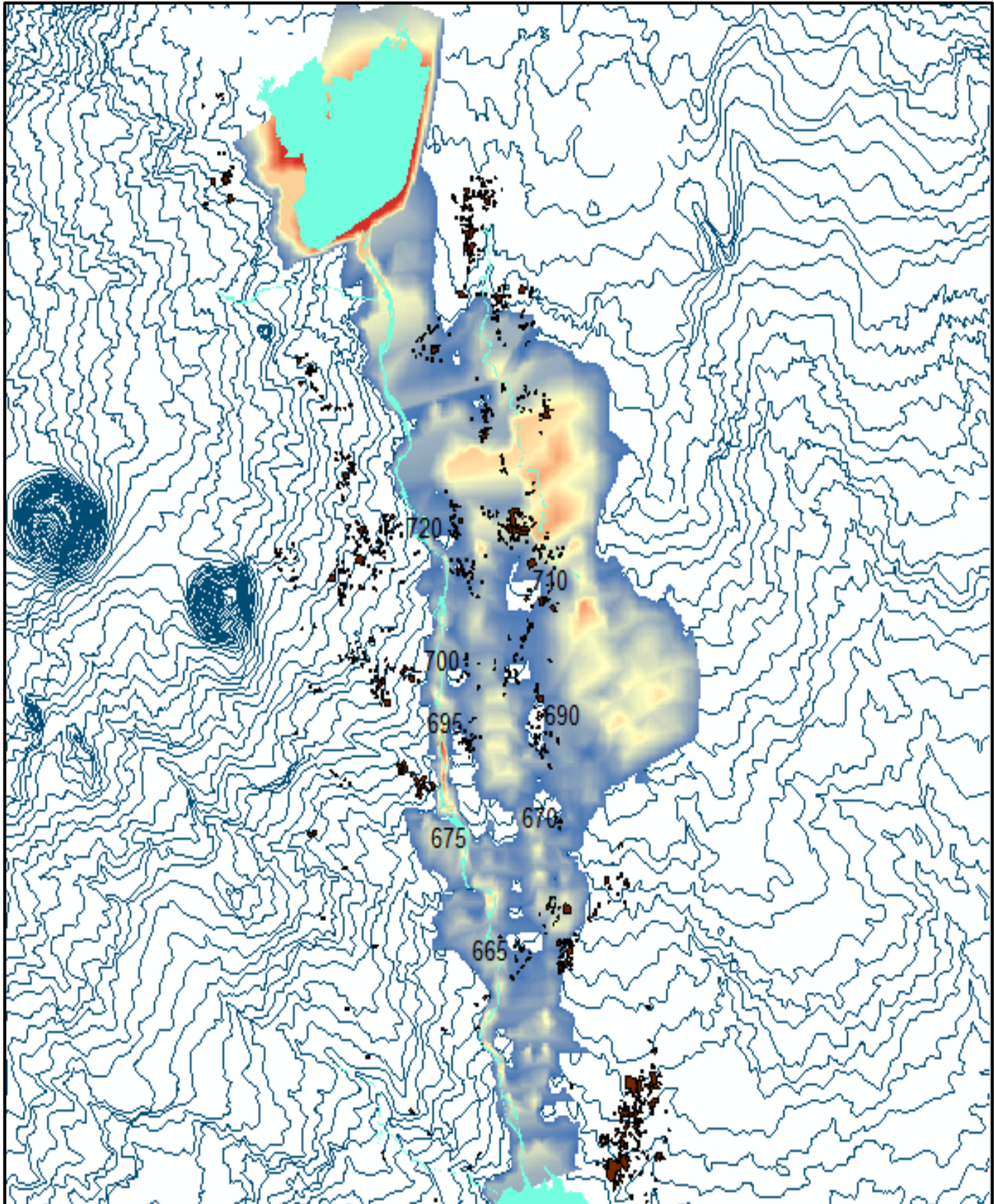
رمز المقطع	اسم المقطع	البعد عن سد كودنه (km)	زمن وصول موجة الانهيار (hour)	ارتفاع الغمر (m)	سرعة الانهيار العظمى (m/s)	شكل المقطع العرضي
9489	المقطع بعد السد مباشرة	0.08	1.2	7.72	4.24	الشكل (20-5)
6481	ضمن قرية السويصة	3.1	47.2	2.57	4.76	الشكل (22-5)
4677	ضمن قرية خربة القطا	4.9	51.5	5.39	8.94	الشكل (24-5)
2411	ضمن قرية خربة الاقرع	7.5	57.6	3.74	7.78	الشكل (26-5)
11.8	المقطع الأخير	10	ساعة و 2 دقيقة	4.22	3.27	الشكل (28-5)

نلاحظ أنّ الفرق بين السيناريو الأول والثاني في المناسيب ضمن كل مقطع عرضي ليس كبيراً لأن الشروط المحيطية والبدائية بينهما متشابهة وتختلف فقط بنوع الانهيار أي في بداية تشكل فتحة الانهيار أما بالنسبة لمناطق الغمر فهي متشابهة تماماً الشكل (42-5).

