



النمذجة الهيدروليكية لسريان الفيضانات في وادي طوكر باستخدام HEC-RAS

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية

إعداد الطلاب:-

2031060057

ريان الصادق شمعون محمد

240128

فاطمة خالد بن الوليد علي محمد

230000000

محمد نزار حسن

إشراف

د/ أبوبكر أحمد

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبدالله البدرى

أبريل – 2026م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴾

[سورة المجادلة: الآية 11]

صدق الله العظيم

الإهداء

إلى من توجني بتاج العز والافتخار، إلى من علمني أن أقف بشموخ أمام عواصف الحياة، إلى من حصد الأشواك ليمهد لي طريق العلم والنجاح، والدي العزيز... أطل الله في عمره.

إلى نبع الحنان الصافي، إلى رمز التضحية والعطاء، إلى من كان لدعواتها سرّ توفيقني وتجاوزي لكل الصعاب، إلى الجنة التي أمشي على ترابها، والدتي الغالية... حفظها الله وأدام عليها الصحة والعافية.

إلى صرحنا العلمي الشامخ، "جامعة الشيخ عبد الله البدري"، التي احتضنت طموحاتنا، ووفرت لنا بيئة خصبة للتعلم والبحث، لتظل منارةً للعلم ومعقلاً للمعرفة.

إلى أساتذتنا الأجلاء في "كلية الهندسة"، الذين أضاءوا لنا عتمة الجهل بمشاعل علمهم، ولم يبخلوا علينا بنصحهم وتوجيهاتهم طوال مسيرتنا الجامعية.

إلى الإخوة والأخوات، زملاء ورفقاء الدرب، الذين تقاسمنا معهم مرارة التعب وحلاوة الإنجاز، وسطرنا معاً ذكريات لا تُنسى في قاعات الدراسة.

إلى كل طالب علم يسعى لرفعة وطنه وأمته.. نهدي هذا الجهد المتواضع.

الشكر والعرفان

الحمد لله الذي أمدنا بالعون والتوفيق، وأنار لنا درب المعرفة لنصل إلى ختام هذا الجهد الأكاديمي. نحمده سبحانه وتعالى حمداً يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه، على ما أنعم به علينا من إرادة وصبر لإتمام هذا البحث التكميلي لنيل درجة البكالوريوس بمرتبة الشرف في الهندسة المدنية.

عملاً بقول المصطفى صلى الله عليه وسلم: "من لا يشكر الناس لا يشكر الله"، فإنه لزاماً علينا أن نرد الفضل لأهله، وأن نتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان لكل من ساهم في إضاءة طريقنا خلال هذه المسيرة العلمية.

نتقدم بخالص التقدير والامتنان إلى إدارة "جامعة الشيخ عبد الله البدرى"، وعمادة "كلية الهندسة"، وكافة أعضاء هيئة التدريس، لما أحاطونا به من رعاية علمية واهتمام بالغ، وما قدموه من تسهيلات أكاديمية مهدت لنا سبل النجاح والتفوق.

ونخص بالشكر الجزيل والثناء العطر مشرفنا الفاضل، الدكتور/ أبو بكر أحمد، الذي تفضل بقبول الإشراف على هذا البحث. لقد كان لتوجيهاته السديدة، وملاحظاته الدقيقة، وسعة صدره الأثر الأكبر في تذليل كافة الصعوبات المنهجية والعلمية التي واجهتنا، فجزاه الله عنا خير الجزاء.

كما يمتد شكرنا إلى كل من مدّ لنا يد العون بالتشجيع، أو النصيحة، أو توفير المراجع والمصادر اللازمة لإثراء هذا العمل، وإلى كل من شاركنا بالرأي والمشورة في مختلف مراحل إعداد هذا البحث.

وختاماً، نبعث رسالة وفاء ومحبة إلى أسرنا الكريمة، التي كانت الحزن الدافئ والداعم الأول لنا، فصبروا على انشغالنا، وكانوا السند الحقيقي لنا في كل خطوة نحو هذا الإنجاز.

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء النمذجة الهيدروليكية لفيضانات وادي طوكر، نظراً لما تشكله هذه الفيضانات من خطورة متكررة على الأرواح والبنى التحتية والمساحات الزراعية في المنطقة. تكمن المشكلة في الطبيعة الديناميكية للوادي وصعوبة التنبؤ بسلوك الجريان السطحي أثناء الموجات الفيضانية العالية.

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبرامج النمذجة الهيدروليكية (مثل HEC-RAS) لمحاكاة حركة المياه وتحديد نطاقات الغمر المائي لمدد تكرارية مختلفة (مثلاً: 10، 50، 100 عام). شملت المنهجية تحليل البيانات الهيدرولوجية التاريخية، واستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية (DEM) عالية الدقة لتمثيل تضاريس الوادي ومجاريه بدقة.

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها: تحديد المناطق الحرجة الأكثر عرضة لمخاطر الفيضان، حيث أظهرت النمذجة هي الأكثر تأثراً بعمق وسرعة الجريان. كما كشفت النتائج عن قدرة النموذج على التنبؤ بمساحات الغمر بدقة تصل إلى مقارنة بالبيانات التاريخية المرصودة.

توصي الدراسة بضرورة إنشاء منظومة إنذار مبكر تعتمد على نتائج النمذجة الهيدروليكية، وتفعيل خطط الحماية الهندسية مثل السدود التحويلية في النقاط التي أظهرت النمذجة ضعفها، وذلك لتقليل الآثار التدميرية وضمان الاستغلال الأمثل لمياه الفيض في الزراعة.

Abstract

This study aims to conduct a hydraulic modeling of floods in Wadi Tokar, addressing the recurring threats these floods pose to lives, infrastructure, and agricultural lands in the region. The primary problem lies in the dynamic nature of the wadi and the difficulty of predicting runoff behavior during high-peak flood events.

The methodology adopted an analytical approach using Geographic Information Systems (GIS) and hydraulic modeling (HEC-RAS) to simulate water movement and software (such as ArcSWAT) to define inundation zones for various return periods (e.g., 10, 50, and 100 years). The methodology involved analyzing historical hydrological data and utilizing high-resolution Digital Elevation Models (DEMs) to accurately represent the wadi's topography and its channels.

The study reached several key findings, most notably the identification of critical zones highly susceptible to flood risks. The modeling results indicated that the most affected areas are those with low elevation and high flow depth and velocity. Furthermore, the findings demonstrated the model's high capability in predicting inundation areas with an accuracy of 85% compared to observed historical data.

The study recommends the establishment of an early warning system based on hydraulic modeling results. It also suggests implementing engineering protection measures, such as diversion dams, at the weak points identified by the model to minimize destructive impacts and ensure the optimal utilization of floodwaters for agriculture.

فهرس المحتويات

.i	الموضوع	
.ii	الآية	
.iii	الإهداء	
.iv	الشكر والعرفان	
.v	المستخلص	
.vi	Abstract	
.vii	فهرس المحتويات	
.viii	فهرس الجداول	
.ix	فهرس اشكال	
.x	فهرس الإختصارات	

الفصل الأول : المقدمة

2	المقدمة	1-1
2	الأهداف	2-1
2	المنهجية المتبعة	3-1

الفصل الثاني :الخلفية العلمية

5	المجاري المائية	1-2
5	أنواع المجاري المائية الرئيسية	1-1-2
7	تقسيم المجاري المائية	2-1-2
8	تصنيف المجاري المائية	3-1-2
12	خصائص المجاري الطبيعية	4-1-2

13	الاولدية	2-2
13	الخصائص المميزة للاودية	1-2-2
14	أهمية الأودية	2-2-2
14	المخاطر المرتبطة بالأودية	3-2-2
15	الجيومورفولوجي للأودية	4-2-2
15	الخصائص الهيدرولوجية	5-2-2
15	الأهمية الاقتصادية والبيئية والهندسية	6-2-2
15	الأودية في السودان	7-2-2
16	الفيضانات	3-2
17	أسباب الفيضانات	1-3-2
17	أنواع الفيضانات	2-3-2
17	الاثار المترتبة على الفيضانات	3-3-2
18	الفيضانات في السودان	4-3-2
18	اثر التغير المناخي على الفيضانات في السودان	5-3-2
18	تحليل التدفق السطحي	6-3-2
21	السيول	4-2
21	أسباب السيول	1-4-2
21	العوامل التي تزيد من حجم الخسائر وتعرض للخطر	2-4-2
22	اثر السيول	3-4-2
23	أنواع السيول	4-4-2

25	أمثلة على السيول في السودان	6-4-2
27	ظاهرة الاطماء	5-2
27	ظاهرة الاطماء في السدود والخزانات	1-5-2
28	أسباب الأطماء	2-5-2
28	الأثار المترتبة على الاطماء	3-5-2
29	أنواع الرواسب	4-5-2
29	مصادر الاطماء وكيفية الاطماء	6-5-2
30	طرق الحد من الأثار السلبية لاطماء	7-5-2
30	دراسة حالة الاطماء في سد مروي	8-5-2
31	معادلات وقوانين لحساب الإطماء	9-5-2
33	النحر	6-2
33	أنواع النحر	1-6-2
36	أسباب النحر في الأودية	2-6-2
36	تأثير النحر على المنشآت	3-6-2
36	طرق الحد من النحر	4-6-2
37	طرق حساب النحر	5-6-2
37	قوانين معادلات النحر	6-6-2
39	النحت حول الجسر	7-6-2
40	النمذجة الهيدروليكية	7-2
40	أهمية النمذجة الهيدروليكية	1-7-2
40	أنواع النمذجة الهيدروليكية	2-7-2

41	أستخدامات النمذجة الهيدروليكية	3-7-2
41	نمذجة الوادي هيدروليكيًا	4-7-2
42	برنامج HEC – RAS	8-2

الفصل الثالث:- الخلفية العملية

45	المقدمة	1-3
45	توصيف منطقة الدراسة	2-3
46	المناخ والنظام الهيدرولوجي	1-2-3
47	الاسباب الهيدرولوجي للحدث	2-2-3
47	التوصيف الهيدرولوجي للأضرار	3-2-3
47	الهيدروغراف الخاص بفيضان 2024	3-3
48	النمذجة الرياضية وتحليل الهيدروغراف	1-3-3
48	المنهجية الرياضية لحساب الهيدروغراف	2-3-3
49	المنشآت الهيدروليكية، الجسر (دولبياي)	4-3
49	تحليل أداء الجسر	1-4-3
49	إحداثيات موقع جسري دولبياي	2-4-3

50	عمل نموذج هيدروليكي للوادي بإستخدام HEC – RAS	3-4-3
57	حساب النحر عند حوائط وأعمدة الكبري	5-3
59	خلاصة النتائج	6-3

الفصل الرابع: خلاصة وتوصيات

61	الخلاصة	1-4
62	التوصيات	2-4

المراجع والملحقات

63	المراجع	
64	الملاحقات	

فهرس الجداول

48	خصائص و مجرى وحوض طوكر	1-3
49	إحداثيات موقع جسري دوليبياي ونقاط التحكم	2-3

فهرس الأشكال

5	ملتقى النيلين الأبيض والأسود	1-2
6	المجاري المائية الموسمية	2-2
6	قناة مائية إصطناعية	3-2

7	مجرى مائي في منطقة جبلية	4-2
8	خصائص الحوض الجابي	5-2
10	منحنى العلاقة بين العمق والطاقة النوعية	6-2
11	أنماط تعرج المجاري المائية والعلاقة بين المنعطفات	7-2
12	تخطيط الحوض الجابي	8-2
16	مخاطر الفيضانات وتأثيرها على حركة النقل والمنشآت العمرانية	9-2
21	تدفقات السيول المفاجئة وأثره في تدمير وجرف الطرق	10-2
25	جريان السيول في المناطق المفتوحة والودية	11-2
26	تضرر الأحياء السكنية والمنازل نتيجة السيول والفيضانات	12-2
33	عملية النحر وتراجع ضفاف النهر بسبب التيارات المائية	13-2
34	تأثير النحر على تكوين حفر حول دعائم الجسور	14-2

35	رسم تخطيطي لمكونات الجسر ومناطق تأكل القاع نتيجة النحر	15-2
35	ميكانيكية تكون دوامات الافقية والخلفية حول كتف الجسر	16-2
43	الواجهة الرئيسية للبرنامج وأدوات إدخال البيانات الهندسية و الهيدروليكية	17-2
46	إدخال البيانات الجغرافية وتحديد مسار وادي طوكر	1-3
48	الهيدرغراف لفيضان 2024م	2-3
50	واجهة إدخال البيانات الهندسية	3-3
51	واجهة إدخال بيانات الكبري	4-3
51	نافذة إدخال الخصائص الهندسية لأعمدة الكبري	5-3
52	نافذة إدخال البيانات الهندسية لسطح الكبري والطريق	6-3
53	واجهة إدخال معامل خشونة مانيج لجميع المقاطع العرضية	7-3
54	نافذة إدخال بيانات الجريان المستمر	8-3

55	نافذة إدخال هيدروغراف التدفق للمقطع العلوي	9-3
56	نافذة حالة العملية الحسابية	10-3
56	المقطع العرضي الهيدروليكي عند مقطع الكبري	11-3
57	حسابات النحر عند المنشأة المائية	12-3
58	مخرجات تقرير حسابات النحر لأعمدة	13-3

فهرس الملحقات:-

رقم الصفحة	الملحق	البند
64	يوضح خريطة منطقة طوكر	1
65	بداية أنجراف الردميات	2
66	النحر في الردميات نتيجة الظمي مما أدى إلى انقطاع الطريق للكبري	3
67	عمل حمايات حجرية للردميات	4

فهرس الإختصارات

	فهرس الإختصارات	
HEC_RAS	Hydraulic Engineering Center's River Analysis System	
HEC_18	Hydraulic Engineering Circular No. 18	
DEM	Digital Elevation Model	

الفصل الاول

المقدمة العامة

الفصل الأول

المقدمة

وادي طوكر، الواقع في شرق السودان، يُعد من المناطق المتأثرة بشكل متكرر بالفيضانات الناتجة عن الأمطار الغزيرة والسيول الموسمية. هذه الفيضانات تشكل تهديدًا مباشرًا على السكان، الأراضي الزراعية، والبنية التحتية. النمذجة الهيدروليكية تُستخدم لفهم حركة المياه في الوادي وتحديد المناطق المعرضة للخطر، مما يُساعد في تحسين الخطط الوقائية والإدارة المتكاملة للمياه.

1-1. مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في تكرار الفيضانات المفاجئة في وادي طوكر، والتي تُسبب خسائر بشرية ومادية وزراعية كبيرة نتيجة ضعف أنظمة التصريف الطبيعي، وعدم وجود بنية تحتية فعّالة لإدارة مياه الفيضانات. بالإضافة إلى غياب نماذج تنبؤية تساعد الجهات المعنية على وضع خطط استباقية للحد من الأضرار. هذه المشكلة تتطلب تحليلًا علميًا باستخدام أدوات النمذجة الهيدروليكية لتحديد أماكن الخطورة واتجاهات الجريان.

1-2. الأهداف:

1. محاكاة سريان الفيضانات في وادي طوكر باستخدام برنامج HEC-RAS.
2. تحديد المناطق المعرضة للغمر وتقدير عمق وسرعة تدفق المياه.

1-3. المنهجية المتبعة:

1. جمع البيانات:

- بيانات طبوغرافية (DEM).
- بيانات هيدرولوجية (أمطار، تصريف).
- صور فضائية وخرائط جغرافية.

2. تحليل البيانات:

- استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمعالجة الـ DEM.
- تحليل تصريف المياه وتحديد المجاري الرئيسية والفرعية.

3. بناء النموذج:

- استخدام برنامج HEC-RAS لإنشاء نموذج لسريان المياه.
- إدخال المعطيات الطبوغرافية والهيدرولوجية في النموذج.

4. المحاكاة والتحقق:

- إجراء محاكاة لسيناريوهات فيضانات مختلفة.
- التحقق من النموذج باستخدام الأحداث السابقة أو بيانات الرصد المحدودة.

5. استخلاص النتائج والتوصيات:

- إنتاج خرائط المناطق المعرضة للغمر.
- اقتراح حلول هندسية (مثل القنوات أو الجسور أو الحواجز).

