المجلة الجغرافية العربية

تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية

نمذجة خريطة أخطار السيول ومحاكاتها وإدارتها في المناطق العمرانية بالمدينة العربية –مدينة الخرج– المملكة العربية السعودية – أنموذجًا استنادًا إلى التكامل ما بين نموذجي (HEC-HMS) و(HEC-RAS)

د. أشرف أحمد علي عبدالكريم

أستاذ العمران ونظم المعلومات الجغرافية المشارك – وزارة الشئون البلدية والقروية والإسكان

الرياض – المملكة العربية السعودية

CC BY NC

كافة حقوق النشر محفوظة للجمعية الجغرافية المصرية
وجميع الأراء الواردة في بحوث هذه السلسلة تعبر عن آراء
أصحابها ولا تعبر بالضرورة عن وجهات نظر الجمعية الجغرافية المصرية

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: ١١١٠ – ١٩١١

الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: ٢٦٨٢ – ٤٧٩٥

الموقع على شبكة الانترنت: www.egyptiangs.com

All rights reserved. This book is protected by copyright. No part of it may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from The Egyptian Geographical Society.

قواعد النشر

تهدف هذه السلسلة إلى نشر البحوث الجغرافية الأصيلة التي يقوم بها الجغرافيون المصريون المتخصصون، بهدف تعريف المؤسسات العلمية العالمية والعربية بالنشاط العلمي الذي تتبناه وتتوفر عليه الجمعية الجغرافية المصرية.

وتقوم بحوث هذه السلسلة" على الدراسات الجغرافية الميدانية، وعلى البحوث التي تهتم بطرح رؤى جديدة في مناهج البحث الجغرافي وأساليبه، كما تعنى بالبحوث النفعية في مختلف مجالات الجغرافيا التطبيقية، وهو ما يتيح للجغرافيين العرب والأجانب الإطلاع على ما تقوم به الجمعية الجغرافية المصرية التي تعد أقدم الجمعيات الجغرافية في العالم العربي، كما تعد رائدة في إجراء البحوث والدراسات الجغرافية الجادة والأصلية.

وقد تتضمن بحوث هذه "السلسلة" ملخصات مكثفة لرسائل الماجستير والدكتوراة المجازة في الجامعات المصرية والعربية وغيرها.

ويشترط في البحوث التي تنشر ضمن هذه السلسلة مراعاة القواعد التالية:

- تقبل للنشر في هذه السلسلة البحوث التي تتسم بالأصالة وتسهم في تقدم المعرفة الجغرافية.
- يقدم مع البحوث المكتوبة باللغة العربية ملخص (Abstract) باللغة الإنجليزية. كما يقدم مع البحوث المكتوبة بلغة أجنبية ملخص باللغة العربية.
- لا يزيد البحث عن ١٥٠ صفحة، ويجوز لمجلس الإدارة استثناء البحوث الممتازة من هذا الشرط.
- يشترط ألا يكون العمل المقدم قد سبق نشره أو قدم للنشر في أية جهة أخرى.
- يقدم البحث في صورته الأخيرة المقبولة للنشر من ثلاث نسخ مرفقاً به اسطوانة ليزر (CD) مستخدماً إحدى برمجيات معالجة النصوص مع نظام ويندوز المتوافق مع IBM، على أن تكون الكتابة ببنط ١٤ ومسافة ١ بين الأسطر، وتقدم الخرائط والصور والأشكال مستقلة محفوظة في صورة JPEG أو Tiff و Resolution ٢٠٠ فأكثر.
- يفضل أن تقدم الخرائط والأشكال البيانية بالألوان بحيث لا تتجاوز مساحتها (١٢سم عرض × ١٨سم طول)، وإن تعذر ذلك تقدم بالأبيض والأسود وفق القواعد الكارتوجرافية.
- يكتب الباحث اسمه واسم البحث في ورقة منفصلة ويكتفى بكتابة عنوان البحث فقط على رأس البحث مراعاة لسرية التحكيم.
- يعرض البحث على اثنين من المحكمين من كبار الأساتذة في مجال التخصص، وفي حالة اختلاف رأى المحكمين، يرسل البحث إلى محكم ثالث، مرجح، وبناء على تقاريرهم يمكن قبول البحث للنشر أو إعادته للباحث لإجراء التعديلات أو التصويبات الضرورية قبل نشره.
- البحوث التي تقدم للنشر لا ترد إلى مقدميها سواء نشرت أو لم تنشر.
- تحتفظ الجمعية بحقوق النشر كاملة.
- يسلم للباحث ١٠ نسخ من بحثه بعد نشره، وإذا أراد نسخاً إضافية يسدد ثمنها طبقاً

هيئة تحرير المجلة

أ.د. محمد زكي السديمي	رئيس مجلس إدارة المجلة
أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل	نائب رئيس مجلس إدارة المجلة ورئيس التحرير
أ.د. مصطفى محمد البغدادي	مدير التحرير
أ.م. د. محمد إبراهيم خطاب	محرر تنفيذي
أ.م. د. كامل مصطفى كامل	محرر تنفيذي
د. محمد ربيع عبد الظاهر	محرر تنفيذي
د. رشا حسين رمضان	محرر تنفيذي
د. بشير الشوربجي	مدقق لغوي

مجلس إدارة الجمعية الجغرافية المصرية

أ.د. محمد زكي السديمي	رئيس مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبد الله علام عبده علام	نائب رئيس مجلس إدارة الجمعية
أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل	أمين عام الجمعية
أ.د. مسعد السيد أحمد بحيري	أمين صندوق الجمعية
أ.د. فتحي محمد أبو عيانة	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. أحمد حسن إبراهيم	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. أحمد السيد الزاملى	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. شحاتة سيد أحمد طلبة	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. مصطفى محمد البغدادي	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبد العظيم أحمد عبد العظيم	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عمر محمد علي محمد	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. سامح إبراهيم عبد الوهاب	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عادل عبد المنعم السعدني	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عطية محمود الطنطاوي	عضو مجلس إدارة الجمعية
أ.د. عبير ابراهيم عبد الله	عضو مجلس إدارة الجمعية

الهيئة الاستشارية

أ.د. عبد الله يوسف الغنيم	أستاذ الجغرافيا الطبيعية بمركز البحوث والدراسات الكويتية
أ.د. نبيل سيد امبابي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة عين شمس
أ.د. فتحي عبد العزيز أبو راضي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الاسكندرية
أ.د. فاروق كامل عز الدين	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الزقازيق
أ.د. سعيد محمد عبده	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية البنات جامعة عين شمس
أ.د. محمد عبد الرحمن الشرنوبي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الفيوم
أ.د. السعيد إبراهيم البدوي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الدراسات الأفريقية العليا جامعة القاهرة
أ.د. جودة فتحي التركماني	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة القاهرة
أ.د. كريم مصلح صالح	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة سوهاج
أ.د. محمد نور الدين السبعاوي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنيا
أ.د. عزة أحمد عبد الله	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بنها
أ.د. مسعد سلامة مندور	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنصورة
أ.د. إبراهيم محمد علي بدوي	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة دمياط
أ.د. إبراهيم علي عبد الهادي غانم	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة طنطا
أ.د. محمد فوزي عطا	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بني سويف
أ.د. ايملي محمد حلمي حمادة	أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنوفية
أ.م. د. علي الدوسري	أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا – جامعة الملك سعود – السعودية
Dr. Niki Evelpidou	**National & Kapodistrian University of Athens Faculty of Geology and Geoenvironment, Greece**

فهرس المحتويات

م	العنوان	ص
	المُلخص	١
	قائمة الرموز والمُصطلحات	٢
١	مقدمة	٣
٢	إشكالية الدراسة	٤
٣	أهداف الدراسة	٦
٤	تساؤلات الدراسة	٧
٥	منطقة الدراسة	٧
٦	مناهج الدراسة	٩
٧	الدراسات السابقة	١٠
٨	إجراءات الدراسة ومعالجة البيانات	١٧
٨-١	تحديد مصادر البيانات	١٨
٨-١-١	الخرائط والصور الفضائية	١٨
٨-١-٢	الدراسة الميدانية	٢٠
٨-٢	النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية (النمذجة الهيدروديناميكية)	٢٠
٨-٢-١	برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS))	٢٠
٨-٢-٢	النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي (HEC-HMS)	٢١
٨-٢-٣	النماذج الهيدروليكية ثنائية الأبعاد المستخدمة (HEC-RAS)	٢٥
٨-٣	معايرة النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية	٢٦
٨-٤	تقييم الأخطار	٢٧
٨-٤-١	خرائط شدة السيول (Hazard Maps)	٢٧
٨-٤-٢	خرائط درجة التأثر بالسيول (Vulnerability)	٢٨
٨-٤-٣	خرائط أخطار السيول (Risk Maps)	٢٩
٨-٥	التحقق من دقة النمذجة الهيدروليكية	٢٩
٩	النتائج والمناقشة	٣٠
٩-١	الخصائص الجيومورفولوجية لأحواض التصريف	٣٠
٩-٢	خصائص الأمطار المؤثرة على منطقة الدراسة	٣٥

٩-٣	الخصائص الجيولوجية لأحواض التصريف	٣٨
٩-٤	خريطة التربة وخصائص المجموعة الهيدرولوجية للتربة ورقم المنحنى	٤٣
٩-٥	خصائص مياه السيول	٤٨
٩-٦	خصائص النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد	٥١
٩-٧	خريطة أخطار السيول (نطاق الغمر)	٥٣
٩-٨	خطة الحماية والوقاية من أخطار السيول للمدينة	٥٥
٩-٨-١	منشآت درء أخطار السيول القائمة	٥٥
٩-٨-٢	منشآت درء أخطار السيول المقترحة	٦٠
	النتائج والتوصيات	٦٢
	النتائج	٦٢
	التوصيات	٦٣
	المصادر والمراجع	٦٥
	المُلخص باللغة الإنجليزية	٧٠