يوضح الشكل (43-5) مناطق الغمر الناتجة عن انهيار السد وفقاً لفرضيات السيناريو الثاني باستخدام برنامج الـ GIS.

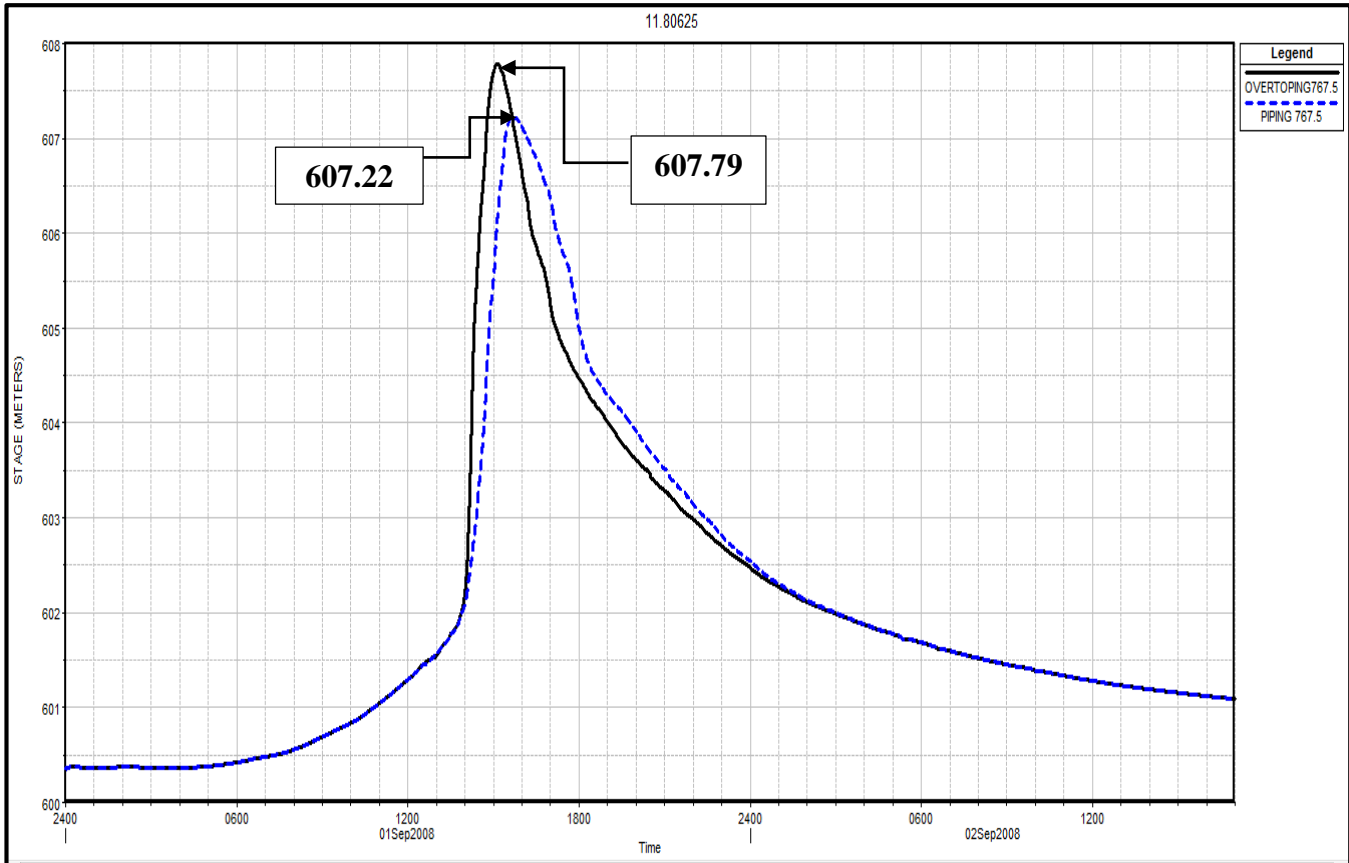


الشكل (5-42). مناطق الغمر للسيناريو الثاني باستخدام برنامج hec-ras



الشكل (5-43) مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الثاني باستخدام برنامج GIS