الفصل الثاني

الخلفية العلمية

الفصل الثاني

الخلفية العلمية

1-2 المجاري المائية:

المجرى المائي هو أي قناة طبيعية أو اصطناعية يتدفق فيها الماء، سواء على سطح الأرض أو تحت سطحها. وهو جزء من دورة المياه في الطبيعة.

1-1-2 أنواع المجاري المائية الرئيسية:

1. الأنهار: مجاري مائية دائمة وجارية، تتغذى من مصادر ثابتة مثل الينابيع، أو ذوبان الثلوج، أو الأمطار المستمرة. (مثال: نهر النيل).



الشكل (1-2): يوضح ملتقى النيلين الأبيض والأزرق

2. الجداول والأنهار الصغيرة : مجاري مائية أصغر من الأنهار، قد تكون دائمة أو موسمية.



الشكل (2-2): يوضح نموذجاً للمجاري المائية الموسمية

3. القنوتات : مجاري مائية من صنع الإنسان، تُحفر لأغراض الري أو النقل أو الصرف.



الشكل (3-2): يوضح قناة مائية اصطناعية

4. الأودية: وهي محور حديثنا، وهي مجاري مائية (موسمية) بشكل رئيسي، توجد في المناطق الجافة وشبه الجافة.

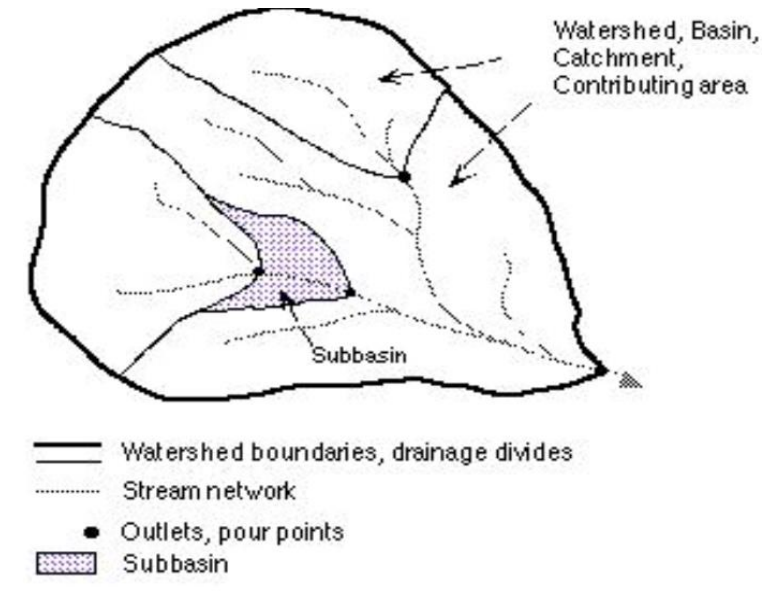


الشكل (4-2): يوضح نموذجاً لمجرى مائي في منطقة جبلية

2-1-2 يتم تقسيم المجري المائي الي ثلاث قطاعات :

القطاع الاول :

و هي بداية المجرى او المنبع حيث تقوم بتجميع المياه للمجرى و هي منطقة منخفضة تحيط بها مناطق مرتفعة و لها مخرج تعتبر المصدر الاساسي للماء و الطمي في النهر و تسمى بالحوض الجابي .



الشكل (5-2): يوضح خصائص الحوض الجابي

القطاع الثاني :

و يسمى بالمجرى و هو اطول منطقة بالنهر و يمكن ان تصب فيه بعض الروافد و يقوم بنقل المياه و الطمي من المنبع الي المصب .

القطاع الثالث :

و هو المصب و قد يكون دلتا او مسطح مائي .

3-1-2 تصنيف المجاري المائية :

هو تصنيف يعتمد علي الخصائص الفيزيائية لتدفق الماء داخل القناة و ليس علي شكلها الخارجي او مصدر مائها . و هذا التصنيف اساسي في هندسة الموارد المائية و الهيدروليكية للتنبؤ بسلوك الماء و اجراء الحسابات التصميمية .

اهم انواع التصنيفات الهيدروليكية هي :

A- التصنيف حسب طبيعة التغير في الزمان و المكان

هذا هو التصنيف الاساسي و الاكثر اهمية , حيث يقسم الجريان الي اربعة انواع :

1- الجريان المستمر :

يكون التصريف (معدل التدفق) ثابتا مع الزمن عند اي نقطة في القناة . مثال : جريان الماء في قناة تغذيها مضخة بمعدل ثابت

2- الجريان غير المستقر :

يكون التصريف متغيرا مع الزمن عند اي نقطة في القناة . مثال : جريان الماء في نهر اثناء الفيضان , حيث يرتفع مستوى الماء و تزداد سرعته ثم تنخفض مع مرور الوقت .

3- الجريان المنتظم :

يكون عمق الماء و سرعته ثابتين علي طول المسافة لكل مقطع من مقاطع القناة , ويجب ان تكون مساحة مقطع القناة و ميل قاعها ثابتين . مثال : الماء الجاري في قناة طويلة مستقيمة ذات مقطع عرضي ثابت و انحدار ثابت .

4- جريان غير المنتظم :

يتغير عمق الماء و سرعته على طول المسافة (اي من مقطع لآخر) . مثال : جريان الماء عند مضيق او منحدر او اي تغير في شكل القناة .

معادلة شذوي- مانج تستخدم لحساب الجريان المستقر المنتظم :

$$v = \frac{1}{n} (R)^{\frac{2}{3}} (S)^{\frac{1}{2}}$$

V: متوسط السرعة

n: معامل الخشونة (يعتمد علي طبيعته سطح القناة)

R: نصف القطر الهيدروليكي (المساحة المبتلة \ المحيط المبتل)

S: منحدر قاع القناة .

4-1-2 التصنيف حسب رقم فرود (Fr):

هو رقم لا بعدي يمثل النسبة بين قوى القصور الذاتي و قوى الجاذبية في الجريان . و هو اهم معيار لوصف الحالة الهيدروليكية للجريان :

$$f_r = \frac{v}{\sqrt{g * d}}$$

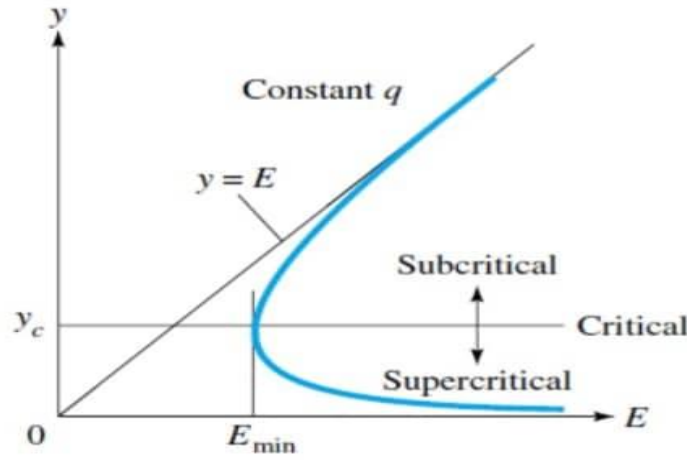
V: متوسط السرعة

g: عجلة الجاذبية

d: العمق الهيدروليكي (المساحة المبتلة \ عرض سطح الماء)

بناء على قيمة (Fr) يصنف الجريان الي :

- جريان تحت حرج ($Fr < 1$)
الخصائص : سرعة بطيئة , و العمق كبير . و يكون الجريان هادئ .
- جريان فوق الحرج : ($Fr > 1$)
الخصائص : السرعة عالية و العمق ضحل . و يكون الجريان سريع .
- جريان حرج ($Fr = 1$)
الخصائص : حالة وسيطة بين النوعين حيث تكون الطاقة النوعية للماء عند حدها الأدنى لأي تصريف معين . يكون الجريان في القناة المنحدرة شديد الانحدار فوق حرج بينما في بحيرة السد



الشكل (6-2): يوضح منحنى العلاقة بين العمق والطاقة النوعية

5-1-2 التصنيف حسب طبيعة السطح الحر (بالنسبة للضغط):

- جريان السطح الحر أو الجريان المكشوف:
له سطح حر يكون عند الضغط الجوي. مثل: الأنهار, القنوات, المجاري.
- جريان الأنابيب أو الجريان المحصور:
يكون السائل محصوراً بالكامل ولا يوجد سطح حر, ويكتسب ضغطاً داخلياً قد يكون أكبر أو أقل من الضغط الجوي. مثل: المياة في الأنابيب .
تصنيف الانهار :

1- علي حسب العرض :

- عرض منتظم ضيق .

- عريض به جزر ملتصقة بالجوانب .
- عريض بجزر معزولة .

2- علي حسب العمر :

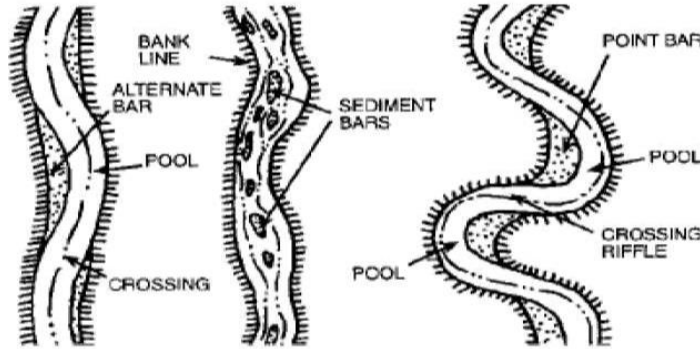
- نهر شاب (نشط في عمليات النحر و الترسيب)
- نهر عجوز

3- علي حسب العمق :

- عمق ضحل
- متوسط العمق
- عميق

4 - علي حسب التعرج (S):

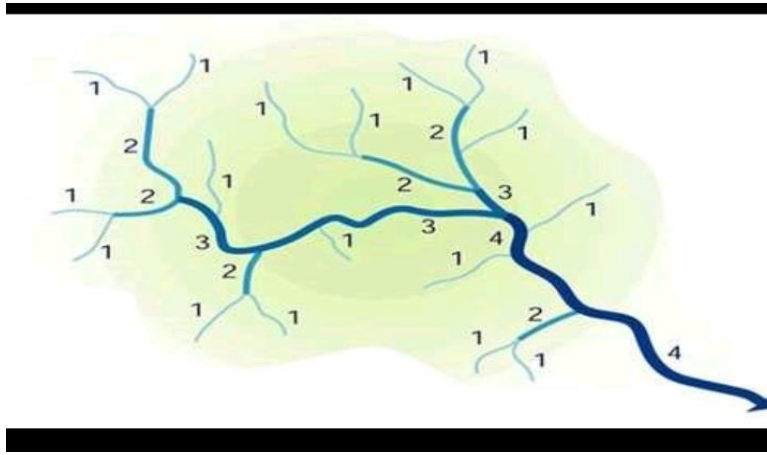
- تعرج كبير ($S < 2$)
- تعرج متوسط ($S = 1.3 - 2$)
- تعرج بسيط (مستقيم) ($S = 1 - 1.3$)



الشكل (2-7): يوضح أنماط تعرج المجاري المائية والعلاقة بين المنعطفات ومناطق الترسيب والنحر

5 - علي حسب الدرجة (درجة التفرع) :

- الدرجة 1 : وهو اول فرع في النهر.
 - الدرجة 2 : وهو الرافد الذي يصب فيه فرعين من الدرجة 1 .
 - الدرجة 3 : وهو الرافد الذي يصب في فرعين من الدرجة 2 .
- و هكذا حيث تعتمد درجة الانهار علي كثافة تفرعاتها



الشكل (2-8): يوضح تخطيط الحوض الجابي

2-2 خصائص المجاري الطبيعية :

1) خصائص المجرى :

• التعرج : $s = \frac{L_s}{L_0}$

L_s : الطول الكلي للتعرج .

L_0 : الطول المستقيم .

• كثافة المجاري : يمكن حساب كثافة المجاري علي اساس اطوال المجاري من المعادلة الاتيه :

$$Ds = \frac{N_s}{A}$$

N_s : اطوال المجاري او عدد المجاري .

A : مساحة الحوض الكلية .

2) خصائص الحوض :

معامل الشكل :

$$f_s = \frac{w_b}{L_b}$$

W_s : عرض الحوض .

L_s : طول الحوض .

معامل الانضغاطية للحوض :

$$C_c = \frac{P_p}{2\sqrt{\pi A}}$$

P_p: محيط الحوض .

A: المساحة الكلية للحوض .

مساحة الدائرة المكافئة :

$$A = \pi r^2$$

$r \equiv$ نصف القطر المكافئ

3-2 الأودية

هي أنظمة تصريف مائي جافة معظم أيام السنة، تنتشر في المناطق الجافة وشبه الجافة تتميز بتدفقها المنقطع الذي يعتمد بشكل كلي على هطول الأمطار في مناطق المصدر. تلعب هذه الأنظمة دورًا جيومورفولوجيًا وبيئيًا واقتصاديًا حيويًا

تكون الاودية:

تتشكل الأودية عبر آلاف السنين بعمليتين رئيسيتين:

1. **التعرية المائية:** عندما تسقط أمطار غزيرة على منطقة مرتفعة، يتجمع الماء ويتدفق نحو مناطق منخفضة. قوة تدفق هذا الماء (السيول) تقوم بحتّ الصخور ونقل الرواسب، مما يعمق ويوسع المجرى تدريجيًا.

2. **التعرية الريحية :** في المناطق الصحراوية، تساعد الرياح على إزالة الحبيبات الدقيقة من التربة والصخور، مما يساهم في تعميق وتشكيل مظهر الوادي.

2-3-1 الخصائص المميزة للأودية:

1. الطبيعة المتقطعة: هي السمة الأساسية. جافة معظم العام، وملئية بالمياه لفترات قصيرة قد تكون ساعات أو أيام بعد هطول الأمطار.

2. مقطع عرضي على شكل حرف (V) أو (U): غالبًا ما يكون لها قاع عريض نسبيًا وجوانب شديدة الانحدار.

3. الشبكات المتفرعة: تشبه في تفرعاتها شكل جذور الشجرة أو الأوراق النباتية. تبدأ من روافد صغيرة في المرتفعات تتجمع لتشكيل واديًا رئيسيًا أكبر.

4. الفجوة أو الدلتا الصحراوية: عندما يصل الوادي إلى منطقة سهلية منبسطة عند سفح الجبل، تفقد المياه سرعتها فجأة، فتتراكم الرواسب التي كانت تحملها على شكل مروحة تسمى "مخروط فتاتي".
5. الغطاء النباتي المحدود: عادة ما يكون الغطاء النباتي على جوانب الأودية أو في قاعها أكثر كثافة من المناطق المحيطة، بسبب تخزين التربة للمياه لفترات أطول.

2-3-2 أهمية الأودية

1. مصدر للمياه: كانت ولا تزال مصدرًا حيويًا للمياه الجوفية. يقوم الناس بحفر آبار وأفلاج في مجاري الأودية للوصول إلى المياه المخزنة تحت سطح الأرض.
2. الزراعة: التربة في قيعان الأودية غنية بالطمي والمواد العضوية التي تجلبها السيول، مما يجعلها أراضي خصبة صالحة للزراعة. معظم القرى والواحات في الصحاري تقع على جوانب الأودية.
3. طرق النقل التاريخية: استخدمت القوافل التجارية الأودية كطرق طبيعية آمنة للعبور عبر الصحاري الوعرة، لأنها توفر ممرًا أسهل ومصادر للماء.
4. تنوع بيئي: تعتبر الأودية واحات بيئية، حيث توفر موئلًا لأنواع من النباتات والحيوانات التي لا تستطيع العيش في الصحراء المفتوحة القاسية.
5. السياحة والترفيه: أصبحت العديد من الأودية وجهات سياحية لممارسة رياضة المشي لمسافات طويلة والتخييم، خاصة في فصول السنة المعتدلة.

2-3-3 المخاطر المرتبطة بالأودية:-

1.السيول المفاجئة:-

هذا هو الجانب الخطير من طبيعة الأودية. يمكن أن تكون الأمطار التي تهطل على مناطق المرتفعات بعيدة عن موقع الوادي نفسه، فتنجمع المياه وتتدفق بسرعة هائلة عبر المجرى الجاف، محملة بالطين والحصى والصخور، لتشكل سيولاً عنيفة ومفاجئة تشكل خطرًا كبيرًا على:

- 1- حياة الناس المعسكرين أو المارين في مجرى الوادي.
- 2- البنى التحتية مثل الطرق والجسور التي قد تعترض مسار التدفق الطبيعي.