فهرس الأشكال والخرائط

م	العنوان	ص
١	موقع مدينة الخرج من المملكة العربية السعودية وأحواض التصريف المؤثرة عليها عام ٢٠٢٣م	٨
٢	النطاق العمراني واستخدامات الأرض داخل مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	١٠
٣	نموذج الارتفاع الرقمي لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣١
٤	انحدار أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣٢
٥	مواقع السدود وأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣٤
٦	مواقع ومواضع محطات قياس الأمطار المحيطة والممثلة لمنطقة الدراسة عام ٢٠٢٣م	٣٧
٧	الخريطة الجيولوجية لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣٨
٨	خريطة التربة لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٤٤

٩	المجموعة الهيدرولوجية للتربة لأحواض التصـريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٤٤
١٠	اسـتخدامات الأرض لأحواض التصـريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٤٦
١١	رقم المنحنى لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٤٨
١٢	هيدروجراف مياه السيول للحوض رقم (W1) لأوقات الرجوع ١٠٠ سنة عام ٢٠٢٣م	٤٩
١٣	هيدروجراف مياه السيول للحوض رقم (W2) لأوقات الرجوع ١٠٠ سنة عام ٢٠٢٣م	٤٩
١٤	أعماق مياه السـيول للأودية المؤثرة على مدينة الخرج باسـتخدام برنامج (HEC-RAS)عام ٢٠٢٣م	٥٢
١٥	سـرعات مياه السـيول للأودية المؤثرة على مدينة الخرج باسـتخدام برنامج (HEC-RAS)عام ٢٠٢٣م	٥٣
١٦	الأخطار الحالية للسـيول (نطاق الغمر) المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٥٤
١٧	الأخطار المتوقعة للسيول المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٥٥
١٨	منشآت درء أخطار السيول القائمة والمقترحة في مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٥٧
١٩	منشآت درء أخطار السيول المقترحة في مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٦١

فهرس الصور الفوتوغرافية

م	العنوان	ص
١	جانب من إشكالية الدراسة غرق مدينة الخرج في عام ٢٠٠٣م الموافق عام ١٤٢٤هـ	٥
٢	جانب من إشكالية الدراسة غرق مدينة الخرج في عام ٢٠٠٣م الموافق عام ١٤٢٤هـ	٦
٣	جانب من منشـآت درء أخطار السـيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م	٥٧
٤	جانب من منشـآت درء أخطار السـيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م	٥٨

٥	جانب من منشـــآت درء أخطار الســـيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م	٥٨
٦	جانب من منشـــآت درء أخطار الســـيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م	٥٩
٧	جانب من منشـــآت درء أخطار الســـيول القائمة (حواجز التهذيب) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م	٥٩
٨	جانب من منشـــآت درء أخطار الســـيول القائمة (حواجز التهذيب) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م	٦٠

فهرس اللوحات

م	العنوان	ص
١	منهجية وإجراءات الدراسة عام ٢٠٢٣م	١٧
٢	الفكرة التصميمية للبحث عام ٢٠٢٣م	١٨
٣	واجهة برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS) لأحواض التصـــريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٢١
٤	واجهة النموذج الهيدرولوجي لبرنامج HEC-HMS لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٢٢
٥	واجهة النموذج الهيدروليكي لبرنامج HEC-RAS لعمل محاكة ثنائية الأبعاد لعمق وسـرعة ونطاق الغمر لمياه السـيول لأحواض التصـريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٢٦

فهرس الجداول

م	العنوان	ص
١	بيانات الإدخال والدقة المكانية ومصـادرها للمعايير المسـتخدمة في الدراسـة عام ٢٠٢٣م	١٩
٢	تحديد معامل الحطام (معامل الأنقاض)	٢٨
٣	تصنيف شدة السيول	٢٨
٤	درجة تأثر الأراضي بالسيول طبقًا لنوع الاستعمال	٢٩

٥	أهم الخصـــائص الجيومورفولوجية لأحواض التصـــريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣٣
٦	بيانات السدود المؤثرة على أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣٤
٧	بيانات السدود المؤثرة على أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٣٥
٨	خصائص محطات قياس الأمطار المستخدمة في الدراسة عام ٢٠٢٣م	٣٦
٩	عمق الأمطار التصميمي لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج على أســـاس المحطات الميترولوجية المؤثرة خلال أوقات الرجوع المختلفة عام ٢٠٢٣م	٣٧
١٠	المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب طريقة(SCS)	٤٥
١١	تصنيف المجموعة الهيدرولوجية للتربة عام ٢٠٢٣م	٤٥
١٢	رقم المنحنى حسب أنواع استعمال الأراضي عام ٢٠٢٣م	٤٦
١٣	رقم المنحنى لأحواض التجميع حسـب توزع التربة واسـتعمال الأراضـي عام ٢٠٢٣م	٤٧
١٤	خصائص مياه السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج للأزمنة التكرارية المختلفة عام ٢٠٢٣م	٥٠
١٥	الأخطار الحالية للســـيول (نطاق الغمر) المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٥٥
١٦	خصائص العبارات القائمة وأبعادها	٥٦
١٧	التحليل الهيدروليكي للعبارات القائمة	٥٦
١٨	منشآت درء أخطار السيول المقترحة في مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م	٦١

المُلخص:

يُعدُّ تحديد المناطق المعرضة للغمر، وإنتاج خريطة أخطار السيول في المدينة العربية الواقعة في البيئات الجافة مكونًا أساسيًّا في إستراتيجيات إدارة أخطار السيول وتخطيط استخدامات الأرض، وتدعيم السياسات التخطيطية لصناع القرار، وتهدف هذه الدراسة إلى تطوير نهج تكاملي لنمذجة خريطة أخطار السيول ومحاكاتها وإدارتها في المناطق العمرانية بالمدينة العربية، مع التطبيق على مدينة الخرج بمنطقة الرياض، والتي تتعرض لسيول متكررة ومقارنتها مع السيول التاريخية الأخيرة التي حدثت بتاريخ ٢٠١٧/٢/١٨م، وعمل محاكاة ونمذجة لأخطار السيول المؤثرة على المناطق المأهولة بالسكان لسيناريوهات مختلفة عدة، ووضع حلول وتوصيات إستراتيجية لمحاولة التخفيف والحماية من الآثار السلبية الناجمة عنها، وتحسين مستوى الوعي بالنمذجة الهيدروديناميكية ثنائية الأبعاد.

ولتحقيق هذه الأهداف تم الدمج بين النمذجة الهيدرولوجية من خلال تطبيق النموذج الهيدرولوجي ذي النظام الهندسي (HEC-HMS)، والنمذجة الهيدروليكية من خلال تطبيق برنامج مركز الهندسة الهيدرولوجية – نظام تحليل الأنهار (HEC-RAS).

وقد كشفت نتائج الدراسة إلى أن مدينة الخرج تتعرض إلى أخطار سيول منقولة، نتيجة وقوعها في ملتقى مجموعة كبيرة من الأودية، من أهمها: وادي حنيفة، ووادي الحنية، ووادي نساح، ووادي الرغيب، ووادي ماوان، ووادي أبا الذر، ونتيجة لذلك يتعرض نحو ٢١.٠٥٪ من مساحة مدينة الخرج للغمر من السيول لعاصفة تصميمة ١٠٠ عام، حيث تتعرض نحو ٥٠.٦٢٪ من المناطق العمرانية لأخطار مرتفعة، وتتركز في أحياء السلمانية، والبرج، والعزيزية، والمنتزه، في حين تتعرض نحو ٢٣.٦٥٪ لأخطار متوسطة، وتتركز في أحياء الراشدية، والبديعة، والفيحاء، أما المناطق العمرانية التي تتعرض لأخطار منخفضة فإنها تبلغ نحو ٢٥.٧٣٪، وتتركز في أحياء الروضة، والخالدية، وقرطبة، والنهضة، والأندلس، والريان، وتوصي هذه الدراسة بضرورة التدخل الهندسي لحماية مدينة الخرج عن طريق إنشاء مجموعة مختلفة من منشآت درء أخطار السيول المختلفة.