سنقوم بمقارنة سيناريوهات الانهيار عن طريق الأشكال والجداول من أجل توضيح الفروقات بينها، تبين الجداول (3-5)، (4-5)، (5-5)، الفرق بين سيناريوهات الانهيار في سرعات المياه العظمى أثناء الانهيار، وزمن وصول موجة الانهيار، وارتفاع الغمر عند بعض المقاطع العرضية على طول المجرى المائي. الشكل (44-5) يظهر الاختلاف في مناسيب المياه عند المقطع الأخير بين سيناريو الانهيار من نوع overtopping وسيناريو الانهيار من نوع piping حيث نلاحظ أنّ الفرق يصل إلى 0.57 متر.

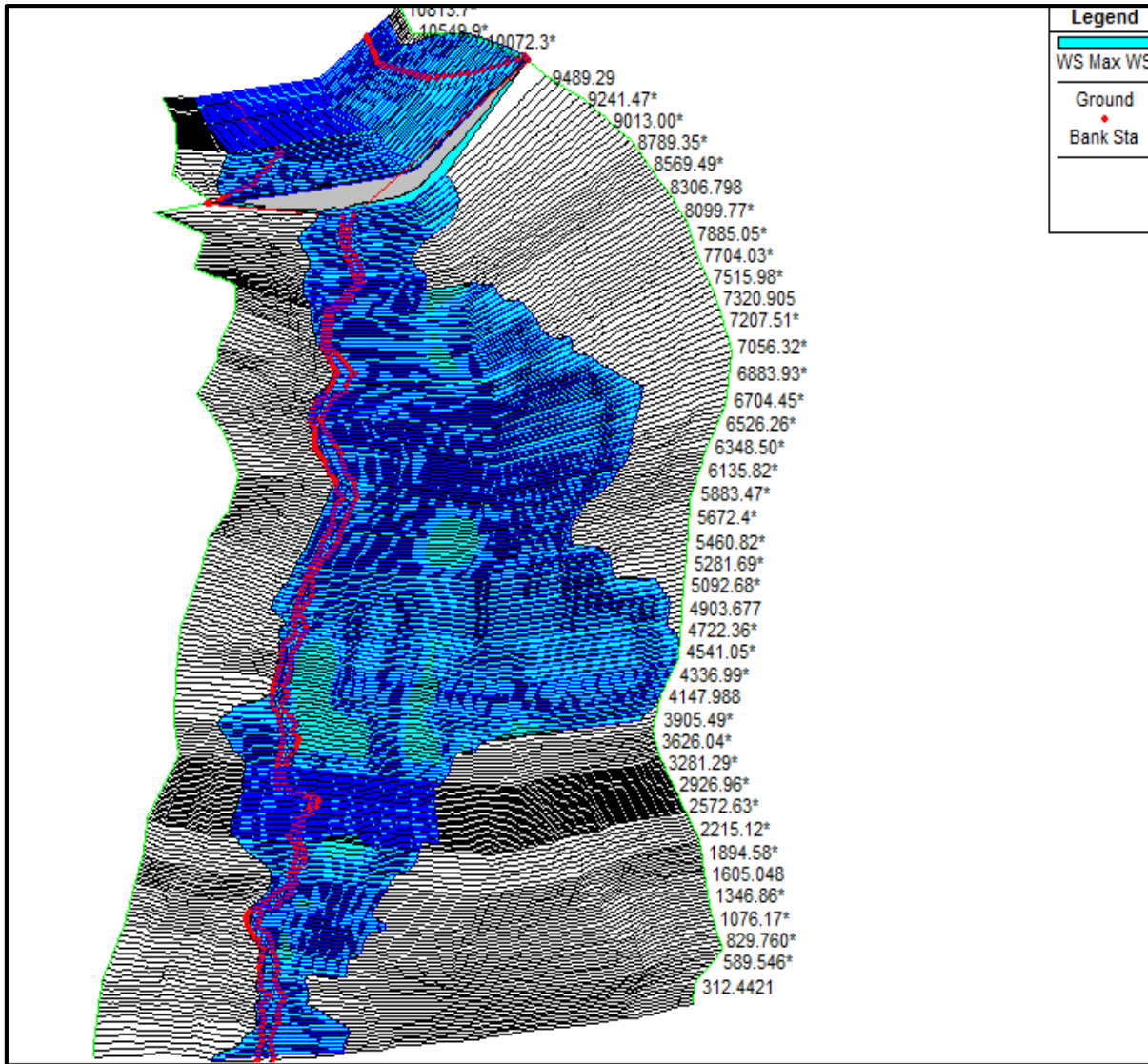


الشكل (44-5). الفرق بين السيناريو الأول والثاني في علاقة المنسوب مع الزمن عند المقطع الأخير (11.8)

3-5-5. السيناريو الثالث: حالة انهيار السد من نوع (overtopping) عند وصول منسوب الماء إلى منسوب التخزين الأعظمي 765.5 m.

### 1-3-5-5. فرضيات الدراسة

منسوب الماء في بحيرة التخزين الذي ستبدأ عنده فتحة الانهيار بالتشكل (Starting WS) 765.5 m. إضافة إلى فرضيات السيناريو الأول جمعها باستثناء الفرضية الثالثة. يبين الشكل (45-5)، المساحات المغمورة الناتجة عن انهيار السد وفقاً لفرضيات السيناريو الثالث.



الشكل (5-45). مناطق الغمر الناتجة عن السيناريو الثالث باستخدام برنامج الـ Hec-Ras

نلاحظ أنّ ارتفاع الغمر الناتج عن السيناريو الثالث كان أقل من السيناريو الأول والثاني وكذلك سرعات الانهيار، وبالنسبة لزمان وصول موجة الفيضان كان أطول وبالتالي يعتبر هذا السيناريو أقل ضرراً من السيناريو الأول والثاني.

### 6-5. مقارنة بين سيناريوهات الانهيار

ستتم المقارنة بين سيناريوهات الانهيار عن طريق الجداول كما يلي:

- الفرق في زمن وصول موجة الانهيار، الجدول (5-3).

الجدول (3-5). الفرق بين سيناريوهات الانهيار في زمن وصول موجة الانهيار