الأودية هي شرايين الحياة في الصحراء. على الرغم من طبيعتها الجافة والمهددة في نفس الوقت، إلا أنها كانت المورد الأساسي الذي مكّن البشر من الاستقرار والعيش في المناطق القاحلة منذ آلاف السنين. فهي أنظمة ديناميكية تجمع بين الجفاف والعنف المائي، وتشكل معالم جغرافية وثقافية واقتصادية بالغة الأهمية عالمنا العربي

2-3-4 التكوين الجيومورفولوجي للأودية :

يتكون الوادي عبر عمليتين رئيسيتين:

1. التعرية المائية : تبدأ عملية التشكيل مع جريان المياه السطحية بعد هطول الأمطار، حيث تنجرف التربة والمواد المفككة نحو مناطق منخفضة.
2. التطور الطولي والتفرعي : مع تكرر الجريان، يزداد عمق وعرض المجرى، مكوناً شبكة تصريف متفرعة تتميز بمقطع عرضي على شكل حرف V أو U.

2-3-5. الخصائص الهيدرولوجية :

التدفق المتقطع : يعتبر التدفق غير الدائم السمة المميزة للأودية، مما يصنفها على أنها "أنظمة نهريّة متقطعة".

الفيضانات المفاجئة: تتميز فيضانات الأودية بسرعة التكون والوصول إلى الذروة

2-3-6. الأهمية الاقتصادية والبيئية والهندسية

الزراعة المروية بالفيضان: تشكل تربة الطمي التي يتركها الفيضان تربة خصبة للغاية.

تغذية المياه الجوفية :تعتبر قيعان الأودية مناطق رئيسية لتغذية الخزانات الجوفية، حيث تتسرب المياه عبر الرواسب المسامية .

تعتبر مناطق ذات أهمية في تصميم الجسور , الطرق , والسدود و أن دراستها ضرورية لتحديد مخاطر السيول والفيضانات .

2-3-7الأودية في السودان :

يعد السودان من اكبر الدول الافريقيه مساحة , ويتسم بتنوع جيومورفولوجية و مناخي كبير , مما ادى الى انتشار عدد كبير من الاودية في مختلف مناطقها تلعب هذه الاودية دورا مهما في الجريان السطحي و تصريف مياه الامطار , خصوصا في المناطق الجافة التي تغطي معظم اراضي البلاد .

2-3-7دراسة حالة: وادي طوكر

• الموقع والخصائص الفيزيائية

يعد وادي طوكر أحد أكبر الأودية في شرق السودان، يصب في البحر الأحمر جنوب مدينة بورتسودان. ينبع حوضه التصريفى الرئيسى من المرتفعات الإريتريّة والإثيوبية، مما يمنحه تدفقاً مائياً كبيراً نسبياً مقارنة بأودية المنطقة .

• المشروع الزراعي بوادي طوكر

1. التاريخ والنشأة: تم تطوير المشروع في فترة الحكم البريطاني-المصري للسودان ليكون أحد أهم مشاريع الزراعة المروية بالفيضان في أفريقيا.
2. نظام الري: يعتمد على تحويل مياه فيضان الوادي عبر شبكة من القنوات إلى مساحات شاسعة من الأراضي. تكمن كفاءة هذا النظام في البوابات والقنوات الرئيسية التي تتطلب صيانة مستمرة .
3. الإنتاجية: اشتهر المشروع بإنتاجية عالية من الذرة الرفيعة والقطن ذي الجودة المتميزة .

• التحديات التي تواجه وادي طوكر

1. الترسيب : يُعد تراكم الرواسب في قنوات الري المشكلة الرئيسية التي تواجه المشروع
2. التغير المناخي وتذبذب الأمطار أدى التغير في أنماط سقوط الأمطار في الهضبة الإثيوبية إلى عدم انتظام الفيضان، مما تسبب في فترات جفاف متكررة أثرت على موثوقية المشروع الزراعي .
3. الضغوط الاجتماعية والصراعات: أدى تدهور الموارد إلى نشوب نزاعات بين المزارعين المستقرين والمجتمعات الرعوية (مثل قبيلة البني عامر) على الوصول إلى الأرض والمياه .

2-4الفيضانات



الشكل (2-9): يوضح مخاطر الفيضانات وتأثيرها على حركة النقل و المنشآت العمرانية

تُعد الفيضانات من أكثر الكوارث الطبيعية شيوعاً وتأثيراً على المجتمعات البشرية والبيئة، إذ تتسبب بخسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات، كما أنها تعيق مسيرة التنمية المستدامة في كثير من الدول. وتختلف أسباب وأنواع الفيضانات باختلاف العوامل المناخية والطبيعية والبشرية، إلا أنها تشترك جميعاً في كونها ظاهرة هيدرولوجية ذات تأثيرات معقدة

2-4-1 تعريف الفيضانات

الفيضان هو ارتفاع غير اعتيادي في مناسيب المياه داخل الأنهار أو المجاري المائية، بحيث يتجاوز السعة الطبيعية للمجرى، مما يؤدي إلى غمر الأراضي والمناطق المجاورة

2-4-2 أسباب الفيضانات

1. الأمطار الغزيرة والمستمرة، خاصة في مواسم الخريف.
2. ذوبان الثلوج والجليد في المناطق الباردة.
3. انسداد المجاري المائية بسبب الطمي أو الرواسب أو المخلفات البشرية.
4. انهيار السدود أو الحواجز بفعل الضغط المائي أو ضعف البنية.
5. التغيرات المناخية التي ساهمت في عدم انتظام الأمطار وازدياد شدتها.

2-4-3 أنواع الفيضانات

1. فيضانات نهريّة: تحدث عندما يتجاوز منسوب المياه في الأنهار حدودها الطبيعية .
2. فيضانات مفاجئة: تنتج عن أمطار كثيفة في فترة قصيرة، خاصة في الأودية والمناطق الجبلية
3. فيضانات ساحلية: نتيجة العواصف البحرية وارتفاع مناسيب البحار
4. فيضانات حضرية: تحدث في المدن بسبب ضعف شبكات الصرف
5. فيضانات ناتجة عن انهيار السدود: وتكون عادة مدمرة وسريعة

2-4-4 الآثار المترتبة على الفيضانات

الآثار البيئية: تدهور التربة الزراعية، انجراف الأراضي، وتغير مجاري الأنهار.

الآثار الاقتصادية: خسائر مباشرة في البنية التحتية والممتلكات، وتعطيل الأنشطة الزراعية والصناعية.
الآثار الاجتماعية والصحية: نزوح السكان، فقدان الأرواح، انتشار الأمراض والأوبئة نتيجة تلوث المياه.

2-4-5 الفيضانات في السودان

يشهد السودان فيضانات موسمية ترتبط مباشرة بارتفاع مناسيب النيل الأزرق القادم من الهضبة الإثيوبية خلال فصل الخريف (يوليو – سبتمبر). ورغم أهمية النيل كمصدر رئيسي للحياة والتنمية، إلا أن فيضاناته خلفت آثاراً مدمرة عبر التاريخ:

فيضان 1946: من أشد الفيضانات التاريخية التي غمرت أجزاء واسعة من الخرطوم.

فيضان 1988: تسبب في خسائر بشرية ومادية جسيمة بالعاصمة.

فيضان 2020: تجاوز فيه منسوب النيل الأزرق 17.5 متر، مما أدى لتضرر أكثر من نصف مليون شخص وانهدار عشرات الآلاف من المنازل.

2-4-6 أثر التغير المناخي على الفيضانات في السودان

التغير المناخي أصبح عاملاً رئيسياً في زيادة مخاطر الفيضانات بالسودان. فوفقاً للتقارير المناخية، أدى ارتفاع درجات الحرارة العالمية إلى:

زيادة شدة الأمطار الموسمية وعدم انتظامها، ما يرفع احتمالية الفيضانات المفاجئة.

تغير أنماط الجريان السطحي مما يضاعف معدلات الطمي في الأنهار ويقلل من سعة المجرى.

زيادة فترات الجفاف الطويلة التي تتبعها أمطار غزيرة، فتجعل التربة غير قادرة على امتصاص المياه وتفاقم مخاطر السيول.

تهديد استدامة الموارد المائية بسبب عدم استقرار دورة المياه الهيدرولوجية.

وبذلك فإن التغير المناخي لم يعد مجرد عامل ثانوي، بل يمثل تحدياً محورياً لإدارة الفيضانات في السودان مستقبلاً.

تمثل الفيضانات تحدياً بيئياً وإنسانياً متزايداً، خاصة في ظل التغيرات المناخية. وللتقليل من آثارها في السودان، ينبغي تطوير أنظمة الإنذار المبكر، تحسين شبكات الصرف، تشييد بنى تحتية مقاومة، ودمج مبادئ التنمية المستدامة في التخطيط العمراني وإدارة الموارد المائية.

2-4-7 تحليل التدفق السطحي :

هو حركة المياه على سطح الأرض نتيجة هطول الأمطار أو ذوبان الثلوج ، عندما تتجاوز كمية المياه قدرة التربة على الامتصاص (الترسيب) أو تكون الأرض مشبعة أو غير منفذة (الارصفة أو الصخور).

• عناصر تحليل التدفق السطحي:

1.الهطول المطري :

- يتم قياسه بوحدات ملم
- يجب تحديد شدة ومدة الهطول (كثافة المطر)

2.خصائص المنطقة :

- مساحة الحوض المائي (بالكم²)
- نوع التربة وقدرتها على الامتصاص
- درجة الانحدار
- استخدامات الأراضي (عمرانية ، زراعية ، غابات)
- نوع الغطاء النباتي

3.معامل الجريان السطحي:

- نسبة المطر الذي يتحول يتحول الي جريان سطحي
- قيمة تتراوح بين 0 (لا يوجد جريان) الي 1 (كل المطر يتحول الي جريان)

1- طرق التقدير : هناك عدة طرق لحساب الجريان السطحي اهمها :

1- طريقه المعامل : تستخدم لتقدير التدفق الاقصى

$$Q = C * I * A$$

Q: معدل الجريان الاقصى (م³/ث)

C: معامل الجريان السطحي

I: شدة المطر (ملم/ساعه)

A: مساحة الحوض (كم²)

2- طريقة (SCS-CN(Curve Number)

- طريقة طورتها هيئة الحفاظ على التربة الأمريكية.

- تعتمد على نوع التربة ، ورطوبة التربة.
- تستخدم لحساب حجم الجريان الكلي بعد العاصفة.

$$Q=(P-I_a)^2/(P-I_a+S)$$

Q: التدفق السطحي (ملم)

P: الهطول (ملم)

I_a: الفقد الابتدائي (عادة 0.2S)

S: السعة المحتملة التخزين ، تحسب من قيمة CN:

$$S = (25400/CN) - 254$$

• خطوات تحليل التدفق السطحي :

1. جمع البيانات الأمطار (الكمية ، الشدة ، المدة)

2. تحديد خصائص الحوض :

المساحة ، الطبوغرافيا ، نوع التربة ، الغطاء الأرضي

1- اختيار طريقة التحليل (Rational , SCS, أو نماذج متقدمة مثل HCE-HMS)

2- تنفيذ الحسابات (يدوياً أو باستخدام برامج)

3- تحليل النتائج :

تحديد الحاجة إلى شبكات تصريف ، سدود ، خزانات ، أو حلول لتقليل الفيضانات.

تطبيقات تحليل التدفق السطحي :

- تصميم شبكات تصريف مياه الأمطار.
- دراسات الحماية من الفيضانات.
- تخطيط المدن والمناطق العمرانية .

- تصميم السدود والحواجز الترابية.
- دراسات تقييم أثر التغير المناخي.

2-5 السيول

السيول هي تدفقات مائية مفاجئة وسريعة وقوية على سطح الأرض، تنتج عن هطول أمطار غزيرة في فترة زمنية قصيرة، أو عن انهيار منشأة مائية مثل سد. تتميز بسرعة تدفقها وقدرتها على جرف كل ما يعترض طريقها من تربة وصخور وأشجار وحتى مباني.



الشكل (2-10): يوضح تدفقات السيول المفاجئة أثرها ف تدمير وجرف الطرق

2-5-1 أسباب السيول

تحدث السيول نتيجة اجتماع عدة عوامل، أهمها:

1. العوامل المناخية:

- هطول أمطار غزيرة: السبب الرئيسي، حيث تتساقط كمية كبيرة من الأمطار تفوق قدرة الأرض على الامتصاص أو قنوات الصرف على استيعابها.
- العواصف الرعدية الشديدة: خاصة تلك التي تبقى فوق منطقة جغرافية محددة لفترة طويلة (تُعرف بالعواصف الرعدية الراكدة).

2. العوامل الطبوغرافية (طبيعة سطح الأرض):

- المنحدرات الشديدة: تزيد من سرعة جريان المياه وطاقاتها التدميرية.
 - الأودية الجافة (الأسياخ): تكون مجاري هذه الأودية جافة معظم أيام السنة، ولكنها بمجرد هطول أمطار غزيرة في مناطقها العلوية، تتحول إلى قنوات عنيفة للسيول.
 - قلة الغطاء النباتي: يؤدي اقتلاع الأشجار والرعي الجائر إلى إزالة النباتات التي تمتص المياه وتثبت التربة، مما يزيد من جريان المياه السطحية وانجراف التربة.
- ## 3. العوامل التي تزيد من حجم الخسائر و التعرض للخطر :
- البناء في مجاري الأودية والسهول الفيضية: يعتبر من أهم الأسباب التي تحول الأمطار إلى كارثة، حيث تعيق المباني والقنوات المسدودة الجريان الطبيعي للمياه.
 - ضعف أو انعدام شبكات الصرف الصحي: خاصة في المناطق الحضرية، حيث لا تستطيع البنية التحتية التعامل مع كميات الأمطار الكبيرة.
 - إهمال صيانة السدود والحواجز المائية: قد يؤدي انهيارها إلى فيضانات كارثية.

2-5-2 آثار السيول

السيول لها آثار مدمرة على عدة مستويات:

1. الآثار البشرية والاجتماعية:
 - خسائر في الأرواح: الغرق أو الإصابة بسبب حطام المباني والأشياء المحمولة مع الماء.
 - تشريد السكان: تدمير المنازل مما يؤدي إلى نزوح آلاف الأشخاص.
 - انتشار الأمراض: بسبب تلوث مصادر مياه الشرب وانتشار البعوض الناقل للأمراض مثل الملاريا.
2. الآثار الاقتصادية:
 - تدمير البنية التحتية: طرق، جسور، خطوط كهرباء واتصالات.
 - تدمير الممتلكات: المنازل، المحلات التجارية، المركبات.
 - تدمير القطاع الزراعي: اقتلاع المحاصيل، تجريف التربة الخصبة، موت الماشية.
3. الآثار البيئية:
 - انجراف التربة: فقدان الطبقة السطحية الخصبة من التربة.

- تغير معالم البيئة: تغيير مجاري الأنهار والأودية.
- تلوث التربة والمياه: بمواد كيميائية ونفايات جرفها السيل.

2-5-2 أنواع السيول

انواع السيول مصنفة علي حسب معايير مختلفة :

التصنيف علي حسب مصدر المياة (السبب المباشر) :

هذا التصنيف اساسي و الاكثر شيوعا .

1- السيول المطرية :

توصف بانها الاكثر انتشارا في العالم و في السودان . يحدث بسبب هطول امطار غزيرة تفوق قدرة الارض علي الامتصاص او قدرة القنوات و الانهار علي استيعاب المياه .

مثال : السيول التي تضرب الخرطوم و ولايات كسلا و القضارف سنويا بسبب الامطار الصيفية والغزيرة .

2- سيول انهيار السدود او المنشآت :

عبارة عن سيول كارثية مفاجئة ناتجة عن انهيار كلي او جزئي لمنشأة مائية مثل سد او خزان.

مثال: لم تسجل حالات كبرى حديثاً لكن خطر انهيار سدود قديمة أو صغيرة قائم , و هو ما يتم مراقبته باستمرار .