الكلمات الدالة: إدارة خريطة أخطار السيول– النمذجة الهيدرولوجية – النمذجة الهيدروليكية –خريطة الغمر – خريطة الحساسية البيئية – خريطة شدة السيول – خريطة أخطار السيول – مدينة الخرج.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٥)، العدد (١٩٣) عدد خاص، مايو ٢٠٢٤، ص ص ١ – ٧٠)

قائمة الرموز والمصطلحات:

الرمز / المصطلح	الوحدة	المعنى / الوصف التفصيلي
GIS	-	نظم المعلومات الجغرافية
HEC-HMS	-	برنامج تم تطويره بواسطة مركز الهندسة الهيدرولوجية لنمذجة التدفقات والعواصف المطيرة
HEC-RAS	-	برنامج تم تطويره بواسطة مركز الهندسة الهيدرولوجية للنمذجة الهيدروليكية
PCSWMM	-	برنامج تم تطويره لنمذجة وإدارة مياه العواصف
RS	-	الاستشعار عن بعد
WMS	-	برنامج تم تطويره لنمذجة الأحواض المائية
HYFRAN	-	برنامج إحصائي لعمل التحليل الإحصائي لبيانات الأمطار
DEM	-	نموذج الارتفاعات الرقمية
A	م^2 / هكتار	مساحة حوض الصرف
b	م	عرض القاع للقنوات المفتوحة
C	-	معامل الجريان السطحي (Rational method)
HΔ	م	الفرق في ارتفاعات سطح الأرض داخل حوض الصرف
I	مم / ساعة	شدة الأمطار
I_a	مم	الفقد الأولي(SCS-CN approach)
IDF	-	الشدة – المدة - التكرار
L	م	الطول الأقصى للوادي
n	مترية	معامل خشونة ماننج
P	مم	عمق الأمطار
Q	م^3 / ث	التدفق السطحي
Q_p	م^3 / ث	التدفق السطحي الأقصى(SCS-CN approach)
qu	(م^3/ثانية/كم^2/مم)	وحدة التدفق الأقصى
HR	-	تصنيف شدة السيول
R	مم	عمق التدفق السطحي
SCS-CN	-	طريقة رقم المنحنى
Z	-	الميل الجانبي للقناة (Z[H]:1[V])
T_c	دقيقة أو ساعة	زمن التركيز
T_L	دقيقة أو ساعة	زمن التأخير
V	م / ث	السرعة المتوسطة للتدفق
W	م	عرض العبارة الصندوقية
D	م	عمق المياه
MOT	-	وزارة النقل السعودية
MOWE	-	وزارة البيئة والمياه والزراعة السعودية
MOMRA	-	وزارة الشؤون البلدية والقروية السعودية

١. مقدمة:

تتعرض أحواض التصريف بالمناطق العمرانية في البيئات الجافة وشبه الجافة لفيضانات مباغتة، غير منتظمة الحدوث، تشكل خطرًا على المناطق العمرانية والبنية التحتية، ويزداد الوضع خطورة في حال تغير استخدامات الأرض لهذه الأحواض (Abdelkarim, et al, 2020, p 3)، وترتبط كوارث الفيضانات التي تحدث في البيئة الجافة بتحديات عدة، تتعلق بالخصائص الفريدة لأنظمة الجريان في هذه البيئات، هذا إلى جانب فهم الخصائص الجيومرفولوجية لأحواض التصريف والعمليات العديدة المرتبطة بها (Abdel-Fattah, et al, 2017, p 12).

العرض الأساسي من هذه الدراسة هو إعداد نمذجة خريطة أخطار السيول ومحاكاتها وإدارتها بمدينة الخرج بوصفها نموذجًا للمدينة السعودية التي توضح المناطق المهددة ودرجات الخطورة التي تتعرض لها تلك المناطق، بالإضافة إلى المواقع الآمنة الصالحة للتطوير العمراني، والتي تساعد في تقديم موجهات التخطيط والتطوير الحضري بالمناطق العمرانية للمدينة العربية، حيث إن الهدف النهائي لإدارة خريطة أخطار السيول والفيضانات هو تقليل الخسائر البشرية والأضرار الاقتصادية على المنشآت والبنية التحتية، مع الاستفادة من الموارد الطبيعية لصالح المواطنين وتحقيق الرفاهية لهم. في بعض الأحيان لا يمكن تجنب أخطار الفيضانات بالكامل، ومن ثم يجب إدارتها، لذلك فإن إدارة أخطار الفيضانات لا تسعى جاهدة للقضاء على أخطار الفيضانات، ولكن للتخفيف منها، ويمكن تحقيق ذلك إما عن طريق تقليل أخطار الفيضانات إلى مستوى مقبول أو عن طريق تحويل أخطار الفيضانات من خلال التدابير والحلول ذات الصلة. ويجب أن تشكل هذه التدابير والحلول جزءًا من عملية إدارة الأخطار المتكاملة.

ومن أجل الوصول لهذا العرض تم الحصول على عمق المطر التصميمي لأوقات تكرارية مختلفة (١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) لجميع المحطات المؤثرة على منطقة الدراسة خلال المدة (١٩٦٠-٢٠٢٢م) باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (HYFRAN-PLU) وتم اعتماد نسب النوع الثاني من منحنيات التوزيع المطري (SCS Type II) لاستخدامها في حسابات هيدوجرافات السيول، وتم حساب التدفقات لكل المساحات التجميعية الكبيرة (الأودية أكبر من ٨١ هكتار) المؤثرة على المواقع المشمولة بالدراسة باستخدام برنامج النمذجة الهيدرولوجية (HEC-HMS) لعمل التحليل الهيدرولوجي واستنتاج هيدروجراف مياه السيول لأحواض الصرف المختلفة باستخدام طريقة وحدة الهيدروجراف (NRCS-Unit Hydrograph) لحساب التدفقات التي تم تطويرها من قبل هيئة الحفاظ على الموارد الطبيعية الأمريكية وتوزيع (SCS)

من النوع الثاني، حيث تستخدم طريقة (NRCS) مجموعة من تصنيفات التربة واستخدامات الأراضي أو الغطاء الأرضي لتعيين عوامل الجريان السطحي المعروفة باسم أرقام منحنى الجريان السطحي (RCN) هذه الأرقام تمثل إمكانات الجريان السطحي للمنطقة وبالنسبة للمساحات التجميعية الصغيرة للمناطق الحضرية (الأودية أصغر من ٨١ هكتار)، تم استخدام الطريقة المنطقية (Rational method) لحساب الجريان السطحي.

ولتحليل آثار السيول وتحديد مناطق غمر السيول تم تطبيق برنامج مركز الهندسة الهيدرولوجية – نظام تحليل الأنهار (HEC-RAS)، وهو برنامج يقوم بإنشاء نموذج هيدروليكي لتدفق المياه عبر الأنهار الطبيعية وقنوات المياه الأخرى باستخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ومن خلال استخدام برنامج (HEC-RAS) يمكن توفير نموذج هيدروليكي للمنطقة المتأثرة بحدوث السيول، ويمكن أيضًا تحديد المنطقة المتضررة في أثناء السيول، وتحليل أخطار السيول على الجمهور والتنمية الحالية (Khattak, et al, 2016, p 1376)، ويستخدم أيضًا في رسم خرائط الغمر بمياه السيول، وأعماق مياه السيول، وسرعة مياه السيول، وشدة السيول، والحساسية البيئية، وأخطار السيول، وحساب معدلات النحر، وتقييم المنشآت الهيدروليكية (عبدالكريم، ٢٠٢٠م، ص ٣٣٨، عبدالكريم، ٢٠٢١م، ص ٦٣)، وتُعدُّ نمذجة ومحاكاة السيول أداة مستخدمة على نطاق واسع لمحاكاة الاستجابة الهيدرولوجية لمستجمعات المياه حتى ذروة تصريف السيول، كما توفر فهمًا أفضل للوقاية على مستوى أخطار السيول، وهي عنصر رئيس لضمان التنبؤ بالسيول بطريقة دقيقة داخل مستجمعات المياه (Keong and Yusoffm 2022, 1475).

٢. إشكالية الدراسة:

- تتعرض مدينة الخرج لسيول متكررة نتيجة وقوعها في ملتقى مجموعة كبيرة من الأودية، من أهمها وادي حنيفة، ووادي الحنية، ووادي نساح، ووادي الرغيب، ووادي ماوان، ووادي أبا الذر، حيث يغذي هذه الأودية مجموعة كبيرة من الروافد التي تحمل سيول منقولة من عشرات الكيلومترات باتجاه مدينة الخرج، الأمر الذي يشكل تهديدًا مستمر على البنية التحتية والممتلكات بمدينة الخرج، كما موضح بالصور الفوتوغرافية رقم (٢،١).
- عدم توافر خرائط مكانية – زمانية للمناطق المعرضة للغمر نتيجة سيول الأودية التي تهاجم مدينة الخرج، يمكن من خلالها تحديد المناطق المعرضة للغمر والتي تحتاج إلى تدخلات هندسية لدرء أخطار السيول أمام متخذي القرار السياسي والتخطيطي.

- غياب توافر خرائط أخطار السيول لمدينة الخرج في ظل عدم وجود إستراتيجية شاملة للتخفيف وحماية المدينة من الآثار السلبية من السيول في ظل الاتساع السريع للنطاق العمراني الناتج عن النمو السكاني وزيادة المخططات العمرانية للمدينة.
- غياب استخدام النماذج الحاسوبية الحديثة ثنائية الأبعاد القائمة على النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية، مثل (HEC-RAS&HEC-HMS) في إنتاج خرائط الغمر، وخرائط الأعماق والسرعات، وخرائط شدة السيول، وخرائط درجة الحساسية، وخرائط أخطار السيول، وتقييم منشآت مياه السيول التي من دونها لا يمكن معرفة الطاقة الاستيعابية وقدرة هذه المنشآت على تمرير تدفق السيول.