رمز المقطع	السيناريو الأول	السيناريو الثاني	السيناريو الثالث
9848	0.6 دقيقة	1.2 دقيقة	1.2 دقيقة
6481	46 دقيقة	47.2 دقيقة	50 دقيقة
4677	50 دقيقة	51.5 دقيقة	1 ساعة و دقيقة
2411	57 دقيقة	57.6 دقيقة	1 ساعة و 13 دقيقة
11.8	1 ساعة و 2 دقيقة	1 ساعة و 4 دقيقة	1 ساعة و 22 دقيقة

• الفرق في سرعات المياه العظمى خلال فترة الانهيار، الجدول (4-5).

الجدول (4-5). الفرق بين سيناريوهات الانهيار في سرعات المياه العظمى أثناء الانهيار

رمز المقطع	السيناريو الأول	السيناريو الثاني	السيناريو الثالث
9848	4.53	4.24	4.37
6481	4.88	4.76	4.79
4677	9.26	8.94	9.08
2411	8.26	7.78	7.77
11.8	3.45	3.27	3.26

• الفرق في ارتفاع الغمر، الجدول (5-5).

الجدول (5-5). الفرق بين سيناريوهات الانهيار في ارتفاع الغمر

رمز المقطع	السيناريو الأول	السيناريو الثاني	السيناريو الثالث
9848	8.15	7.72	7.63
6481	2.77	2.57	2.54
4677	6.07	5.39	5.35
2411	4.18	3.74	3.73
11.8	4.79	4.22	4.21

مما سبق نلاحظ أنّ السيناريو الأول هو أخطر سيناريو، حيث يكون منسوب الماء المحجوز أمام السد 767.5 متر وبالتالي يكون ارتفاع الماء 28.8 متر، وزمن وصول الماء إلى المقطع الأخير عند سد غدير البستان ساعة تقريبا بسرعة وسطية للجريان 6.60 متر في الثانية، أما حجم الفيضان الواصل إلى سد غدير البستان فقد وصل إلى 82.741 مليون متر مكعب، أي أنّ سد غدير البستان الذي يبلغ حجم تخزينه 10 مليون متر مكعب سينهار حكماً بعد ساعة من انهيار سد كودنه، والمساحات التي من المتوقع أنّها ستغمر نتيجة انهيار السد الافتراضي وصلت إلى 1400 هكتار تقريباً، وبالنسبة للمناطق الزراعية التي ستتضرر من هذا الانهيار وصلت مساحتها إلى 500 هكتار، كل ذلك يبين مدى خطورة انهيار سد كودنه على المناطق المحيطة به وعلى سد غدير البستان.