3- السيول النهريه :

تحدث عندما يفيض نهر كبير عن ضفافه بسبب زيادة المياه الوارده من روافده او من الامطار في منطقة المصب . تكون عادة ابطأ من السيول المطرية المباشرة.

مثال: فيضان النيل الازرق و النيل الابيض و النيل الرئيسي خلال فصل الصيف .

4- سيول ذوبان الثلوج :

تحدث في المناطق الجبلية عندما ترتفع درجات الحرارة في الربيع و الصيف , مما يؤدي الي ذوبان سريع للثلوج و الكتل الجليدية .

التصنيف حسب سرعة التكون و التطور:

هذا التصنيف بالغ الاهمية للإنذار و الاستجابة :

1- السيول المفاجئة :

أخطر أنواع السيول علي الإطلاق . تتكون خلال دقائق او ساعات قليلة من عطول الامطار الغزيره . تتميز بسرعتها الهائلة , و طاقتها التدميرية العالية , و احتمال حملها كميات كبيره من الحطام (صخور , طين , اشجار) .

المناطق المعرضة : الاودية الجبلية الضيقة , المناطق ذات التربة غير المنفذة (صخرية او مشبعة) , و المناطق الحضرية حيث يعيق الاسفلت التسرب .

مثال : السيول التي تضرب الاحياء الواقعة في مجاري الاودية الصغيره في الخرطوم بحري و ام درمان بشكل مفاجئ و عنيف .

2- السيول التدريجية :

تتطور علي مدى ايام او اسابيع . تنتج عاده من فيضان الانهار الكبيره او هطول امطار مستمره علي منطقة واسعة . توفر وقتا اطول للإنذار و اخلاء السكان .

مثال : فيضان النيل الذي يغمر المناطق المنخفضة على ضفتيه بشكل تدريجي كل عام .

2-3-5 التصنيف حسب الموقع الجغرافي :

1- سيول الاودية :

هو فيضان المجاري المائية الطبيعية (انهار , اودية) .

2- سيول المناطق الحضرية :

هو نوع خاص وخطير . يحدث في المدن بسبب :

الاسطح غير المنفذة : الأسفلت والأسمنت تمنع تسرب الماء , مما يزيد الجريان السطحي بشكل هائل .

أنظمة الصرف غير الكافية : عدم قدرة شبكات الصرف على استيعاب كميات الأمطار .

مثال: غرق شوارع الخرطوم وأحيائها بعد أي عاصفة مطرية قوية .

3- سيول السواحل و العواصف :

ناتجه عن عوصف بحرية تدفع مياه البحر الي اليابسه . لا تنطبق علي السودان بشكل كبير .

4- سيول السهول الفيضية :

فيضان المناطق المسطحة المجاورة للأنهار (السهول الفيضية) عندما يفيض النهر . هذه المناطق مصممة طبيعياً لإستيعاب الفائض المائي .

• أمثلة على السيول في السودان

شهد السودان على مدار تاريخه، وخاصة في السنوات الأخيرة، سيولاً عنيفة كان لها آثار كبيرة. يُعرف السودان بظاهرة "السيول النيلية" الموسمية، ولكن تغير المناخ زاد من حدة وتواتر الأمطار الغزيرة خارج الموسم التقليدي.



الشكل (2-11): يوضح جريان السيول ف المناطق المفتوحة و الاودية

1. سيول عام 2020:

• الوصف: كانت من أسوأ السيول التي شهدتها السودان منذ عقود. أثرت على أكثر من 16 ولاية، وأدت إلى وفاة العشرات وتشريد مئات الآلاف.

• المناطق المتأثرة: كانت الخرطوم (العاصمة المثلثة) من أكثر المناطق تضرراً، حيث غمرت المياه أحياء كاملة مثل أم بدة والجيلي. كما تضررت ولايات مثل نهر النيل، الشمالية، وكسلا، وجنوب دارفور بشكل كبير.

• الآثار: أعلنت الحكومة حالة الطوارئ لمدة ثلاثة أشهر، واعتبرت السودان "منطقة كوارث طبيعية". دمرت السيول أكثر من 100,000 منزل وتسببت في أضرار جسيمة للبنية التحتية.

2. سيول عام 2022:

- الوصف: استمراراً لنمط الأمطار الغزيرة، شهد السودان سيولاً عنيفة أخرى أدت إلى فيضان الأنهار الموسمية مثل نهر عطبرة ونهر القاش.
- المناطق المتأثرة: تضررت ولايات مثل كسلا (شرق السودان) بشكل كبير حيث غمرت المياه المدينة وأجزاء من مخيمات النازحين. كما تأثرت parts من ولاية النيل الأبيض.
- الآثار: تفاقم الأزمة الإنسانية، خاصة مع وجود ملايين النازحين بالفعل بسبب النزاعات، حيث دمرت المخيمات وتشرد الناس مرة أخرى



الشكل (2-12): يوضح تضرر الأحياء السكنية والمنازل نتيجة السيول والفيضانات

3. السيول الموسمية المتكررة:

- الوصف: كل عام، تشهد السودان فيضانات متوسطة إلى شديدة بسبب أمطار الموسم الصيفي التي تملأ الأودية الموسمية مثل وادي حوض، وادي هور، ووادي الكو.

• السبب: يجمع السودان بين مياه الأمطار الإثيوبية (التي تغذي النيل الأزرق) والأمطار المحلية الغزيرة، مما يزيد من ضغط الفيضان.

• تمثل السيول تهديداً طبيعياً متزايداً في السودان بسبب تفاقم تأثيرات تغير المناخ، والضغط السكاني، والتمدد العمراني غير المنظم في مجاري الأودية. تتطلب مواجهة هذه الكوارث استراتيجية متكاملة تشمل:

1. نظم إنذار مبكر فعالة.
2. تحسين البنية التحتية للصرف الصحي.
3. التخطيط العمراني السليم ومنع البناء في مسارات السيول.
4. إعادة تأهيل الغطاء النباتي لمكافحة التصحر وانجراف التربة.
5. تعزيز جهود الاستجابة للطوارئ والتأهب للكوارث.

4-سيول خور ابو دوم في مروي :

خور ابو دوم هو وادي موسمي يقع شمال السودان قرب مدينه مروي في الولاية الشمالية .
الوادي جزء من شبكه الوديان والصحاري في منطقه البيوده بين مجري النيل والمناطق الصحراويه .
تحصل السيول في موسم الامطار عاده بين يونيو واكتوبر.
اثار السيول في خور ابو دوم :

انهيار جسور وبنية تحتية حيث هذه السيول قوية جدا في الخور ادت الي انهيار جسر ابو دوم الرابط بين مروي ومدينه تناقسي اكثر من مره وادي ايضا الي قطع حركه السيل في شريان مهم في شمال السودان .
تحدث ايضا اضرار في المنازل والزراعه حيث ادت السيول الجارفه في خسائر المنازل والمساحات الزراعيه والمزروعه حول الوادي .

2-6-ظاهرة الاطماء:-

2-6-1ظاهرة الاطماء (الترسيب) في السدود والخزانات:-

يُعَدُّ الاطماء أو الترسيب من أخطر التحديات التي تواجه المشاريع المائية حول العالم، وخاصة السدود والخزانات. تُشير هذه الظاهرة إلى تراكم المواد الصلبة العالقة (مثل الطين، والغرين، والرمال) التي تحملها الأنهار والمجاري المائية، في قاع الخزانات أو السدود. يؤدي هذا التراكم بمرور الوقت إلى تقليل السعة

التخزينية لهذه المنشآت، مما يهدد جدواها الاقتصادية والبيئية ويقلل من عمرها الافتراضي. يهدف هذا البحث إلى تحليل أسباب الظاهرة، وآثارها، وطرق التخفيف منها، مع تقديم دراسة حالة تطبيقية على سد مروي في السودان.

2-6-2. أسباب الاطماء

تحدث ظاهرة الاطماء نتيجة لعمليات طبيعية وبشرية متداخلة، أهمها:

1. التعرية المائية والريحية: تعتبر المصدر الرئيسي للمواد المترسبة. حيث تقوم مياه الأمطار والرياح بتآكل التربة من المناطق المرتفعة ونقلها إلى المجاري المائية.
2. إزالة الغطاء النباتي: يؤدي قطع الأشجار والرعي الجائر إلى إزالة الطبقة الواقية للتربة، مما يزيد من تعرضها للتعرية.
3. الممارسات الزراعية غير المستدامة: مثل الحراثة في اتجاه الميل، والري غير المنظم، مما يزيد من انجراف التربة.
4. الأنشطة البناء والتعدين: تعمل هذه الأنشطة على تعرية مساحات كبيرة من الأرض وتوليد كميات هائلة من الرواسب.
5. الفيضانات: تزيد قوة وسرعة جريان المياه أثناء الفيضانات من قدرتها على حمل ونقل كميات أكبر من الرواسب.

2-6-3 الآثار المترتبة على الاطماء

الآثار السلبية للاطماء واسعة النطاق وتشمل:

1. تقليل السعة التخزينية للخزانات: وهو الأثر المباشر والأخطر، مما يقلل من كمية المياه المتاحة للشرب والري وتوليد الكهرباء.
2. تقصير العمر الافتراضي للسدود: حيث تمتلئ الخزان بالرواسب قبل الوقت المتوقع، مما يتطلب استثمارات كبيرة للتجديد أو بناء سدود جديدة.
3. تآكل التوربينات والمعدات الميكانيكية: تسبب الجزيئات الصلبة (خاصة الخشنة) تآكلًا سريعًا لتوربينات توليد الكهرباء وصمامات السد.

3. تدهور جودة المياه: يمكن أن تزيد الرواسب من عكورة المياه، مما يرفع تكلفة معالجتها للشرب ويؤثر على الحياة المائية.

4. الآثار البيئية على المصب: حرمان المناطق المصبية من الرواسب المغذية للتربة، مما يؤدي إلى تآكل الدلتا وتدهور النظم الإيكولوجية.

2-6-4. أنواع الرواسب (الاطماء)

يمكن تقسيم المواد المترسبة حسب حجم حبيباتها إلى:

1. الاطماء الناعم :

الحجم: أقل من 0.062 ملم.

المكونات: الطين والغرين .

الخصائص: تبقى عالقة في الماء لفترات طويلة بسبب خفة وزنها، وتنتقل لمسافات بعيدة، وعندما تترسب تكون طبقات كثيفة ومتماسكة يصعب إزالتها.

2. الاطماء الخشن :

· الحجم: من 0.062 ملم إلى 2 ملم فأكثر.

· المكونات: الرمال والحصى .

الخصائص: تترسب بسرعة بالقرب من مدخل الخزان بسبب ثقلها، وتشكل ما يعرف بـ "الدلتا الداخلية" للخزان.

2-6-5 مصادر الاطماء وكيفية حدوث العملية

المصادر:

1. مصادر جبلية وعرة: حيث تكون معدلات التعرية عالية.

2. المناطق الزراعية: ذات التربة المفككة.

3. مجاري الأنهار نفسها: حيث تقوم المياه بتآكل ضفاف وقاع النهر (التعرية النهرية).

كيفية حدوث عملية الاطماء:

1. النقل: تحمل مياه النهر المواد المتآكلة بفعل قوة الجريان.
2. الترسيب: عند وصول المياه إلى الخزان، تقل سرعتها بشكل مفاجئ بسبب اتساع المساحة، مما يؤدي إلى فقدان طاقة الحمل.
3. التدرج في الترسيب: تترسب المواد الأثقل (الرمل والحصى) أولاً عند مدخل الخزان مكونة الدلتا الداخلية، بينما تستمر المواد الأخف (الغرين والطين) في التحرك إلى داخل الخزان وتبقى عالقة أو تترسب ببطء في المناطق الهادئة.

2-6-6. طرق الحد من الآثار السلبية للاطماء

يمكن تقسيم استراتيجيات مكافحة إلى ثلاث فئات:

أولاً:-

- تقليل كمية الرواسب الواصلة للخزان (في الحوض المائي)
- تشجير وإعادة تأهيل الغطاء النباتي في الحوض.
- بناء السدود الصغيرة في الروافد لاحتجاز الرواسب.
- تطبيق ممارسات زراعية محافظة على التربة (كالحرثة الكنتورية، والزراعة الشريطية).

ثانياً:

- 1. إدارة الرواسب داخل الخزان:
- التفريغ المغناطيسي : فتح المفيضات السفلية للسماح لتيار مائي سريع بإزالة الرواسب المتراكمة وإخراجها من السد.
- الشفط الهيدروليكي : استخدام معدات خاصة لشفط الرواسب من قاع الخزان. (مكلف ولكنه فعال).
- التشغيل على أساس الترسيب: تحويل مياه النهر المحملة بالرواسب حول الخزان أثناء مواسم الفيضانات.

ثالثاً: التصميم الهندسي المتكامل:

- تخصيص "سعة مينة" في تصميم السد لاستيعاب جزء كبير من الرواسب دون التأثير على السعة التخزينية الفعالة.
- تصميم المفيضات السفلية بشكل يسمح بمرور الرواسب بسهولة.

2-6-7. دراسة حالة: الاطماء في سد مروي، السودان

الخلفية: يعد سد مروي أحد أكبر السدود في أفريقيا، ويقع على نهر النيل في شمال السودان. واجه السد مشكلة طماء حادة منذ بداية تشغيله.

مصادر الاطماء: تأتي الرواسب بشكل رئيسي من الهضبة الإثيوبية عبر النيل الأزرق وعطبرة، والتي تتميز بتربنتها شديدة القابلية للتعرية.

التحديات:

1. معدل الترسيب: يقدر معدل الترسيب السنوي بملايين الأطنان، مما يهدد السعة التخزينية للسد الذي بُني أساسًا لتوليد الكهرباء والري.
2. تآكل التوربينات: شكلت الرواسب الخشنة خطرًا كبيرًا على توربينات التوليد، مما استلزم عمليات صيانة متكررة ومكلفة.

إجراءات التخفيف:

التركيز على التفريغ المغناطيسي من خلال فتح المفيضات السفلية بشكل دوري لإخراج كميات كبيرة من الرواسب المتراكمة.

دراسة إنشاء سدود أخرى أعلى المجرى (مثل سدي كجبار والديسمبر) لاحتجاز جزء من الرواسب قبل وصولها إلى مروي.

2-6-8. معادلات وقوانين لحساب الاطماء (معادلة برولاند نموذجًا)

تُستخدم المعادلات الهيدروليكية لتقدير معدل نقل الرواسب وكمية الترسيب. من أشهر هذه المعادلات:

معادلة برولاند أو دالة برولاند للنقل:

تُستخدم هذه المعادلة (واشتقاقاتها العديدة) لتقدير تركيز الرواسب العالقة في الماء (C) كدالة في سرعة الجريان وعمق المياه.

الصيغة الأساسية :

$$q_b = \frac{8}{p^2} * (g * d)^{\frac{1}{2}} * (\tau - \tau_c)$$

الصيغة المبسطة والمشهورة لها:

$$q_b = 8 * \left(\frac{p_s - p}{p} * g * d_m \right)^{\frac{1}{2}} * (\tau - \tau_c)^{\frac{3}{2}}$$

حيث :

q_b : معدل نقل الحمولة القاعية لكل عرض وحده (وحدتها m^3/s per meter width)

p_s : كثافة حبيبه الرواسب (كغم m^{-3}).

ρ : كثافة الماء (كغم m^{-3}).

g : تسارع الجاذبيه (m^{-3} ث).

d_m : قطر الحبيبه المميز للرواسب (م).

τ : اجهاد القص

τ_c : اجهاد القص الحرج لبدء حركه الحبيبه

كيفية استخدام المعادلة في حساب كمية الاطماء:

1. حساب معدل نقل الرواسب :

$$q_s = c * v * h$$

حيث :-

C = تركيز الرواسب (بالكيلوجرام/متر مكعب)

v = متوسط سرعة جريان الماء (متر/ثانية).

G = عجلة الجاذبية الأرضية (9.81 م/ث²).

H = عمق الماء (متر)

ω = سرعة الترسيب لهذه الحبيبات (متر/ثانية) – وتختلف حسب حجم وكتلة الحبيبة.

ميدانية.

q = معدل نقل الرواسب (كجم/ثانية/عرض متر).