صورة فوتوغرافية (١) جانب من إشكالية الدراسة غرق مدينة الخرج في عام ٢٠٠٣م الموافق عام ١٤٢٤ هـ

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على شبكة الإنترنت، موقع التوصل الاجتماعي تويتر، فهد الموسى، بعنوان فيضانات ١٤٢٤ هجرية من خلال الرابط: https://twitter.com/fahd541/status/1255887899213598721

صورة فوتوغرافية (٢) جانب من إشكالية الدراسة غرق مدينة الخرج في عام ٢٠٠٣م الموافق عام ١٤٢٤ هـ

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على شبكة الإنترنت، موقع التوصل الاجتماعي تويتر، فهد الموسى، بعنوان فيضانات ١٤٢٤ هجرية من خلال الرابط: https://twitter.com/fahd541/status/1255887899213598721

٣. أهداف الدراسة:

تأخذ هذه الدراسة أبعادًا اقتصادية، واجتماعية، وتخطيطية مهمة لمتخذي القرار السياسي والتخطيطي بالمملكة العربية السعودية، ويأتي ذلك من خلال وقوفها من مجموعة الأهداف تتمثل في:

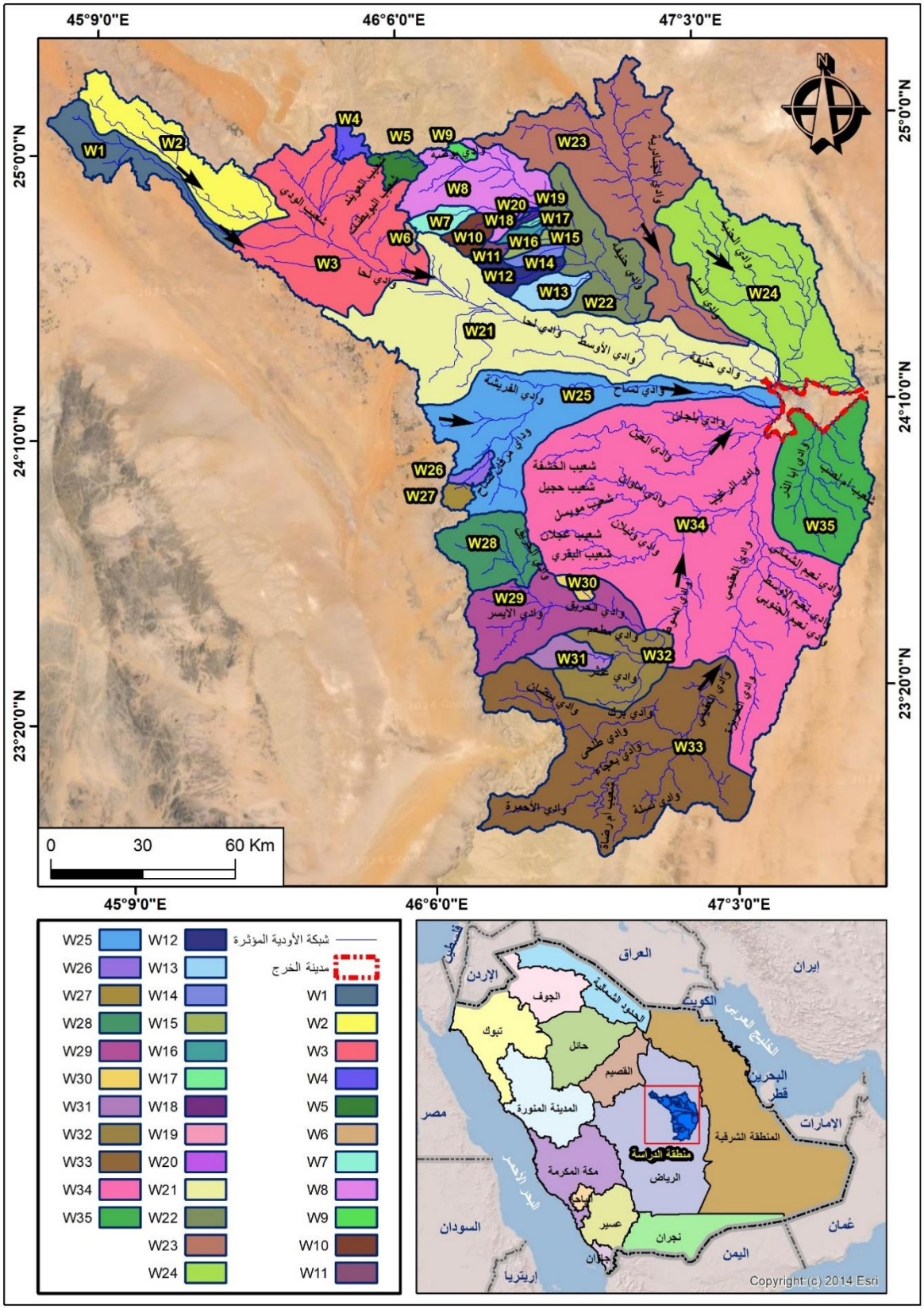
- تحديد المناطق العمرانية المعرضة للغمر بمياه السيول خلال أوقات رجوع متخلفة (١٠-٢٥-٥٠-١٠٠ سنة).
- تحديد مناطق الضرر للمناطق المأهولة بالسكان بمدينة الخرج من خلال خريطة الأخطار.
- تقديم آلية فعالة وخطة الحماية والوقاية من أخطار السيول لاحتواء مشكلات التوسع العمراني للمدينة.
- تحسين مستوى الوعي بالنمذجة الهيدروديناميكية ثانئية الأبعاد في الدراسات الجغرافية.

٤. تساؤلات الدراسة:

- هل يعد النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) النموذج الأكثر ملاءمة لدراسة الخصائص الهيدرولوجية في المناطق الجافة وشبه الجافة؟
- ما حجم السيول والتدفق الأقصى لها لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج خلال مدة رجوع ١٠ و٢٠ و٥٠ و١٠٠ سنة؟
- ما مدى كفاءة استخدام النموذج الهيدروليكي (HEC-RAS) لنمذجة خريطة أخطار السيول ومحاكاتها وتقييمها وإدارتها في المناطق العمرانية المعرضة للغمر، وتحديد نطاق الغمر (السهل الفيضي)، وتحديد عمق وسرعة مياه السيول، ودرجة الحساسية، وشدة السيول، وأخطار السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج؟
- هل هناك علاقة بين زيادة التوسع العمراني وتغير استخدامات الأرض للمدينة وزيادة أخطار السيول؟
- هل منشآت تصريف مياه السيول القائمة قادرة على تمرير تدفقات الذروة للأودية المؤثرة عليها؟
- ما هي المناطق العمرانية المعرضة لأخطار السيول بمدينة الخرج؟
- هل يمكن وضع آليات وسيناريوهات تخفيف لحماية المدينة من أخطار السيول؟

٥. منطقة الدراسة:

تقع مدينة الخرج على بعد ٨٥ كم جنوب شرق مدينة الرياض، وبين دائرتي عرض "٢٤°٢'١٥.٧٤، "٢٣°٥٦'٥٠.٣٥ شمالًا، وبين خطي طول "٤٧°١١'٩.٧٩، "٤٧°٥'٤٢.١٨ شرقًا، وذلك في منطقة شبه مستوية على ارتفاع يتراوح ما بين ٤٣٠–٤٨٠ متر فوق سطح البحر، وتُعدُّ مدينة الخرج ثاني أكبر مدن منطقة الرياض من حيث عدد السكان والمساحة العمرانية بعد مدينة الرياض، وترتبط المدينة بمدينة الرياض والمنطقة الشرقية وبمحافظات جنوب منطقة الرياض من خلال شبكة الطرق الوطنية والإقليمية، وتبلغ مساحتها نحو ٢٧٠ كم^{٢}، وتتكون مدينة الخرج من ٤٥ حيًّا سكنيًّا، وتتكون خريطة استخدامات الأرض بمدينة الخرج من مناطق عمرانية تقدر مساحتها بنحو ٥٦.٨٣ كم^{٢} وأراضي فضاء غير مخططة مساحتها نحو ٤.٦٩ كم^{٢} وأراضي زراعية بمساحة نحو ٧.١٣ كم^{٢}، الشكل رقم (١).



شكل (١) موقع مدينة الخرج من المملكة العربية السعودية وأحواض التصريف المؤثرة عليها عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على (أ) الخارطة الرسمية، البوابة الجيومكانية، الهيئة العامة للمساحة، (ب) أطلس خرائط توزيعات نتائج التعداد العام للسكان والمساكن، الهيئة العامة للإحصاء، (ج) المرئية الفضائية Landsat8/OLI لعام ٢٠٢٣م، (د) نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٠ متر.