# الفصل السادس

النتائج والمقترحات





## الفصل السادس

### النتائج والمقترحات

#### 1-6. النتائج

- وفقاً للسيناريو الأخطر كانت النتائج كما يلي:

1. في حال حدوث الانهيار عند منسوب التخزين المقابل لمنسوب قمة السد 767.5 سيتجاوز ارتفاع الغمر ثلاثة أمتار في كثير من المناطق المأهولة بالسكان ويؤدي إلى أضرار ماديّة وبشرية كبيرة في المنطقة.
2. ستصل موجة الانهيار إلى المناطق الواقعة على بعد 10 كيلومتر من السد خلال زمن قدره ساعة.
3. بلغ حجم الفيضان الواصل إلى سد غدير البستان 82 مليون متر مكعب، مع العلم أنّ حجم تخزينه التصميمي 10.8 مليون متر مكعب، وهذا مؤشر على أنّ سد غدير البستان سينهار حكماً عندما ينهار سد كودنه بفارق زمني قدره ساعة تقريباً.
4. وصل عدد السكان في المناطق المعرضة لخطر الفيضان إلى 4000 نسمة تقريباً في الوقت الحالي.
5. قُدرت مساحة المناطق التي ستُغمر بمياه الفيضان الناتجة عن الانهيار الافتراضي للسد بـ 1400 هكتار، 600 هكتار منها مخصص للزراعة.

#### 2-6. المقترحات والتوصيات:

1. إجراء مسح طبوغرافي لكافة المناطق المعرضة للفيضانات نتيجة انهيار السدود في سوريا وبدقة عالية وجعلها متاحة لجهات معينة على مواقع الانترنت لسهولة البحث العلمي.
2. إجراء دراسة تفصيلية لكافة احتمالات انهيار السدود في سوريا باستخدام البرامج المتاحة ووضع خطة متكاملة لحالات الطوارئ المتعلقة بها.

3. وضع أجهزة قياس للغزارة والمنسوب على كافة المجاري المائية وخاصة المجاري التي تتضمن سدود وذلك من أجل الحصول على قيم دقيقة للغزارات والمناسيب وبالتالي إجراء دراسات دقيقة ومنطقية يمكن الاستفادة منها (المعايرة مثلاً).
4. إجراء دراسات معمقة عن كيفية تشكل فتحات الانهيار بالاستعانة ببيانات سدود منهاره سابقا في سوريا.
5. إعادة تخطيط المنطقة بناء على المناطق المعرضة لخطر الغمر الشديد والمتوسط والأدنى وبالتالي تحديد حرم للوادي المدروس، ووضع خطة متكاملة لإبلاغ السكان بالإخلاء عند حدوث انهيار بالسرعة القصوى وتحديد مسار ووجهة الإخلاء لكل تجمع سكني.
6. عدم السماح بإنشاء أبنية جديدة في المناطق التي يزيد ارتفاع الغمر فيها عن 2 متر أو إنشاء طابق غير مأهول بالسكان ارتفاع أعمدته 3 متر في تلك المناطق.

• المراجع العربية:

1. ثائر محمود الطائي وأنس محمد محمود رشيد، محاكاة موجة فيضان نهر دجلة في مدينة الموصل نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الخامس والعشرون- العدد الثاني، 2009.
2. شعبان حديد وبسام إبراهيم، المنشآت المائية /1/، حمص، منشورات جامعة البعث، كلية الهندسة المدنية، 1997.
3. ليلي حلاوة، دراسة تأثير الموجة الفيضانية الناتجة عن احتمال انهيار سد ترابي، حمص، جامعة البعث، رسالة ماجستير، 2009.
4. ليلي حلاوة، الإدارة المتكاملة للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي والتخفيف من أثارها، حمص، جامعة البعث، رسالة دكتوراه، 2014.
5. ماجد داوود، السدود الترابية والركامية "التصميم والتنفيذ" دمشق، نقابة المهندسين، فرع محافظة دمشق، 1996.
6. محمد الشبلاق ومحمد هشام التجار، الهيدرولوجيا، منشورات جامعة دمشق، 1995.