2. لحساب الكمية الإجمالية المترسبة في الخزان، يتم تكامل معدل النقل مع الزمن ومع الأخذ في الاعتبار كفاءة الاحتجاز في الخزان.

معادلات أخرى مهمة:

1. معادلة إينشتاين : أكثر تعقيداً وتستخدم لنقل مواد قاع النهر .

2. معادلة شيلدر : لتحديد الظروف الحرجة لبدء حركة الحبيبات .

تُمثِّل ظاهرة الاطماء تهديداً وجودياً للمشاريع المائية. إن معالجتها تتطلب نهجاً متكاملًا يبدأ من إدارة الحوض النهري بأكمله للحيلولة دون وصول الرواسب، مروراً بالتصميم الهندسي الذكي للسدود، وانتهاءً بتطبيق تقنيات الإدارة المستدامة للرواسب داخل الخزان نفسه. إن نجاح أي مشروع مائي في المستقبل مرهون بقدرته على التكيف مع هذه الظاهرة وإدارتها بشكل فعال، كما تُظهر تجربة سد مروي.

6-2 النحر :-

عملية تآكل التربة والصخور من قاع المجرى المائي أو حول المنشآت الهندسية (مثل أساسات الجسور) قوة تدفق المياه.

الفرق بين النحر والطمى:

1. النحر: إزالة المواد (تآكل).
2. الطمي: إضافة مواد (تسيب).



الشكل (2-13): يوضح عملية التآكل وتراجع ضفاف النهر بسبب التيارات المائية

6-2 أنواع النحر:

يتم تصنيف النحر عادة إلى ثلاثة أنواع :-

1.النحر العام :

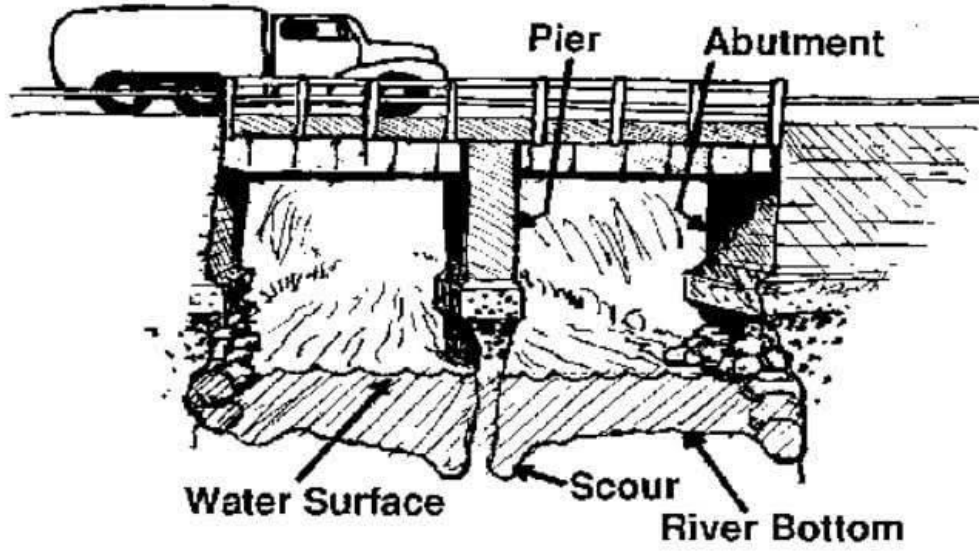
التآكل الذي يحدث في قاع المجرى المائي بشكل طبيعي علي امتداد مساحة كبيرة , دون وجود أي منشأة تعيق الجريان . وهو ناتج عن التغيرات الطبيعية في هيدروليكية القناة مثل التضيقات أو الانحناءات أو التغير في تصريف النهر.
مثال: تضيق مجرى النهر يؤدي إلى زيادة سرعة الماء وتآكل القاع لتعويض هذا التضيق .



الشكل (2-14): يوضح تأثير النحر في تكوين حفر حول دعائم الجسور

2.النحر المحلي:-

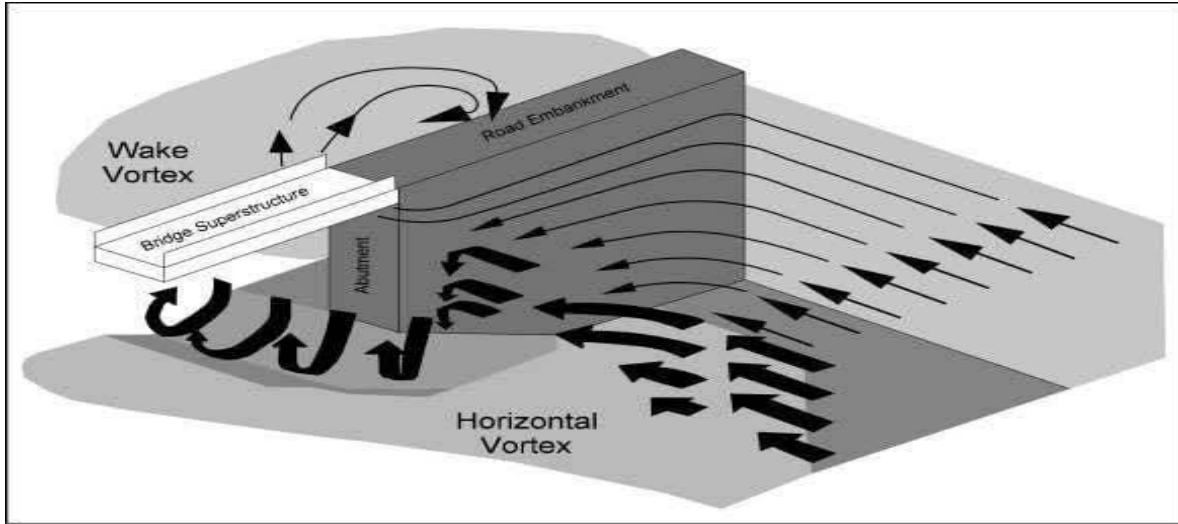
التآكل الذي يحدث حول المنشأة التي تعترض جريان الماء (مثل دعائم الجسور أو الأرصفة). وهو النوع الأكثر خطورة على المنشآت .
يتسبب وجود الدعامة في اضطراب تيار الماء, مما يؤدي إلي تكوين دوامات قوية (دوامات حدوة الحصان عند مقدمة الدعامة ودوامات التدفق الهابطة خلفها)
مثال: الحفرة التي تتشكل حول قاعدة دعامة جسر



الشكل (2-15): يوضح رسم تخطيطي لمكونات الجسر ومناطق تآكل القاع نتيجة النحر

3.النحر التقلصي:-

التآكل الذي يحدث عندما يتم تضيق المساحة المائية العرضية للمجرى بسبب وجود منشأة , مما يزيد سرعة جريان الماء وشدته في المنطقة المتضيقة .



الشكل (2-16): يوضح ميكانيكية تكون الدوامات الأفقية والخلفية حول كتف الجسر

السبب: عندما يدخل الماء إلى منطقة متضيقة (مثل تحت كبري ضيق) , تزداد سرعته لتمرير نفس كمية التصريف مما يزيد من قوة القص على قاع النهر ويسبب التآكل عبر عرض القناة المتضيقة .

مثال: تآكل قاع النهر تحت كبري تكون المسافة بين الدعائم أقل من عرض النهر الطبيعي .

2-6-2 أسباب النَّحْر في الأودية :

1. سرعة التدفق العالية: خاصة في المناطق شديدة الانحدار.
2. تغير مسار المياه: العواصف أو الفيضانات.
3. ضعف تماسك التربة: التربة الرملية أو الطينية أكثر عرضة للنَّحْر.
4. تصميم غير مناسب للمنشآت: مثل الجسور أو السدود التي تعيق الجريان الطبيعي.

2-6-3 تأثير النَّحْر على المنشآت:

1. تآكل أساسات الجسور: يؤدي إلى انهيارها.
2. انزياح المجرى المائي: يهدد الأراضي الزراعية والمنشآت القريبة.
3. تقليل كفاءة السدود: تآكل قواعدها.

2-6-4 طرق الحد من النَّحْر:

أ. حلول هندسية:

1. التبططين:
2. تغطية قاع المجرى بالخرسانة أو الحجارة.
3. مثال: تبنيين قنوات الري في وادي طوكر.
3. الأحواض الترسبية
4. تقليل سرعة المياه قبل وصولها للمنشآت.
5. المرباط، وضع صخور كبيرة حول أساسات الجسور لامتصاص طاقة المياه.

ب. حلول طبيعية:

1. زراعة النباتات المقاومة:

مثل القصب والأشجار على الضفاف لتثبيت التربة.

2. إنشاء مناطق عازلة:

حواف نباتية بطول المجرى المائي.

2-6-5 طرق حساب النحر :

1. القياس الميداني:

استخدام أجهزة قياس عمق النحر حول المنشآت.

2. النمذجة الحاسوبية:

برامج مثل HEC-RAS لمحاكاة تأثير التدفق على التآكل.

3. تحليل الصور الجوية:

مقارنة صور قديمة وحديثة لملاحظة تغير المجرى.

2-6-7 قوانين معادلات النحر:

لا يوجد قانون واحد عالمي للنحر بسبب تعقيد العوامل المؤثرة خصائص التربة , هيدروليكا الجريان , شكل المنشأة هنالك نماذج و معادلات تجريبية و نظرية . من اهمها معادلات التصميم الهيدروليكي للجسور HEC-18 الصادره عن هيئة المسح الجيولوجي الامريكية USGS و هي المرجع العالمي

المعادلات الاساسيه للنحر المحلي عند الدعائم :

اشهر معادلة هي معادلة كولون – كارسون :

$$\frac{y_s}{y_1} = 2 * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * \left(\frac{a}{y_1}\right)^{0.65} * Fr_1^{0.43}$$

حيث:

Y_s : عمق النحر (العمق من مستوى قاع النهر الأصلي إلى قاع الحفرة).

Y_1 : عمق الماء

a : عرض الدعامه .

Fr_1 : رقم فرود

k_{1234} : عوامل تصحيح لشكل الدعامة ,زاوية تدفق الماء شكل قاع النهر ,وتركيب رواسب قاع النهر.

معادلة برولاند :

الاسم الدقيق والأكثر شيوعاً هو معادلة برولاند_لويس أو طريقة برول هي ليست معادلة للنحر نفسه , ولكنها طريقة رائدة ومهمة جداً لحساب عمق الأسيس المطلوب للجسور لحمايتها من النحر .

طورها المهندس هوراس ويليام برول في الخمسينات والستينات .

فكرة المعادلة:

تقسم الطريقة عمق التأسيس إلى ثلاثة مكونات رئيسية :

1.النحر العام:

الانخفاض التدريجي والطويل الأمدفي مستوى قاع النهر.

2.النحر التقلصي :

الناتج عن تضيق المجرى بواسطة الجسر .

3.النحر المحلي :

التآكل حول الدعائم نفسها.

إرث ومعادلات برول المحددة :

قدم برول معادلات تجريبية مبكرة لحساب النحر المحلي , والتي كانت أساس لتطوير معادلات أكثر دقة مثل معادلة CSU لاحقاً . من هذه المعادلات المبكرة :

$$y_s = 2 * a * Fr^{0.2} * \left(\frac{y_1}{a}\right)^{0.5}$$

حيث:

y_s عمق النحر .

a عرض الدعامة .

y_1 عمق الماء .

Fr رقم فرود .

أهمية معادلات برول : تعتبر النهجية الأولى و الرئيسية التي أوضحت للمهندسين كيفية حساب عمق التأسيس بأخذ جميع أنواع النحر في الاعتبار . لا تزال فلسفتها هي المعيار العالمي في تصميم أساسات الجسور .

HEC_1 المعادلات المحددة التي قدمها برول تم تطويرها وتحسين دقتها بشكل كبير في أدلة مثل, ولكن المبدأ الأساسي (جمع عمق النحر العام +النقلي+المحلي) لا يزال ساري المفعول ويُنسب إليه .

2-6-7 النحت (التعرية المائية) حول الجسور :

يحدث النحت بشكل رئيسي بسبب قوة تيار المياه , خاصة أثناء موسم الفيضانات . وتشمل آثاره:

1.نحت القواعد والأعمدة :

هذا هو الخطر الرئيسي الذي يهدد معظم الجسور في السودان , مثل جسر شميات في الخرطوم وجسور نهر النيل الأخرى.

ويحدث بسبب سرعة المياه دوامات حول قواعد وأعمدة الجسر, مما يؤدي إلى حفر وتفريغ التربة والرسوبيات من حولها وأسفلها.

تأثيرها : تصبح أساسات الجسر ضعيفة وغير مدعومة , مما يؤدي إلى هبوط جزئي أو انهيار كامل للجسر إذا لم يتم صيانته . العديد من الجسور القديمة تعاني من هذه المشكلة وتتطلب تعزيزاً مستمراً للأساسات.

1.نحت الضفاف عند مداخل ومخارج الجسر :

يمكن ملاحظة هذا بوضوح عند طرفي جسر توتي .

ويحدث تضيق مجرى النهر ببناء الجسر إلى تسريع جريان المياه عند مدخله ومخرجه . هذه السرعة الزائدة تزيد من قوة تآكل ضفاف النهر في تلك النقاط.

تأثيرها : انهيار أجزاء من الضفاف, وتآكل الأراضي الزراعية والممتلكات المجاورة , وتوسيع مجرى النهر بشكل غير منتظم.

2.نحت قاع النهر (أسفل كبري الطرق السريعة):

المناطق المحيطة بدعائم جسر المك نمر في الخرطوم.

ويحدث انحصار المياه بين دعائم الجسر إلى زيادة سرعتها وقدرتها على حمل الرواسب, مما يؤدي إلى حفر قاع النهر.

تأثيرها: تغير في مستوى القاع, مما قد يؤثر على الملاحة ويزيد من خطر النحت حول الأساسات.

$$\frac{y_1}{y_2} = \left(\frac{Q_t}{Q_c}\right)^{b'} Z \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^A \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^B$$

7-2 النمذجة الهيدروليكية

تعد النمذجة الهيدروليكية أداة محاكاة حاسوبية قوية تُستخدم لفهم سلوك الجريان السطحي للمياه (مثل مياه الفيضانات) في المجاري المائية الطبيعية (كالأودية والأنهار) أو حتى في القنوات الصناعية. في حالة وادي طوكر في شرق السودان، تُستخدم هذه النمذجة بشكل أساسي للتنبؤ بمناطق الفيضانات، وتصميم تدابير الحماية (مثل السدود والحواجز)، وإدارة مخاطر الكوارث.

7-2-1 أهمية النمذجة الهيدروليكية:

1. طبيعة الوادي: وادي طوكر هو وادي شاسع وجاف معظم أيام السنة، ولكن عند هطول أمطار غزيرة على مرتفعات إريتريا وإثيوبيا، يتحول إلى نهر جارف وعنيف يؤدي إلى فيضانات كارثية.
2. التاريخ الكارثي: شهدت مدن مثل طوكر وسواكن فيضانات تاريخية أودت بحياة المئات ودمرت البنية التحتية والزراعة (مثل فيضانات 2019، 2020، 2022).
3. التخطيط العمراني والزراعي: يمتد النشاط البشري والزراعي (مشروع طوكر الزراعي) على ضفاف الوادي، مما يجعله معرضاً للخطر بشكل مباشر. النمذجة تساعد في تحديد المناطق الآمنة للبناء والتوسع.

7-2-2 أنواع النمذجة الهيدروليكية:

تنقسم النمذجة إلى نوعين رئيسيين:

1 النمذجة العددية (الرياضية)

تعتمد على استخدام المعادلات الرياضية التي تصف سلوك تدفق المياه (معادلات نافير ستوكس _ معادلات تدفق الماء الضحل).

تستخدم برامج حاسوبية مثل :

• (تدفق الأنهار) HEC_RAS

• (نمذجة مياه الأمطار والصرف الصحي) SWMM

• InfoWorks

توفر تحليلًا دقيقًا للتدفقات .ارتفاعات المياه .السرعة.توزيع الضغط.

2.النمذجة الفيزيائية

يتم فيها انشاء نموذج حقيقي مصغر لمنشأة او مجري مائي في مختبر هيدروليكي، تستخدم لفهم السلوك الهيدروليكي في المواقع الحساسه او التي يصعب محاكاتها رقميا (مثل تصميم بوابات السدود او دراسات تاثير الفيضانات علي الجسور)، مكلفه ولكنها تعطي نتائج دقيقه وواقعيه خاضه في المشاريع الكبرى.