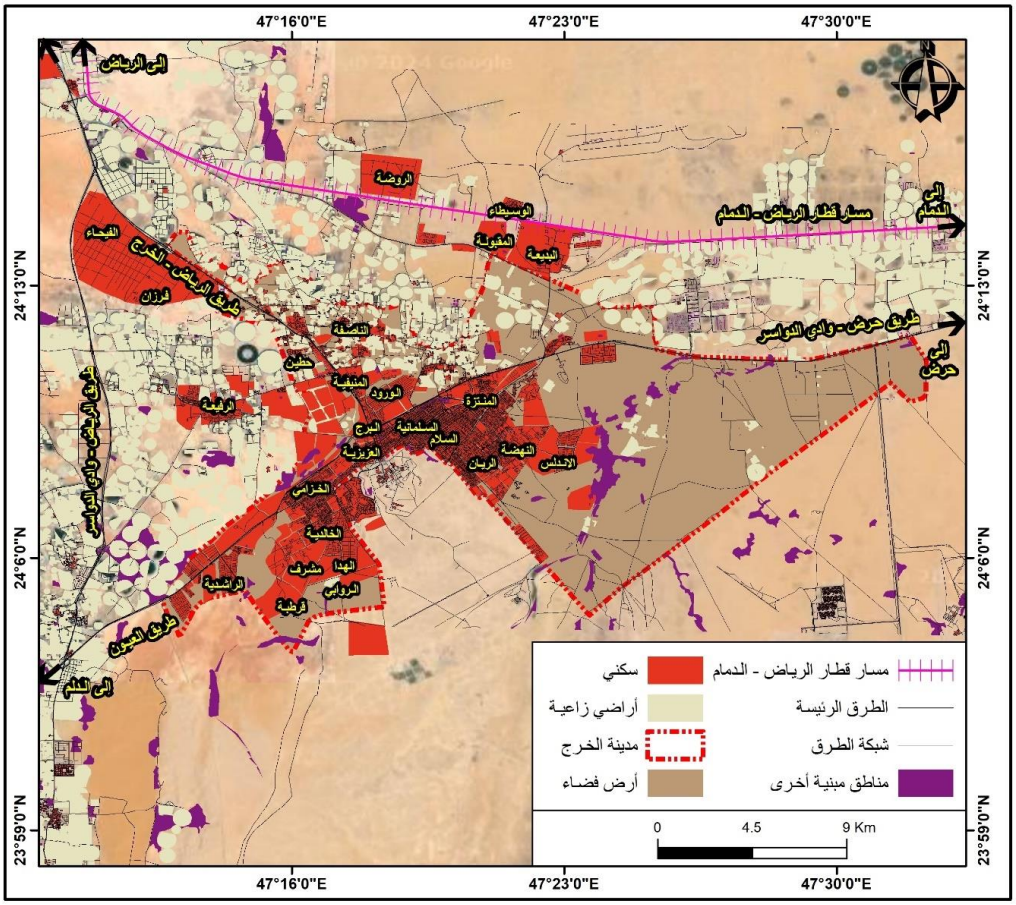
وبلغ عدد سكان مدينة الخرج نحو ٢٨٤٦٥ نسمه عام ١٣٩٤هـ وارتفع إلى حوالي ٩٧٠٠٠ نسمة في عام ١٤٠٧ هـ بمعدل نمو سكاني سنوي يقدر بحوالي ١٠% سنويًا، ووصل عدد سكان المدينة في عام ١٤١٣ هـ إلى حوالي ١٤٨٦٨٧ نسمة بمعدل نمو سكاني سنوي يقدر بحوالي ٧.٥% سنويًا خلال الفترة من عام ١٤٠٧هـ إلى عام ١٤١٣هـ، ووصل عدد سكان المدينة في عام ١٤٢٥ هـ إلى زهاء ٢٠١٠٦٢ نسمة، ارتفع إلى نحو ٢٣٤٦٠٧ نسمة عام ١٤٣١هـ بمعدل نمو سكاني يقدر بنحو ٢.٦٠٪ خلال المدة ١٤٢٥-١٤٣١هـ، ووصل عدد السكان في عام ١٤٤٣هـ إلى ٣٢٠٧٠٢ نسمة (الهيئة العامة للإحصاء، ٢٠١٠م، ص ١).

وتصل الكثافة السكانية العامة على مستوى مدينة الخرج بصفة عامة إلى نحو ٤٩.٠٦ نسمة/هكتار، وتزيد الكثافة السكانية العامة في حي السلام لتصل إلى ١٨٤.٨ نسمة/هكتار، وتنخفض في حي الورود لتصل إلى ١.٥٥ نسمة/هكتار، وتصل الكثافة السكانية الحضرية على مستوى المدينة إلى ٤٠.٥ نسمة/هكتار، ويوجد ثلاث مداخل رئيسة تؤدي إلى مدينة الخرج، وهي المدخل الشمالي من خلال طريق الرياض – الخرج، والمدخل الشمال الشرقي من خلال طريق حرض وامتداده داخل المدينة من خلال طريق ثمامة بن آثال بداية من دوار السبهاء، والمدخل الجنوبي من خلال طريق وادي الدواسر – حرض، وتمثل الخرج بقعة من الأرض تتكون من سهول مستوية وجبال متوسطة الارتفاع وأودية، ومنطقة الخرج تتكون من سهول واسعة خصبة غزيرة المياه صالحة للزراعة، وتغطي بعض هذه السهول كثبان رملية، الشكل رقم (٢).

٦. مناهج الدراسة:

اعتمدت هذه الدراسة على منهج شمولية الواقع الجغرافي بأقسامه الثلاثة التي تشمل توزيع الظاهرات ووصفها وتصنيفها، ثم الربط بين المتغيرات المختلفة، والتحليل والتفسير، ثم التنبؤ والتخطيط والتقويم (صفوح، ٢٠٠٠م، ص ١٢٣)، وعلى المنهج الاستقرائي لتحديد أهم العوامل المؤثرة في زيادة أخطار السيول بمنطقة الدراسة، كما اعتمدت الدراسة على المنهج السلوكي، من أجل تفسير بعض الضوابط الطبيعية والبشرية، كما اعتمدت الدراسة على منهج التحليل المكاني Spatial Analysis الذي يعتمد على الأساليب الكمية الحديثة في نشأة الظاهرات وتطورها من خلال توظيف النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) في حساب منحنى هيدروجراف السيول لأحواض التصريف المختلفة، وتقدير حساب كميات مياه السيول ومعدلات تدفقها اعتمادًا على طريقة SCS Unit Hydrograph، وتم حساب خصائص الأمطار

Rainfall depth لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج خلال أوقات رجوع مختلفة باستخدام برنامج HYFRAN، بالإضافة إلى توظيف GIS&RS في إنتاج خرائط استخدامات الأرض وخرائط التربة لأحواض التصريف التي تعد المدخلات الأساسية لتشغيل النموذج الهيدرولوجي، وبناء نموذج ثنائي الأبعاد لبرنامج (HEC-RAS)، لتحديد نطاق الغمر وعمق وسرعة مياه سيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج.



شكل (٢) النطاق العمراني واستخدامات الأرض داخل مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النطاق العمراني لمدينة الخرج، بلدية محافظة الخرج، إدارة التخطيط العمراني.

٧. الدراسات السابقة:

من خلال الحصر التصنيفي الذي قام به الباحث لدراسات السيول بصفة عامة ونمذجة خريطة أخطار السيول ومحاكاتها وتقييمها وإدارتها في المناطق العمرانية المعرضة للغمر لها بصفة خاصة داخل وخارج المملكة العربية السعودية أمكن تصنيف الدراسات السابقة على النحو الآتي:

- دراسة الجعيدي وبوروبة (٢٠٠٧م) حيث تناولت هذه الدراسة تطبيق نموذج سنايدر لتقدير تدفق الذروة للسيول في حوض وادي العين بالخرج، وهذا النموذج يضم في مدخلاته بعضًا من المتغيرات

المورفومترية التي تم استخلاصها من بيانات القمر الفرنسي سبوت–لتقدير ذروة التدفق السيلي، كما عملًا على حساب زمن التركيز والتدفق النوعي، وحجم الجريان السطحي وعمقه وقوته لمعرفة الخصائص الهيدرولوجية لسيول وادي العين.

- دراسة بوروبة (٢٠٠٧م) عن الدراسة الهيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود، تم من خلالها تقدير حجم السيول وتدفق الذروة الأقصى والمتوسط والأدنى لأحواض أودية عتود الأعلى، ومربا، وضلع، بتطبيق نموذج سنايدر Snyder، وقد تراوحت قيم تدفق الذروة الأقصى بين ٩.١٣٥٤ و٥.١٨٨٦ م^{٣}/ث، وقيم تدفق الذروة المتوسط بين ٤.١٣٦ و١.١٨٥ م^{٣}/ث، وقيم تدفق الذروة الأدنى بين ١.٣٦ و٨.٤٩ م^{٣}/ث في حوضي عتود الأعلى ووادي ضلع على التوالي.
- دراسة الجعيدي (٢٠٠٨م) حيث هدفت هذه الدرسة إلى تطبيق نموذج سنايدر لتحديد الخصائص الهيدرومورفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على واديي العين وماوان، ووجد بأن الفارق بين القيم الدنيا والقصوى في كلا الحوضين متساوية، بينما بلغت مدة استجابة سد حوض وادي العين لأقصى ذروة تدفق ١.٤٩ ساعة وفي سد حوض وادي ماوان بلغت ١.٢٨ بفارق ٢٠ دقيقة.
- دراسة غانم (٢٠٠٨م) عن أسباب الفيضانات في المناطق الجافة وشبه الجافة بالتطبيق على مدينة معبر اليمنية، حيث تهدف هذه الدراسة إلى معرفة وفهم خصائص وأسباب الفيضانات التي تغمر أجزاء كبيرة من مدينة معبر، وقد أظهرت الدراسة أن العوامل الرئيسة المسببة للفيضانات تتضمن عوامل طبيعية وبشرية، وقد بلغ حجم المياه المتوقع تراكمها خلال حدوث العاصفة التصميمية نحو ٦٤٧٦٦٠ متر مكعب مما سيؤدي إلى غمر أجزاء واسعة من المدينة.
- دراسة يوسف وآخرين (Youssef, et al, 2011) عن تقدير السيول المفاجئة على طول طريق سانت كاترين في جنوب سيناء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والخصائص المورفومترية وصور الأقمار الصناعية، حيث تهدف هذه الدراسة إلى إنشاء خرائط التعرض لأخطار السيول باستخدام طريقة الشامي وطريقة تقييم درة الخطر المورفومترية وتحديد الأحواض الفرعية ذات القابلية العالية للتعرض للسيول، ووضع الخطط المناسبة للتخفيف من آثار السيول.
- دراسة داود وآخرين (٢٠١٢م) عن تقييم أخطار الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية، حيث تم تطوير نظام معلومات جغرافي لتحديد حجم وتوزيع خصائص الفيضانات مكانيًا، وذلك عن طريق دمج عدة قواعد معلومات طبوغرافية ومناخية

وجيولوجية واستخدامات الأراضي، في إطار متكامل يستخدم طريقة منحنى الأرقام CN لنمذجة الفيضانات في الأودية القاحلة التي لا تتوافر عندها قياسات حقيقية للفيضان.