• المراجع الأجنبية:

7. Atallah, T, Jan 2002, "A Review on Dams and Breach Parameters Estimation", Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, VA Master of Science Hydrosystem Engineering.
8. Brett, F. and others, California, April 2006, "Simulation of Waita Reservoir Dam-Break Flooding" Hawaii State Civil Defense.(2-8-9)
9. Brunner, G. 2014, "Using Hec-Ras for Dam Break Studies", US Army Corps Of engineers, institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, TD-39.
10. Brunner, G. CEIWR-HEC (2010): HEC-RAS User's Manual, CPD-68.
11. Cameron, T. Gary, W. 2007, "Dam Failure Analysis Using HEC-RAS And HEC-GEORAS" Hydrologic Engineering Center, Davis, CA 95616.
12. Cameron, T. Ackerman, P. May 2012, "Hec-GeoRas GIS Tools for Support of Hec-Ras using ArcGIS 10" User's Manual, CPD-83.
13. Colorado State Department of Natural Resources, Division of Water Resources, Office of the State Engineer, Dam Safety Branch, 10 Feb 2010 "Guidelines for Dam Breach Analysis,".

14. Gee, D. Michael, 2008, "Comparison of Dam Breach Parameter Estimators "U.S. Army Corps Of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
15. Gee, M. 2012, "A Comparison of HEC-RAS Simulations with Laboratory Flume Unsteady Flow Measurements," HEC.
16. Gee, M. 2014, "Determination of Dam Breach Parameters", U.S. Army Corps Of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
17. Hu, H. Howard, J. Huang, H. 2012, "dam-Break Flood Inundation Analysis for Lake Toungs Reservoir".
18. Kinyanjui, P. Tsombe, K. Kwanaza and Gaterere, K. 2011, "Modeling Fluid Flow In open Channel With Circular Cross-Section" Department of Pure and Applied Mathematics, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Kenya.
19. Macchione, P. 2009, "Model for Predicting Floods due to Earthen Dam Breaching" Calabria, LAMPIT \_ Laboratorio.
20. Pakorn Petchprayoon, 2001, "the Prediction of flash Flood caused dam failure a case study at the tha dan dam", Thailand, National University Of Singapore.
21. Wahl, T. 1998, "Prediction of Embankment Dam Breach Parameters". U.S. Department of the Interior.

مواقع الكترونية:

22. <http://www.sshges.rushydro.ru>.
23. <http://ReliefWeb.int/sites>, "Syria - Collapse of Dam, 2012.
24. [http://www.geol.ucsb.edu/faculty/sylvester/Teton%20 Dam](http://www.geol.ucsb.edu/faculty/sylvester/Teton%20Dam).

**Abstract:**

This research involves the study of collapse 's possibility of Codana dam, which's located on Al-Rakad valley in Quneitra governorate, and was considered one of dams's series located on the same valley (e.g: Quneitra, Mantara, Rohnia, Breqa, Ghadeer Al-Bustan, Al-Rakad and Abdeen dam). The light had been shed on: the concept of dam's collapse, forms of collapse slots, and also giving a general idea of how Hec-Ras program works. The research presented a description of the studied area and a clarification for the related data. Steps of data processing had been shown for using them in the Hec-Ras, with help of both GIS program and Hec-Geo-Ras toolbar.

Also it had been shown the reliable collapse scenarios and the worst one when the access time of flood wave could be identified for every cross-section. It had found that the flood wave access with a time of about one hour to Ghadeer-Al Bustan dam, which is located at the end of the studied dream and about 10 Kilometers of Codana dam, and with an averaged velocity of 3.24 m/sec, in addition to the possibility of immersion to 1400 hectares by flood wave water. The flood wave volume accessed to Ghadeer Al-Bustan dam is about 82 million cubic meters. According to that, it had been put some possible solutions for intimating the stakeholders to evacuate the residential areas at the appropriate time.

**Keywords:**

Dam Breaks – Break Shapes – Model – Flood – Kodana Dam – Hec-Ras – GIS

Damascus University  
Faculty Of Civil Engineering  
Department Of Water



## **Study Flood Wave Caused By Dam Break Using HEC-RAS Program**

Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the  
degree of Master in Water Engineering

By

Eng. Emtithal Mohamad Mariam

Supervisor

Dr.Eng. Muhamad hesham altajar

Co-Supervisor

Dr.Eng. Muhamad alshblak

Damascus-2015