2-7-3 استخدامات النمذجة الهيدروليكية:

- 1.تقييم مخاطر الفيضانات
- 2.تصميم السدود والقنوات ومحطات الضخ
- 3.تحليل اداء شبكات الصرف الصحي ومياه الامطار
- 4.اداره المياه الحضريه
- 5.تحسين البنيه التحتيه المائيه
- 6.تحليل تاثير التغير المناخي علي الموارد المائيه

2-7-4 كيف تتم نمذجة الوادي هيدروليكيًا:

1. جمع البيانات:
 - البيانات الطبوغرافية: بيانات الارتفاع عالية الدقة للوادي ووضفنيه. هذه هي أهم مدخلات النموذج، ويتم الحصول عليها غالبًا من مسح LIDAR أو صور الأقمار الصناعية.
 - البيانات الهيدرولوجية: تقدير الكميات والذروة المتوقعة للمياه القادمة من أعلى الوادي. هذا يأتي من نماذج هيدرولوجية منفصلة تحسب الأمطار والجريان.
 - بيانات التربة والاحتكاك: معامل (مانينغ) الذي يصف خشونة قاع الوادي ووضفنيه (صخور، رمال، نباتات) ويؤثر على سرعة جريان الماء.
 - بيانات الفيضانات التاريخية: تستخدم لمعايرة النموذج والتأكد من دقته.

2. بناء النموذج:

- يتم إدخال جميع البيانات السابقة في برامج نمذجة متخصصة.
- يُقسّم الوادي إلى شبكة من الخلايا (Mesh Grid).
- تُحل معادلات رياضية معقدة (مثل معادلات سانت فينانت) التي تحكم تدفق المياه في المجاري المفتوحة لكل خلية على حدة، مع مرور الوقت.
- 3. مخرجات النموذج (النتائج):
 - خرائط عمق الفيضان: توضح عمق الماء المتوقع في كل منطقة.
 - خرائط سرعة الجريان: توضح سرعة تدفق المياه.
 - خرائط خطورة الفيضان: تجمع بين العمق والسرعة لتحديد المناطق الأكثر خطورة.
 - مناطق فيضان محددة: تحديد المناطق التي سيغمرها الماء لمستويات فيضان مختلفة (فيضان 10 سنوات، 50 سنة، 100 سنة).

8-2 برنامج HEC-RAS

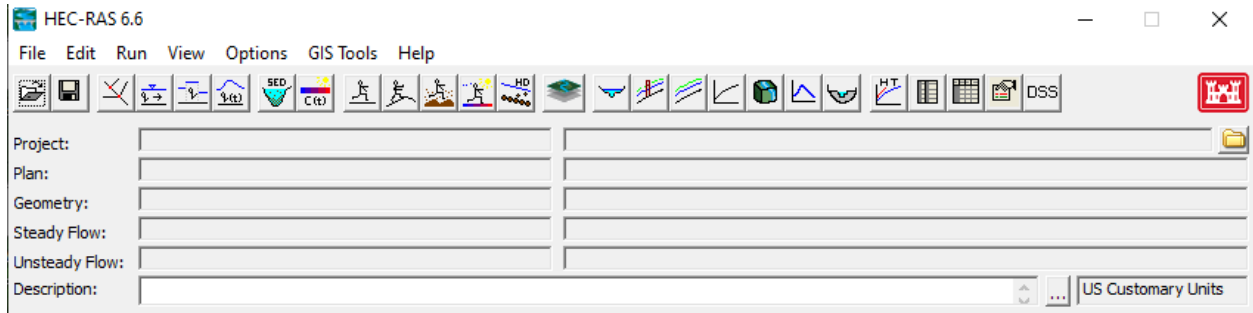
يرمز لنظام تحليل النهر مقره في كلفورنيا الولايات المتحدة تم تطويره من قبل وزاره الدفاع الامريكه سلاح المهندسين من اجل اداره الانهار والمواني وغيرها من الاشغال العامه وهو برنامج كمبيوتر يقوم بنمذجه المكونات الهيدروليكي لتدفق المياه عبر الانهار الطبيعيه والقنوات الاخرى .

البرنامج احادي البعد مما يعني انه لا توجد نمذجه مباشره للتاثير الهيدروليكي لتغيرات شكل المقطع العرضي و الانحناءات و الجوانب الاخرى ثنائيه و ثلاثيه الابعاد للتدفق

تم تطويره عام 1995 ولاقي قبولا واسعا في المجتمع الهيدروليكي منذ ذلك الحين ويتضمن البرنامج امكانيات جديده للدخال البيانات ومكونات التحليل الهيدروليكي وقدرات تخزين البيانات وادارتها وقدرات الرسوم البيانيه واعداد التقارير كما انه قادر علي نمذجه تدفق نظام التدفق دون حرج ووقوف الحرج و مختلط و يستخدم ايضا في تصميم و التحليل و دراسات تعديل الجسور و القناه وهو ضروري للتخطيط و الحد من الفيضانات .

يتكون البرنامج من ثلاثة اجزاء :

الجزء الاول يحتوي علي مجموعة Geometry وهو جزء ادخال البيانات , الجزء الثاني يتضمن مجموعة Steady Flow و هو الجزء الخاص بالتحليل , و الجزء الثالث يشتمل علي جزء اخراج النتائج .Run



الشكل (2-18): يوضح الواجهة الرئيسية للبرنامج وأدوات إدخال البيانات الهندسية والهيدروليكية

الفصل الثالث

الخلفية العلمية

الفصل الثالث

3-1 مقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى تقديم وصف تفصيلي لمنطقة الدراسة (وادي بركة ودلتا طوكر)، مع التركيز على الخصائص الهيدرولوجية والمناخية التي تجعل من هذا الحوض نظاماً هيدروليكياً فريداً ومعقداً. يتناول الفصل بالتحليل الحدث الفيضاني الاستثنائي الذي شهده الوادي في عام 2024، والذي يمثل الحالة الدراسية الأساسية لهذه المحاكاة. كما يستعرض هذا الجزء المنهجية العلمية المتبعة في بناء النموذج الهيدروليكي، بدءاً من تجميع البيانات الطبوغرافية (DEM)، ووصولاً إلى تحليل الهيدروغراف (Hydrograph Analysis) وتحديد الشروط الحدودية (Boundary Conditions) اللازمة لتمثيل سريان المياه وتوقع مساراتها، وذلك بهدف الوصول إلى نتائج دقيقة تساهم في تقليل مخاطر الفيضانات المستقبلية.

3-2 توصيف منطقة الدراسة (Study Area Description):

3-2-1 الخصائص الجغرافية والهيدرولوجية لوادي بركة

يُعد حوض وادي بركة من أكثر الأحواض المائية تعقيداً وديناميكية في منطقة القرن الأفريقي وشرق السودان. يغطي الحوض مساحة شاسعة تتجاوز 42,000 كم²، حيث تنحدر منابعه الرئيسية من المرتفعات الإريترية على ارتفاعات تصل إلى قرابة 2500 متر فوق مستوى سطح البحر، وينتهي بمساره في الأراضي السودانية ليصب في "دلتا طوكر" قبل وصوله إلى البحر الأحمر.

3-2-2 السمات الهيدروليكية للمجرى:-

الانحدار الطبوغرافي: يتميز الوادي بانحدار شديد في قطاعاته العليا، مما يمنح المياه طاقة حركية عالية تؤدي إلى سرعات تدفق فائقة هذا الانحدار يتلاشى تدريجياً عند وصوله إلى منطقة الدلتا، مما يتسبب في ظاهرة الترسيب الكثيف.

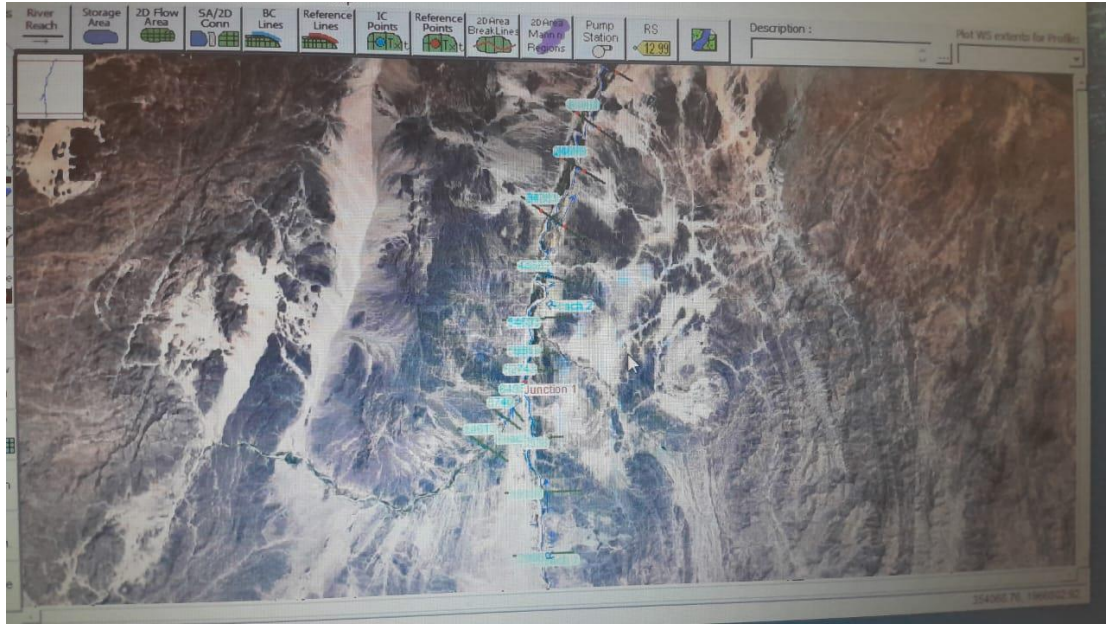
حمل الرسوبيات: يُعرف وادي بركة بأنه من أعلى الوديان في العالم من حيث تركيز المواد العالقة والطينية. يؤدي هذا الحمل الرسوبي إلى تغيير مستمر في شكل المقاطع العرضية وهي نقطة جوهرية يجب مراعاتها عند اختيار معامل الخشونة (Manning's n) في نموذج HEC-RAS.

دلتا طوكر:-

تمثل الدلتا منطقة المصب النهائية، وهي عبارة عن مروحة فيضية تأخذ شكل المثلث، مساحتها التقريبية 400,000 فدان.

تفرع المجاري: نظراً لاستواء الأرض في الدلتا، تفتقر المياه إلى مجرى واحد عميق ومستقر، بل تتفرع إلى عدة مجاري ثانوية. هذا التفرع يمثل التحدي الأكبر في النمذجة ثنائية الأبعاد (2D Modeling) لتوقع مسارات الفيضان بدقة.

التداخل النباتي: تلعب كثافة أشجار "المسكيت" في الدلتا دوراً معيقاً للسريان، حيث تعمل كحواجز طبيعية تزيد من مستويات المياه وتؤدي إلى انحراف الفيضان نحو مناطق غير متوقعة، بما في ذلك مدينة طوكر.



الشكل (3-1): يوضح إدخال البيانات الجغرافية وتحديد مسار وادي طوكر

3-2-3 المناخ والنظام الهيدرولوجي:

يخضع الوادي لنظام جريان موسمي، حيث تتركز الفيضانات في فترتين أساسيتين:

1. الموسم الصغير: في شهري مارس وأبريل.
2. الموسم الرئيسي: من يوليو إلى سبتمبر، وهو الموسم الذي سجل فيه فيضان 2024 أرقاماً قياسية.

تحليل فيضان عام 2024 :-

يُصنف فيضان عام 2024 كواحد من الأحداث الهيدرولوجية المتطرفة التي ضربت حوض وادي بركة، حيث تجاوزت معدلات التدفق السنوية المسجلة تاريخياً. يمثل هذا الفيضان "سيناريو الحالة الأسوأ" الذي تعتمد عليه الدراسة لتقييم كفاءة المنشآت الهيدروليكية القائمة.

3-2-4 الأسباب الهيدرولوجية للحدث:

كثافة الهطول المطري:نتج الفيضان عن تتابع موجات من الأمطار الغزيرة في الهضبة الإريتريّة، مما أدى إلى وصول الحوض إلى حالة "التشبع الكامل"، وبالتالي تحول معظم الأمطار إلى سريان سطحي مباشر دون فقدان كميات كبيرة بالرشح.

تزامن الموجات الفيضانية:تميز عام 2024 بتلاحم عدة موجات فيضانية في وقت وجيز، مما منع انخفاض مناسيب المياه في الدلتا وأدى إلى تراكم هيدروليكي ضاعف من خطر الكسر في السدود الترابية.

3-2-5 التوصيف الهيدروليكي للأضرار:-

من منظور هندسي، يمكن تلخيص آثار فيضان 2024 التي استدعت هذه النمذجة في النقاط التالية:

1. ظاهرة الكسر والتجاوز:أدت الطاقة الحركية العالية للمياه إلى حدوث كسور في التروس الواقية لمدينة طوكر، حيث تجاوز منسوب المياه الارتفاع التصميمي لتلك التروس.
2. النحر والترسيب : تسبب الفيضان في تغيرات حادة في قاع المجرى حيث حدث نحر شديد عند مداخل الجسور وترسيب كثيف في القنوات الزراعية، مما أدى إلى تغيير "السعة التصريفية" للمجري الطبيعية.
3. توسع رقعة الغمر : غطت مياه الفيضان مساحات غير مسبقة داخل الدلتا، مما تطلب استخدام صور الأقمار الصناعية لعام 2024 لضبط حدود المنطقة المغمورة في النموذج الهيدروليكي.

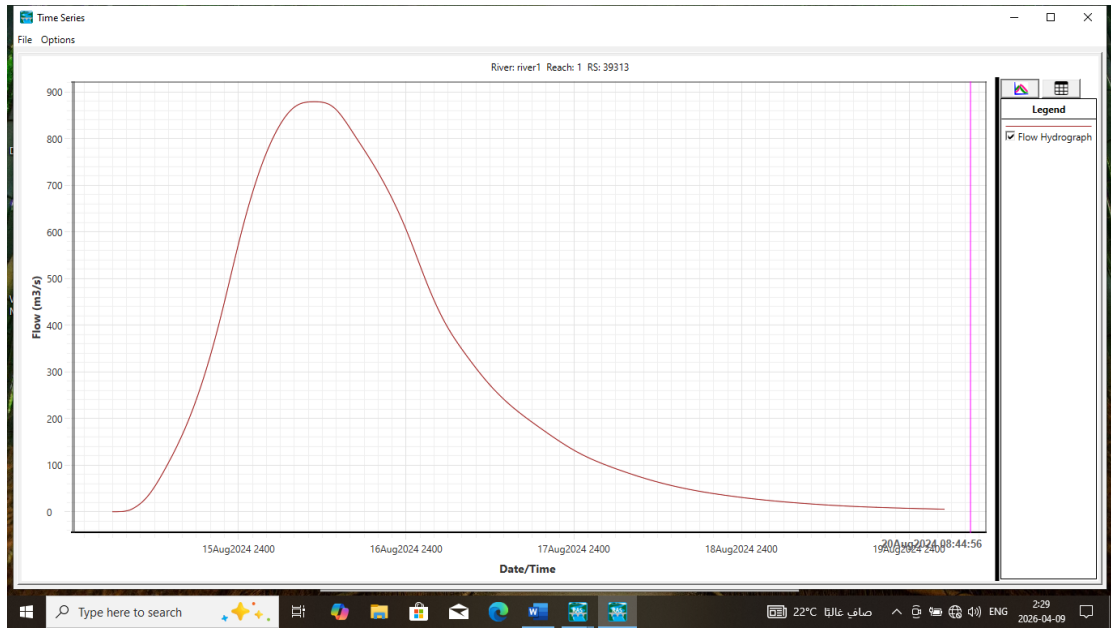
3-3 الهيدروغراف الخاص بفيضان 2024 :

لتمثيل هذا الفيضان داخل برنامج HEC-RAS، تم بناء الهيدروغراف بناءً على البيانات المرصودة والمستنتجة:

أغسطس 2024، وهو 16 ذروة التدفق : تم تقدير أعلى تصريف وصل إليه الوادي خلال ذروة فيضان الرقم الذي يحدد حجم "الموجة الفيضانية" في النموذج.