- دراسة باجابا وآخرين (Bajabaa, et al, 2013) عن تقييم أخطار السيول المفاجئة في حوض وادي الليث اعتمادًا على قياس الخصائص الموفومترية التفصيلية لحوض الليث، تم تحديد أخطار السيول المفاجئة لحوض الليث وأحواضه الفرعية، وتصنيفها إلى ثلاث مجموعات (درجة خطورة عالية، درجة خطورة متوسطة، ودرجة خطورة منخفضة)، وتخطيط تجميع مياه الأمطار وإدارة أحواض التصريف في مناطق المعرضة لخطر السيول.
- دراسة خسروي وآخرين (Khosravi, et al, 2016) عن تقييم التأثر بالسيول المستند إلى نظم المعلومات الجغرافية ورسم الخرائط في إيران، حيث هدفت هذه الدراسة إلى إعداد خرائط الحساسية للسيول باستخدام أربعة نماذج، وهي نسبة التردد (FR)، وأوزان الأدلة (WofE)، وعملية التحليل التسلسلي الهرمي (AHP)، ومجموعة نسبة التردد مع التحليل التسلسلي الهرمي (FR- AHP)، وقد أظهرت النماذج الأربعة دقة معقولة في تحديد المناطق المعرضة للسيول.
- دراسة الأحمدي وآخرين (AlAhmadi, et al, 2016) عن النمذجة الهيدرولوجية القاحلة في وادي العقيق في المدينة المنورة بالمملكة العربية السعودية، حيث تناولت هذه الدراسة تقدير هيدروجراف مياه السيول وتصريف الذروة، وتقييم خصائص التدفق من محاكاة جريان الأمطار لروافد وادي العقيق باستخدام HEC-HMS، ونموذج Talbot، وتراوحت نسبة الجريان السطحي المباشر لوادي العقيق فيما بين ٢٥٪ و٢٨٪ من إجمالي هطول الأمطار.
- دراسة درويش (٢٠١٧م) عن النمذجة الخرائطية لأخطار السيول في حوض وادي منى بمكة المكرمة باستخدام طريقة CN، حيث تهدف هذه الدراسة إلى تقدير حجم وأخطار السيول في حوض وادي منى باستخدام طريقة CN التي تعتمد في تقدير الجريان السطحي على استخدامات الأرض والمجموعة الهيدرولوجية للتربة والرطوبة المسبقة للتربة والأمطار، وقد بلغ عمق الجريان لحوض وادي منى ١٧٢ مم وبلغ حجم الجريان ٣١٥٨٤٢٣ م^{٣}وبلغت ذرة التدفق ٣٧٨.٨٥ م^{٣}/ث.
- دراسة الأحمدي (AlAhmadi, 2017) عن التقدير الأمثل للمعلمات في نمذجة السيول المفاجئة لأعلى وادي الليث، غرب المملكة العربية السعودية، حيث تهدف هذه الدراسة إلى التحقق في الاستفادة المثلى من طريقة (SCS-CN) لإنتاج تصريفات تدفق الذروة المعايرة في الجزء العلوي من

وادي الليث، وقد أظهرت الدراسة أنه ويتراوح الفرق بين نسبة تدفق الذروة الملحوظة والمحاكاة من ٢٠٪ إلى ٣٨٪.

- دراسة فرحان وعايض (Farhan and Ayed, 2017) عن تقييم أخطار السيول المفاجئة في مستجمعات المياه الجافة في الأردن، حيث تهدف هذه الدراسة إلى استخدام تحليل الخصائص المورفومترية لتحديد أخطار السيول المفاجئة لأحواض التصريف الفرعية لحوض وادي فيران، وتحديد المناطق ذات الحساسية المرتفعة، ووضع الحلول المناسبة للتخفيف من أخطار السيول.
- دراسة الزهراني وآخرين (Al-Zahrani, et al, 2017) عن تقدير احتمالية وقوع السيول في المناطق الحضرية، حيث تهدف هذه الدراسة إلى بناء نموذج محاكاة السيول لمنطقة مستجمع المياه في مدينة حفر الباطن، ويمكن استخدام نتائج هذه الدراسة لأغراض التخطيط وفي تصميم هياكل التحكم في السيول حيث قدرت الدراسة الجريان السطحي المقابل لعواصف التصميم المختلفة في تحديد مناطق السيول.
- دراسة الدغيري والعوضي (٢٠١٧م) عن التحليل الهيدرومورفومتري وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم، وأظهرت الدراسة أن تدفق الذروة في وادي الوطأة المحسوب بنموذج سنايدر Snyder في أوقات الرجوع (٥،١٠،٢٥،٥٠،١٠٠ سنة) يتراوح ما بين ٣.٢٦ م^{٣}/ث – ٥٦٠.٠٤ م^{٣}/ث، بينما يتراوح تدفق الذروة في وادي الوطاة باستخدام طريقة SCS ما بين ١,٥٨ م^{٣}/ث – ٢٧٠,٩٠ م^{٣}/ث.
- دراسة عبد الكريم (AbdelKarim, 2019) عن تقييم أخطار السيول المحتملة على طريق جازان – أبها بالمملكة العربية السعودية، حيث تهدف هذه الدراسة إلى تقديم مقترح ونهج جديد لتقييم أخطار السيول المحتملة لمشروعات البنية التحتية من خلال نموذج حالة طريق جازان – أبها من خلال إنشاء خريطة لتصنيف المناطق المعرضة لأخطار السيول لطريق جازان – أبها، استنادًا نموذج (HEC-HMS وHEC-RAS)، ووضع خرائط الحلول والمقترحات والبدائل المناسبة لدرء أخطار السيول.
- دراسة عبد الرازق وآخرين (Abdulrazzak, et al, 2019) تقييم أخطار السيول المفاجئة في البيئة الحضرية الجافة، حيث هدفت هذه الدراسة إلى استخدام تقنية مصفوفة الأخطار بالتطبيق على الجامعات الإسلامية في المدينة المنورة، المملكة العربية السعودية، وقد اعتمدت على تكامل النماذج

الهيدروليكية للنموذج الهيدرولوجي لتحديد مناطق السيول، حيث تعد مصفوفة أخطار السيول أداة كمية لتقييم أخطار الفيضانات الذي يعد أمرًا حاسمًا لصانعي القرار.

- دراسة عبد الكريم وجابر (AbdelKarim and Gaber, 2019) عن تقييم أخطار السيول لحوض وادي نعمان، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية خلال المدة ١٩٨٨-٢٠١٩م، استنادًا إلى التكامل ما بين الجيوماتكس والنمذجة الهيدروليكية، وتهدف هذه الدراسة إلى تقييم التأثير الفعال للسيول المفاجئة لحوض وادي نعمان على المناطق الحضرية، وتقديم خريطة أخطار السيول من خلال خريطة مصفوفة الأخطار، وتقديم بدائل الحماية المقترحة لمنطقة الدراسة.
- دراسة عبد الكريم وآخرين (AbdelKarim, et al, 2019) عن تطبيق نهج جديد لتحديد المناطق العمرانية المعرضة لأخطار السيول لمدينة تبوك، حيث هدفت هذه الدراسة إلى تحديد تأثير أخطار السيول على المناطق العمرانية، حيث تتعرض مدينة تبوك لمهاجمة ٥ أودية رئيسة، وتحمل هذه الأودية إلى سيول مفاجأة، مما يؤثر على المناطق الحضرية، مع تقديم آلية مقترحة لحماية المدينة عن طريق التكامل بين النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية.
- دراسة عبد الكريم وآخرين (AbdelKarim, et al, 2019) عن تكامل الاستشعار عن بعد والنمذجة الهيدرولوجية في تقييم أثر تغير مورفولوجية استخدامات الأرض على زيادة أخطار السيول التي تسببت في انجراف مسار قطار الرياض – الدمام، ونتج عن ذلك أضرار في الأرواح والممتلكات والبنية التحتية، نتيجة إعادة تخطيط استخدامات الأرض بالتعدي على الأودية الطبيعية، وهو الأمر الذي أدى إلى فقدان التوازن البيئي والأيكولوجي لخصائص منطقة الدراسة.
- دراسة عبد الكريم والدوسري (٢٠١٩م) عن التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية عند تقدير أخطار سيول وادي سمين، المؤثر على مدينة أملج بمنطقة تبوك، حيث تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نموذج ثنائي الأبعاد لحساب سرعة سيول وادي سمين المؤثر وعمقه وانتشاره على مدينة أملج، من أجل تحديد المناطق العمرانية المعرضة للسيول، وتحديد مؤشر الأخطار وتصميم إستراتيجيات للتخفيف من آثار السيول المحتملة.
- دراسة عبد الكريم وآخرين (AbdelKarim, et al, 2020) عن رسم خرائط لأخطار السيول باستخدام الرتب المورفومترية، حيث هدفت هذه الدراسة إلى تطوير نهج تكاملي لرسم خرائط أخطار السيول على طول مسار قطار الشمال في مدينة القريات بالمملكة العربية السعودية باستخدام نظم المعلومات

الجغرافية ونمذجة الأخطار للرتب المورفومترية، واقتراح حلولًا إستراتيجية للتخفيف والحماية من الآثار السلبية، وتحسين مستوى الوعي بجيومورفولوجيا السيول.

- دراسة عبد الكريم وآخرين (AbdelKarim, et al, 2020) عن التكامل بين تحليل القرار متعدد المعايير القائم على نظم المعلومات الجغرافية، والتحليل التسلسلي الهرمي في تحديد أخطار السيول، حيث هدفت هذه الدراسة إلى تطوير خريطة التعرض للسيول وتحديد المناطق المعرضة للسيول على طول مسار قطار الشمال، والتنبؤ بمدى تعرض المناطق العمرانية والأراضي الزراعية والبنية التحتية لأخطار السيول المحتملة في المستقبل، وتقديم حلول إستراتيجية وتوصيات لتخفيف وحماية هذه المناطق من الآثار السلبية للسيول.
- دراسة عبد الكريم (٢٠٢١م) عن أخطار السيول على مسار السكة الحديدية لحوض وادي باير، المؤثر على مسار قطار الشمال جنوب مدينة القريات بالمملكة العربية السعودية، حيث هدفت هذه الدراسة إلى تقييم أخطار السيول لحوض وادي باير، وتحديد المناطق العمرانية والزراعية ومرافقة البنية التحتية لمسار قطار الشمال الواقعة، فيحرم وادي باير وروافده ومصباته والمعرضة لأخطار السيول وتحديد مستويات الخطر بكل جزء منها، وتقديم آلية فعالة لتخفيف أخطار السيول المحتملة عليها.
- دراسة كمال، أحمد ومحمد، هياء (٢٠٢٢م) عن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، والنماذج الهيدرولوجية في تحليل نظم التصريف المائية المؤثرة على محافظة الخرج، وهدفت الدراسة الى تحليل مدخلات ومخرجات النظام الهيدرولوجي، المؤثر على محافظة الخرج والخروج بتحليلات دقيقة تفيد صانع القرار فيما يتعلق بهيدرولوجية محافظة الخرج، وتم استنتاج أن محافظة الخرج تتأثر بنحو ثمانية أحواض بمساحة تقدر بنحو ١٦٢٦٦.٧ كم ٢، ويُعَدّ حوض وادي حنيفة أكثرها تغذية بحجم مياه يصل لنحو ١٢٤.٦ مليون م ٣ وبمعدل تصرف يبلغ ٧٥٦.٤ م/ ٣ث.
- دراسة كمال، أحمد ومحمد، هياء(٢٠٢٢م) عن استخدام النمذجة الهيدرولوجية ونظم المعلومات الجغرافية لدرء أخطار السيول، وغمر المياه بمحافظة الخرج بمنطقة الرياض هدف البحث، بتطبيق التقنيات الحديثة المتمثلة في النمذجة الهيدرولوجية، ونظم المعلومات الجغرافية وتحليلات المرئيات الفضائية في دراسة المناطق المعرضة لأخطار السيول، وما ينتج عنها من غمر المياه للمناطق المنخفضة خاصة بالمناطق العمرانية وتجمعها بها، أوصت الدراسة بتحليل خارطة أخطار السيول وغمر المياه التي تُعد نتاج العديد من خطوات ومدخلات، تضم عناصر مرحلة ما قبل حدوث

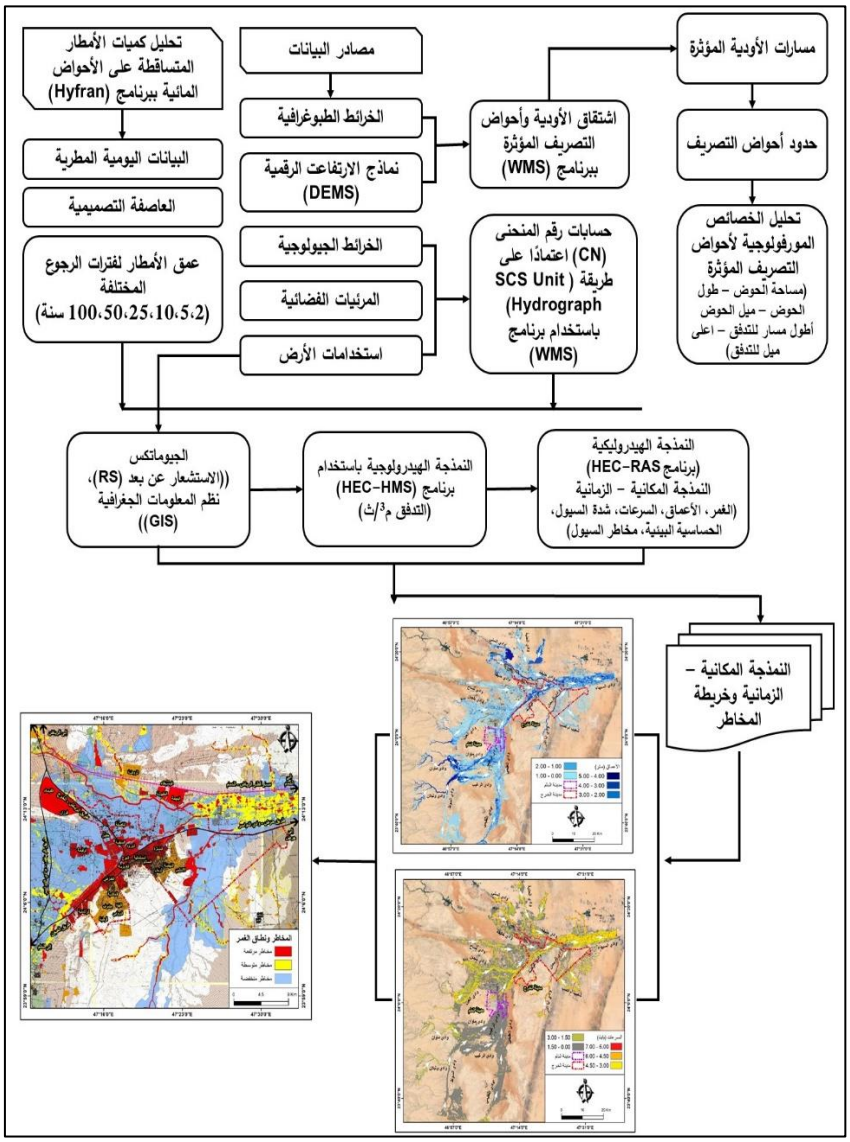
الجريان السطحي "مرحلة الإنذار المبكر"، ثم عناصر مرحلة في أثناء الجريان وغمر المياه "المرحلة الحرجة"، ثم عناصر مرحلة ما بعد انتهاء الحالة المطرية "الحصر والتقييم"، لتجنب أكبر خطر محتمل للسيول بالمنطقة.

ومن خلال عرض الدراسات السابقة تبين أنه لم يحظ موضوع نمذجة خريطة أخطار السيول ومحاكاتها وتقييمها وإدارتها في المناطق العمرانية المعرضة للغمر على اهتمام الباحثين الجغرافيين، على الرغم من الحاجة الضرورية لبناء هذه النماذج في ظل التغيرات المناخية، والتوسع العمراني المفرط التي شهدتها المدن السعودية خلال الثلاثين عامًا الماضية، هذا إلى جانب أن معظم أحواض التصريف بالمملكة العربية السعودية غير مقاسة هيدرولوجيًّا، الأمر الذي يحتم من استخدام النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية، وعلى الرغم من تطور النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية وانتشارها، حيث أصبح الكثير منها مجانيًّا ومتاحًا، وأصبح استخدامها واسع الانتشار في الجهات السعودية الحكومية والخاصة، مثل وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان، والهيئة العامة للمساحة الجيولوجية، إلا أن مواكبة هذا التطور واستخدامه في الدراسات الهيدرولوجية لم يكن على القدر الكافي في المدرسة الجغرافية العربية، حيث إن نموذجي (HEC-HMS و HEC-RAS) تم اختبارهما ومعايرتهما على نطاق عالمي في دراسات النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية المختلفة، إلا أنه لم يتم استخدامها الاستخدام الأمثل في دراسة أحواض التصريف بالمناطق العربية، أن موضوع النمذجة المكانية – الزمانية للسيول ثنائية الأبعاد، وتحديد ما يعرف بنطاق الغمر للمناطق العمرانية لم يدخل حيز دائرة الاهتمام في الدراسات الجغرافية حتى الآن، فعظم الدراسة السابقة التي تم حصرها تعتمد بشكل رئيس على نماذج يسيرة مثل سنايدر (Snyder) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) دون التدخل بعمق إلى استخدام نموذج (HEC-HMS وHEC-RAS) واستخدامهما في بناء نماذج مكانية – زمانية ثنائية الأبعاد، وبالنظر لمعظم الدراسات السابقة، وخاصة لدى الباحثين الجغرافيين فإننا نلاحظ الاهتمام الشديد بالخصائص الجيومورفولوجية والمورفومترية وبعض الخصائص الهيدرولوجية الأخرى دون الوصول إلى نمذجة السيول أو تحديد نطاق الغمر، خاصة أن موضوع النمذجة المكانية – الزمانية للسيول يحتاج إلى بيانات ومدخلات دقيقة لتشغيلها الأمر، الذي حد من انتشارها لدى الجغرافيين، ومن ثم فإن المدرسة الجغرافية العربية تعاني من أزمة منهجية لمقرراتها الدراسية خاصة في الجغرافيا الطبيعية (الدراسات الهيدرولوجية)، وترتب على هذه الأزمة تخرج أجيال من الجغرافيين تجهل الحديث من العلم، وتفتقر إلى المشاركة في سوق العمل، وما يميز الدراسة التي نحن بصددها أنها من الدراسات القليلة في المكتبة العربية التي دمجت النمذجة الهيدرولوجية ممثلة في برنامج

(HEC-HMS) والنمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS) لتحديد مناطق الغمر بمدينة الخرج، ووضع إستراتيجيات التخفيف ولحماية المدينة من السيول.