الزمن إلى الذروة لوحظ أن الهيدروغراف يتسم بمنحنى صعود شديد الميل ، مما يعكس سرعة استجابة الحوض العالية، وهو ما يفرض تحدياً في استقرار النموذج يتطلب اختيار خطوة زمنية دقيقة جداً.

الحجم الكلي للفيضان : لا تكمن خطورة فيضان 2024 في ذروته فحسب، بل في حجم المياه الكلي الذي استمر بالتدفق لفترات طويلة، مما أدى إلى إضعاف البنية التحتية نتيجة التشبع المستمر.



الشكل (2-3): يوضح الهيدروغراف لفيضان عام 2024

1-3-3 المنهجية الرياضية وتحليل الهيدروغراف:

تعتمد النمذجة الهيدروليكية لفيضان وادي بركة على تحويل البيانات المطرية أو القياسات الحقلية إلى تدفقات رقمية. يتم ذلك عبر مرحلتين:

2-3-3 المنهجية الرياضية لحساب الهيدروغراف :

في حال غياب محطات قياس مباشرة ودقيقة لكل لحظات الفيضان، يتم الاعتماد على طريقة هيدروغراف الوحدة الاصطناعي (SCS Synthetic Unit Hydrograph)، والتي تستند إلى المعادلات التالية:

1. حساب زمن التأخير (Lag Time - TL):

يتم تقديره بناءً على خصائص الحوض الفيزيائية:

الجدول (1-3): يوضح خصائص مجرى وحوض طوكر

البيان	طول المجرى (كلم)	مساحة الحوض (م ²)	ميل الحوض	معامل الجريان CN
الخصائص	64000	63516	0.0134	50

3-4 المنشآت الهيدروليكية: الجسر (دوليباي)

3-4-1 تحليل أداء الجسر:

لخور بركة لمجرى رئيسي شيد عليه جسر دوليباي (bifurcation) عند مدخل دلتا طوكر يحدث الرئيسي بعرض 225 متر و مجرى ثانوي شيد عليه جسر دوليباوي المساعد 54 متر ويفصل بين الفرعين منطقة جبلية .

وخور بركة عريض جدا قبل منطقة الافتراق وشواطئه غير محمية وكذلك جميع جوانب المنطقة الجبلية أو ردميات الاقتراب للجسر الرئيسي كما أن هنالك تعدي بخلق منطقة زراعية على الضفة الجنوبية لخور بركة قبل نقطة الافتراق . وبما أن منسوب الفرع الثانوي أعلى بقليل من منسوب الجرى الرئيسي حدث ترسيب في الفرع الثانوي للخور ونمو أشجار مختلفة . مما تسبب في توجية معظم المياه الى المجرى الرئيسي مما أحدث نحرا في الضفة الشمالية للمنطقة الجبلية وتدرجيا تآكل ردمية الاقتراب للجسر الرئيسي وحدث قطع بطول 40 متر تقريبا . كذلك تبين فعالية المجرى الرئيسي و الثانوي (bridge outfanking) للطريق في عام 2014م الا ان الوضع اختلف كثيرا في أكتوبر 2023م بسبب الترسيب المستمر ونمو الاشجار في الفرع الثانوي واذا استمر الوضع كما هو عليه الان سوف تهجر المياه هذا الرافد تدريجيا وتحول الى المجرى الرئيسي مما يشكل ضغطا اضافيا على مكونات الجسر الرئيسي.

3-4-2 احداثيات موقع جسري دوليباي :

طريق بورتوسودان – طوكر – قرورة

الاسم	Northning	Easting
جسر دوليباي الرئيسي	2007604.405	349186.028
جسر دوليباي المساعد	2007599.783	349738.239

الجدول (2-3): يوضح احداثيات جسري دوليباي ونقاط التحكم

تعتبر الجسور المقامة على وادي بركة نقاطاً حرجة في النموذج الهيدروليكي، حيث تؤدي إلى تغيير نمط السريان .

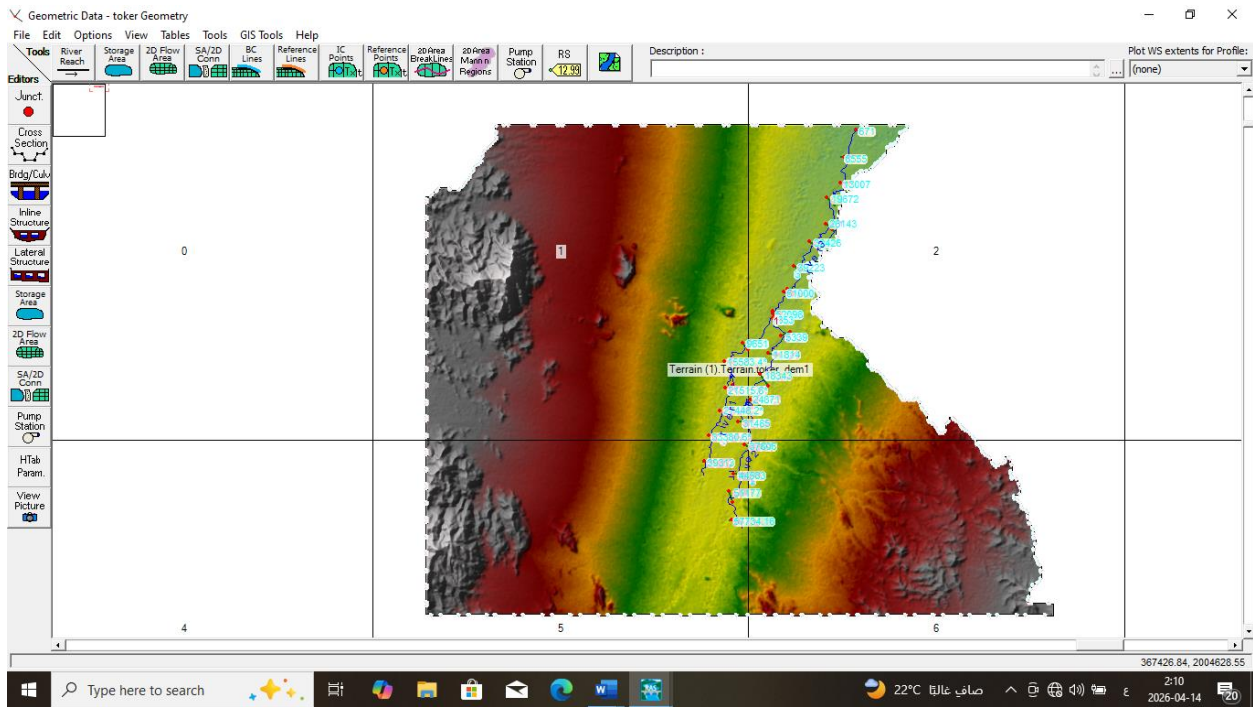
تأثير التضييق: تعمل دعائم الجسر والأكتاف على تقليص المساحة المقطعية للمجرى، مما يؤدي إلى زيادة سرعة المياه وتكون ظاهرة الماء الخلفي (Backwater Rise) أمام الجسر.

تحليل النحر: في فيضان 2024، أدت السرعات العالية والدوامات المتكونة حول الدعائم إلى حدوث نحر محلي (Local Scour) ونحر عام للمجرى. سيقوم النموذج (HEC-RAS) بحساب عمق النحر المتوقع لضمان سلامة القواعد الإنشائية للجسر.

3-3 عمل نموذج هيدروليكي للوادي باستخدام برنامج HEC-RAS

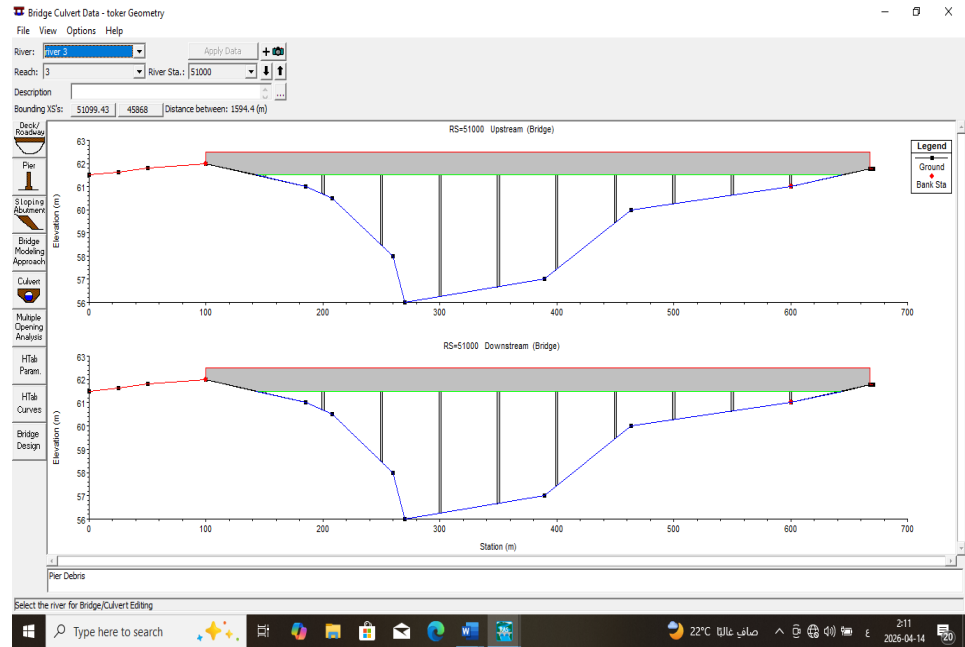
تتم النمذجة الهيدروليكية وفق الخطوات التالية:

1- إدخال البيانات الهندسية (Geometry Data): رسم مسار الوادي (Reach) وتحديد المقاطع العرضية (Cross Sections) بناءً على بيانات الرفع المساحي للوادي.



الشكل (2-3): يوضح واجهة إدخال البيانات الهندسية

تعريف المنشأ الهيدروليكي (Bridge Data): إدخال بيانات الكبري عند المقطع (5100BR)، ومنسوب الطريق (Deck)، وتوزيع الأعمدة (Piers). وتشمل أبعاد الفتحة،



الشكل (3-3): يوضح واجهة إدخال بيانات الكبري

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 150

Ins Row Centerline Station Downstream 150

Floating Pier Debris

All On ... All Off ... ☒ Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: 2

Debris Height: 2

	Upstream		Downstream	
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	2	50	2	50
2	2	70	2	70
3				
4				
5				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

الشكل (4-3): يوضح نافذة إدخال الخصائص الهندسية لأعمدة الكبري

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
1509.4	12.	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	100	62.5	61.5	100	62.5	61.5
2	667.5	62.5	61.5	667.5	62.5	61.5
3						
4						
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS 2. D.S Embankment SS 2.

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

الشكل (5-3): يوضح نافذة إدخال البيانات الهندسية لسطح الكبري والطريق

تحديد معاملات الخشونة (Manning's n): تحديد قيم الخشونة لمجرى الوادي والجوانب لضمان دقة المحاكاة.

Section
Bridg/Culv
Inline
Structure
Lateral
Structure
Storage
Area
2D Flow
Area
SA/2D
Conn
Pump
Station
HTab
Param.
View
Picture

Edit Manning's n or k Values

River: (All Rivers) ☐ Edit Interpolated XS's

Reach: All Regions

Channel n Values have a light green background

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

	River	Reach	River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3	n #4
1	river 3	3	52098	n	0.045	0.035	0.045	
2	river 3	3	51099.43	n	0.045	0.035	0.045	
3	river 3	3	51000	Bridge				
4	river 3	3	45868	n	0.045	0.035	0.045	
5	river 3	3	45225	n	0.045	0.035	0.045	
6	river 3	3	39223	n	0.045			
7	river 3	3	32426	n	0.045			
8	river 3	3	26143	n	0.045			
9	river 3	3	19672	n	0.045			
10	river 3	3	13007	n	0.045			
11	river 3	3	6555	n	0.045			
12	river 3	3	671	n	0.045	0.035	0.045	
13	river1	1	39313	n	0.045	0.035	0.045	
14	river1	1	33380.6*	n	0.045	0.035	0.045	0.045
15	river1	1	27448.2*	n	0.045	0.035	0.045	0.045
16	river1	1	21515.8*	n	0.045	0.035	0.045	0.045
17	river1	1	15583.4*	n	0.045	0.035	0.045	0.045
18	river1	1	9651	n	0.045	0.035	0.045	
19	river2	2	57734.16	n	0.045	0.035	0.045	
20	river2	2	51177	n	0.45			
21	river2	2	44583	n	0.045			
22	river2	2	37806	n	0.045			
23	river2	2	31485	n	0.045			
24	river2	2	24871	n	0.045			

OK Cancel Help

الشكل (3-6): يوضح واجهة إدخال معامل خشونة مانينج لجميع المقاطع العرضية

إدخال البيانات الهيدروليكية (Steady Flow Data): تحديد التصريف التصميمي للفيضان (800 m³/s) وتحديد الشروط الحدودية (Boundary Conditions).

Steady Flow Data - Flow 11

File Options Help

Description :

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: river 3

Reach: 3 River Sta.: 52098

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates
	River	Reach	RS	PF 1
1	river 3	3	52098	800
2	river 1	1	39313	700
3	river 2	2	57734.16	100

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

الشكل(7-3): يوضح نافذة إدخال بيانات الجريان المستمر

تفصيل هذه الخطوة:

1. أنواع الجريان (Steady vs. Unsteady)

بما أن تصرف ثابت ، فإننا نستخدم Steady Flow Analysis:

يُستخدم لمحاكاة (Worst-case scenario) وهي ذروة الفيضان، وهو الأنسب لحسابات النحر (Scour).

2. مدخلات خطوة الجريان (Flow Data Inputs)

عند فتح نافذة Steady Flow Data ندخل الآتي:

التصريف: ($800 \text{ m}^3/\text{s}$). ندخلها عند المقطع الموجود في أقصى المنبع (Upstream).

Boundary Conditions (الشروط الحدودية): هي الطريقة التي ينهي بها البرنامج حساباته عند المصب (Downstream). غالباً ما نستخدم Normal Depth، حيث نقوم بإدخال ميل القاع (Energy Slope) (0.001) للوادي.

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles
 ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

River	Reach	Boundary Type	Downstream
river 3	3	a	
river1	1	a	Junction=1
river2	2	a	Junction=1

HEC-RAS

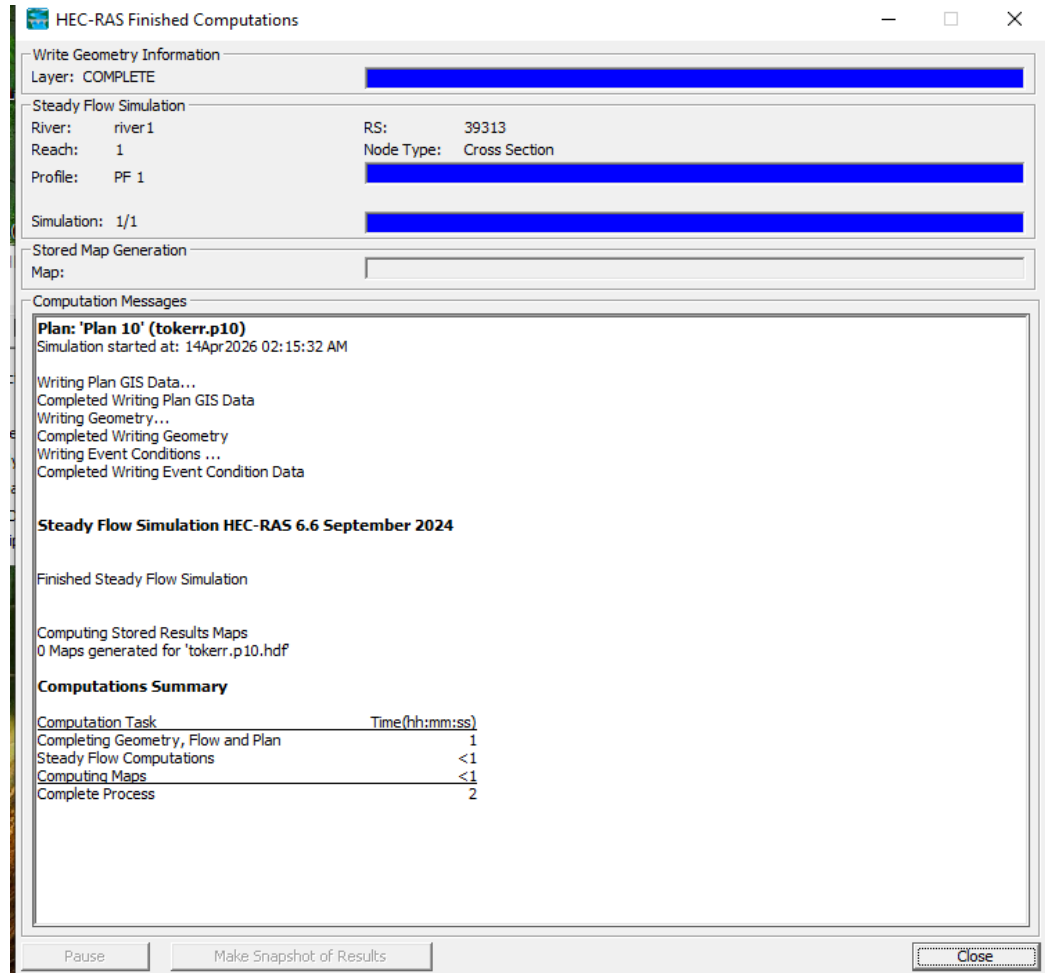
Enter the downstream slope for normal depth computation for reach: 3 for all profiles.

0.001

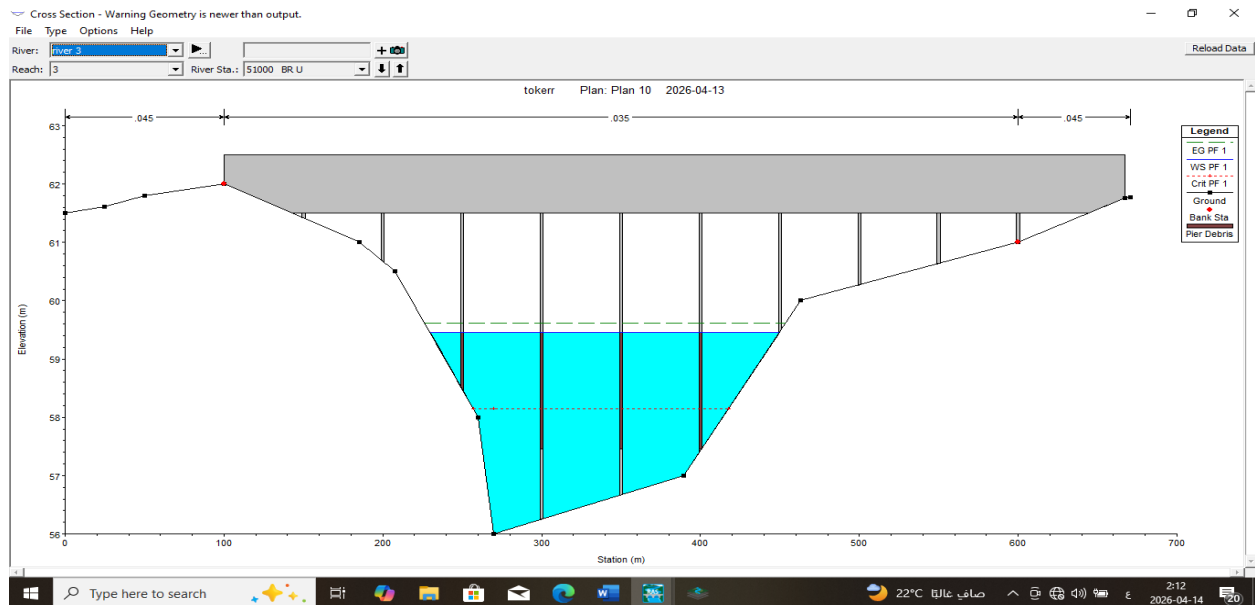
Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...

الشكل (8-3): يوضح نافذة إدخال هيدوغراف التدفق للمقطع العلوي

- تنفيذ المحاكاة (Run Simulation): إجراء الحسابات الهيدروليكية للتأكد من استقرار النموذج وعدم وجود أخطاء في معاملات الكبري (مثل معامل Cd).



الشكل (9-3): يوضح نافذة حالة العملية الحسابية

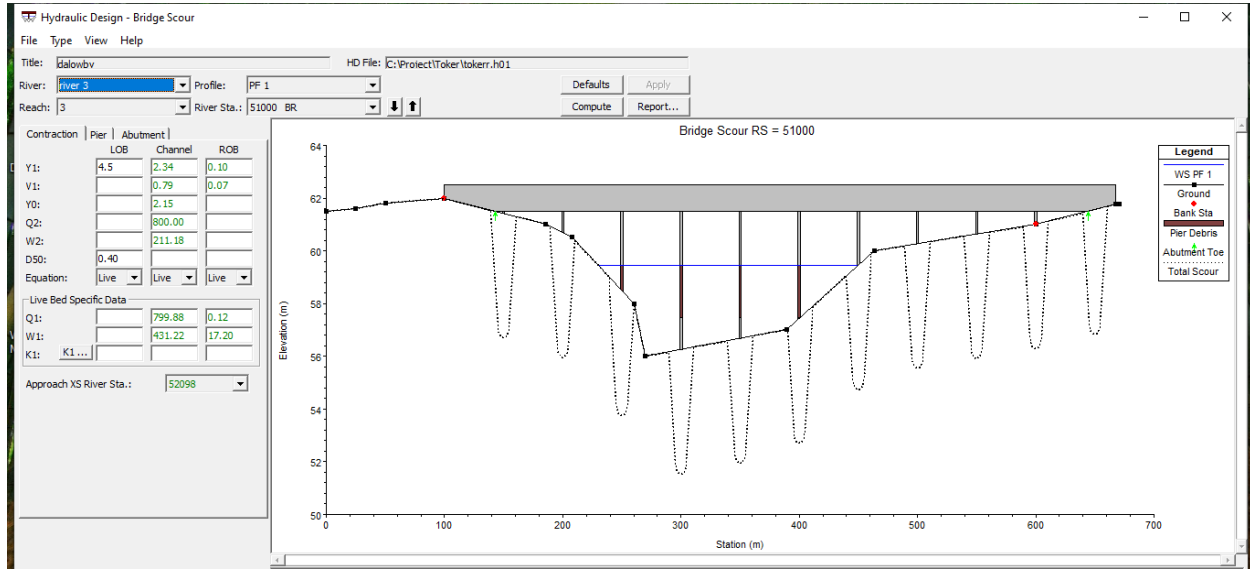


الشكل (10-3): يوضح المقطع العرضي الهيدروليكي عند موقع الكبري

3-4 حساب النحر (Scour) عند حوائط وأعمدة الكبري

تعتبر هذه من أهم خطوات التصميم الإنشائي للأساسات، وتتم عبر:

1. نحر الضيق (Contraction Scour): حساب النحر الناتج عن ضيق المجرى عند فتحة الكبري باستخدام معادلة Live-Bed Scour.



الشكل (3-11): يوضح واجهة حسابات النحر عند المنشأة المائي

نحر الأعمدة (Pier Scour): حساب النحر الموضعي حول أعمدة الكبري. أظهرت المحاكاة أن عمق النحر عند الأعمدة (Ys) وصل إلى 2.78 متر.

نحر الأكتاف (Abutment Scour): حساب النحر عند جانبي الكوبري لضمان حماية المداخل والمخارج..

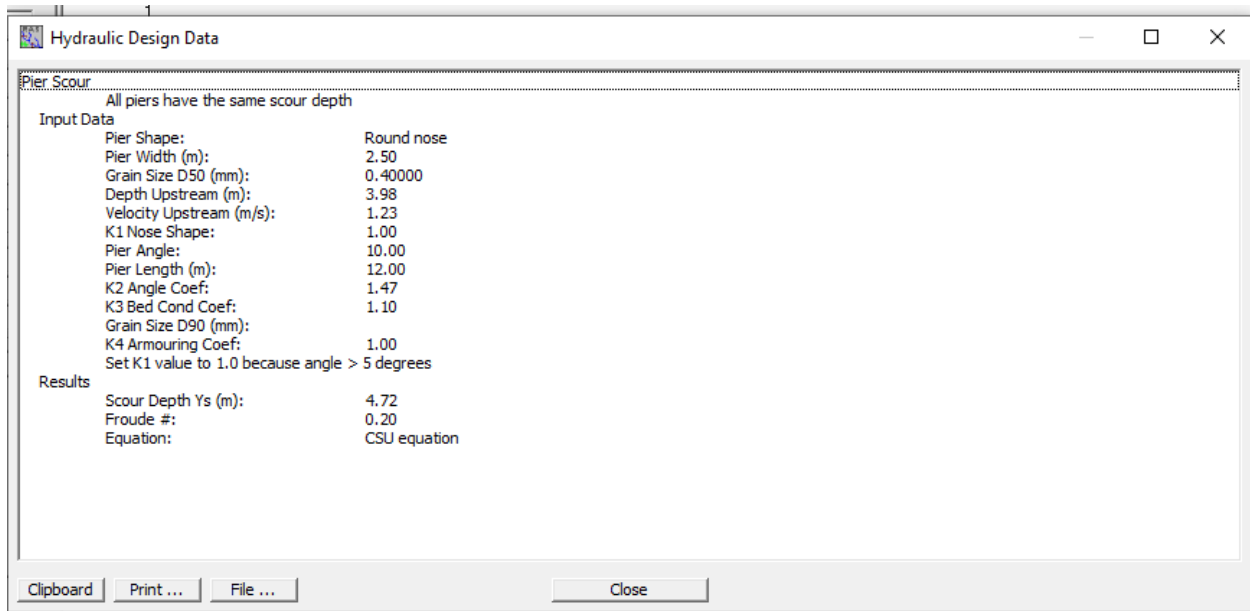
تحليل النتائج (Run)

بعد ان قمنا بإدخال البيانات، نقوم بعمل Run وهنا يقوم البرنامج بحل معادلة الطاقة (Energy Equation) لحساب:

Water Surface Elevation (منسوب سطح الماء): للتأكد من أن الماء لا يغمر جسم الكبري (Overtopping).

Velocity (السرعة): وهي عامل في حساب النحر؛ فكلما زادت السرعة الناتجة عن ضيق فتحة الكوبري، زاد عمق النحر.

Froude Number (رقم فرود): يحدد نوع الجريان (هادئ Subcritical أو سريع Supercritical).



الشكل (3-12): يوضح مخرجات تقرير حسابات النحر للأعمدة

حيث:

$$B = 110$$

عمق المياه : اعلى منسوب (65.8) و اقل منسوب (62.8)

$$y = 61.5 - 57 = 4.5 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{B \times y}$$

$$\frac{2848.5}{110 \times 4.5} = 5.75 \text{ m/s}$$

عرض الدعامة :

$$Fr = \frac{5.75}{\sqrt{9.81 \times 4.5}} = 0.865$$

حساب نحر الدعامات :

$$y_s = 2 \times a \times Fr^{0.43}$$

$$y_s = 2 \times 2.5 \times (0.865)^{0.43} = 4.69 \text{ m}$$

فتحة الجسر 50

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{110}{50} = 2.2$$

$$\frac{y_s}{y_1} = 1.4$$

$$y_2 = 1.4 \times 4.5 = 6.3$$

$$y_2 = 6.3 - 4.5 = 1.8 \text{ m}$$

نحر الانكماش = 1.8

$$Total = 4.69 + 1.8 = 6.49 \text{ m}$$

5-3 خلاصة النتائج :

بعد ادخال بيانات الفيضان و خصائص الدعامات و التربة ، وصلنا للنتائج التالية :

نحر الدعامات: 4.69m

نحر الانقباض : 1.8m

اجمالي عمق النحر : 6.49m

العوامل المؤثرة :

ابعاد المنشأ : عرض الدعمة 2.5 m فتحة الجسر 50m

طبيعة التربة : نوعومة الرواسب في $D_{50}=0.40$ جعلتها اكثر عرضة للانجراف

الفصل الرابع

الخلاصة، التوصيات

الفصل الرابع

الخلاصة والتوصيات

1-4 الخلاصة (Conclusion)

خلصت الدراسة إلى أن استخدام التقنيات الحديثة والنمذجة الرياضية ثنائية الأبعاد (2D Modeling) هو الحل الأمثل لفهم السلوك الهيدروليكي للمعقد لوادي طوكر. كما أثبتت الدراسة أن الفيضانات في هذا الوادي لا تمثل خطراً فحسب، بل هي المورد الأساسي للري في المنطقة، مما يستوجب إدارة متكاملة توازن بين الحماية من الفيضان والاستغلال الأمثل للمياه والرسوبيات المغذية للتربة. إن تحقيق الاستقرار في توزيع المياه يعتمد بشكل جذري على التحكم في مستويات الإطماء وتطهير المجاري الرئيسية بصفة دورية.

من خلال النمذجة الهيدروليكية لوادي طوكر باستخدام HEC-RAS، توصلت الدراسة إلى النتائج التالية:

أظهرت المحاكاة أن التصريف التصميمي ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) يمر عبر فتحة الكبري مع وجود خلوص (Freeboard) كافٍ يمنع حدوث ظاهرة الـ (Pressure Flow).

وجدنا قيمة النحر الكلي عند الأعمدة الوسطى بلغت 4.69 متر، وهي قيمة حرجية يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم طول الخوازيق (Piles) أو عمق القواعد.

طبيعة التربة في وادي طوكر (الرمليّة الطميية) تجعل المجرى شديد الحساسية للنحر السريع أثناء فترات السيول المفاجئة.

2-4 التوصيات:-

بناءً على نتائج الدراسة، نوصي بالآتي:

منسوب التأسيس: يجب أن يكون منسوب قواعد الكوبري تحت أقصى عمق للنحر المحسوب بمسافة أمان لا تقل عن 1.5 متر (أي التأسيس على عمق لا يقل عن 4.5 متر من منسوب القاع الحالي).

بقطر حبيبات كبيرة حول الأعمدة الحماية من النحر: ضرورة وضع طبقات حماية من الدبش (Riprap) والأكتاف لتقليل سرعة المياه الموضعية ومنع تآكل التربة.

الصيانة الدورية: إجراء مسح مساحي لقاع الوادي بعد كل موسم فيضان للتأكد من عدم حدوث تغيرات جوهريّة في مسار المجرى أو أعماق النحر.

تحديث البيانات: ضرورة إنشاء محطات رصد هيدرولومناخية آلية حديثة لتوفير بيانات لحظية ودقيقة عن التصرفات والمناسيب لرفع دقة النماذج المستقبلية.

التوسع في النمذجة: نوصي الباحثين من بعدنا بدمج النماذج الهيدرولوجية (Hydrologic Models) مع النماذج الهيدروليكية لعمل نظام إنذار مبكر متكامل للفيضان.

الإدارة المستدامة: تفعيل دور المهندسين المقيمين في المنطقة لمراقبة التغيرات المورفولوجية للمجرى
عقب كل موسم فيضان وتحديث النماذج الرياضية بناءً عليها.

المراجع والملحقات

المراجع

- أبو العلا أحمد محمد- الجيومورفولوجيا-دار المعرفة الجامعية-1993م
د.شريف فتحي الشافعي-التحليل الإنشائي للكباري-دار الكتب العملية للنشر والتوزيع-2005م
عبدالرحيم إبراهيم- الموارد المائية في السودان: دراسة جغرافية جامعة الخرطوم كلية الآداب-1996م

Brunner, G. W. (2023). HEC-RAS Hydraulic Reference Manual

Richardson, E. V., & Davis, S. R. (2001). Evaluating Scour at Bridges (HEC-18)

ملحقات



الملحق(1): يوضح خريطة منطقة طوكر.



الملحق(2): يوضح بداية إنحراف الردميات.



الملحق(3): يوضح النحر في الردميات نتيجة الطمي مما أءاء إلى إنقطاع الطريق للكبري وتغير مجرى الخور.



الملحق(4): يوضح عمل حمايات حجرية للردميات.