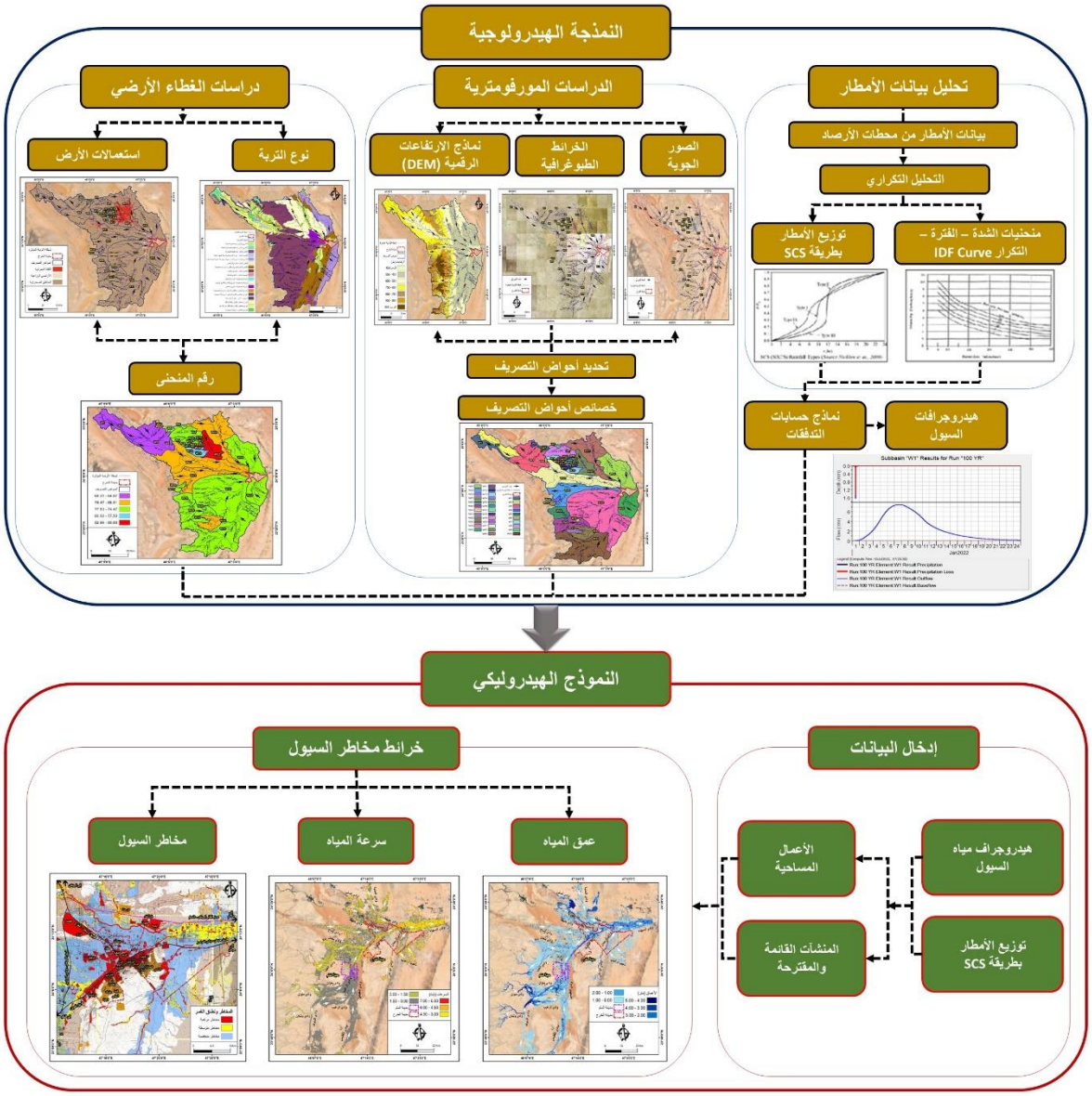
٨. إجراءات الدراسة ومعالجة البيانات:

توضح اللوحة رقم (١) المنهجية المتبعة وإجراءات الدراسة في نمذجة ومحاكاة وتقييم وإدارة خريطة أخطار السيول في المناطق العمرانية المعرضة للغمر للأودية المؤثرة على مدينة الخرج، التي تعتمد على نهج دمج الجيوماتكس والنمذجة الهيدروديناميكية من خلال إنتاج خرائط رقمية، وهي: نطاق الغمر (السهل الفيضي)، وعمق مياه السيول، وسرعة مياه السيول، وأخطار السيول، وتوضح اللوحة رقم (٢) الفكرة التصميمية للبحث، ويمكن تتبع خطوات معالجة البيانات على النحو التالي:



لوحة (١) منهجية وإجراءات الدراسة (الوسائل والأساليب) عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل البحث اعتمادًا على النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.



لوحة (٢) الفكرة التصميمية للبحث عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل البحث اعتمادًا على النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

٨-١. تحديد مصادر البيانات:

٨-١-١. الخرائط والصور الفضائية:

يحتاج النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) والهيدروليكي (HEC -RAS) المستخدمان في هذه الدراسة كغيرهما من النماذج الهيدروديناميكية إلى توفير العديد من مصادر البيانات مثل: الخرائط الطبوغرافية، والجيولوجية، والجيومورفولوجية، والمناخية، ولتحديد واستخراج شبكة الأودية المؤثرة على مدينة الخرج تم الاستعانة بمصادر عدة مختلفة، ومن أهمها بيانات نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٠ متر، ومصدره مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، كما تم الاستعانة بخرائط طبوغرافية بمقياس رسم ١:٥٠٠٠٠، للتأكد

من مسارات الأودية من هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، هذا إلى جانب الاعتماد على مرئيات فضائية حديثة لاندسات Landsat 8/OLI، بهدف رصد غطاء الأرض واستخدامات الأرض للحوض، وتتبع مناطق أخطار السيول بالمنطقة، ومصدرها موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، كما تم الاعتماد على خرائط جيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠ من هيئة المساحة الجيولوجية السعودية لاستخراج التحليل الجيولوجي لأحواض التصريف، كما تم الاستعانة بخرائط التربة مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠ من وزارة البيئة والمياه والزراعة لاستخراج المجموعة الهيدرولوجية للتربة، بالإضافة إلى تحليل محطات الأمطار المؤثرة على منطقة الدراسة والمتمثلة في الخرج (R002) – المصانع بالرياض (R001) – ديراب (R007) – ضرما (R112) – حوطة بني تميم (R115) – الغيل (R008) – الحريق (R104) – الغيل (R107) – حوطة سدير (R005) – حريملاء (R103) – سد وادي حنيفة (R105) – الجبيلة (R106)، ومصدرها وزارة البيئة والمياه والزراعة، لتحديد كميات الأمطار لفترات رجوع مختلفة وتحديد منحنيات الشدة والكثافة والتكرار (IDF Curve)، كما هو موضح بالجدول رقم (١).

جدول (١) بيانات الإدخال والدقة المكانية ومصادرها للمعايير المستخدمة في الدراسة عام ٢٠٢٣م

المعايير	البيانات المستخدمة لاستخراج المعايير		الهيئات / المواقع المستخدمة للحصول على البيانات
	المصدر	المقياس/الدقة المكانية	
الأودية	نموذج الارتفاع الرقمي	١٠ متر	مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، معهد بحوث الفضاء
	الخرائط الطبوغرافية	١:٥٠٠٠٠	الهيئة العامة للمساحة
الانحدارات	نموذج الارتفاع الرقمي	١٠ متر	مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، معهد بحوث الفضاء
استخدامات الأرض	المرئية الفضائية Landsat 8	٣٠ متر	http://earthexplorer.usgs.gov.
استعمالات الأرض التفصيلية		١:١٠٠٠	وكالة تخطيط المدن، وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان
محطات الأمطار	الخرج (R002) – المصانع بالرياض (R001) – ديراب (R007) – ضرما (R112) – حوطة بني تميم (R115) – الغيل (R008) – الحريق (R104) – الغيل (R107) – حوطة سدير (R005) – حريملاء (R103) – سد وادي حنيفة (R105) – الجبيلة (R106)		وزارة البيئة والمياه والزراعة
المجموعة الهيدرولوجية للتربة	خرائط التربة	١:٢٥٠٠٠٠	وزارة البيئة والمياه والزراعة
الجيولوجيا	الخرائط الجيولوجية	١:٢٥٠٠٠٠	هيئة المساحة الجيولوجية السعودية
العبارات والجسور	الرفع المساحي		بلدية محافظة الخرج
	الدراسة الميدانية للباحث		زيارة منطقة الدراسة

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على مصادر البيانات أعلاه في الجدول.

٨-١-٢. الدراسة الميدانية:

اعتمدت الدراسة الحالية على القيام بعدد من الجولات الميدانية استغرقت ثلاثة أشهر خلال الفترة ما بين يناير – مارس ٢٠٢٣م، تم حيث لعبت الزيارة الميدانية لمنطقة الدراسة دورًا مهمًا في تحديد مسارات الأودية داخل وخارج المدينة ومطابقتها مع الخرائط الطبوغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية، وتقييم المنشآت الهيدروليكية القائمة، وقد تم الاستعانة ببلدية محافظة الخرج وبعض الإدارات المختلفة، هذا إلى جانب المقابلات الشخصية مع بعض المواطنين، وذلك بهدف التعرف عن كثب على المشكلات وحجمها، حيث تم الوقوف على حجم وعدد منشآت درء أخطار السيول القائمة والمتمثلة في العبارات والكباري والجسور والسدود، وذلك من خلال الاستعانة بجهاز (GPS) واستمارة المعلومات، كما تم الوقوف ميدانيًا على النقاط الحرجة التي تتعرض لأخطار سيول شديدة في أثناء مهاجمة السيول للمدينة.

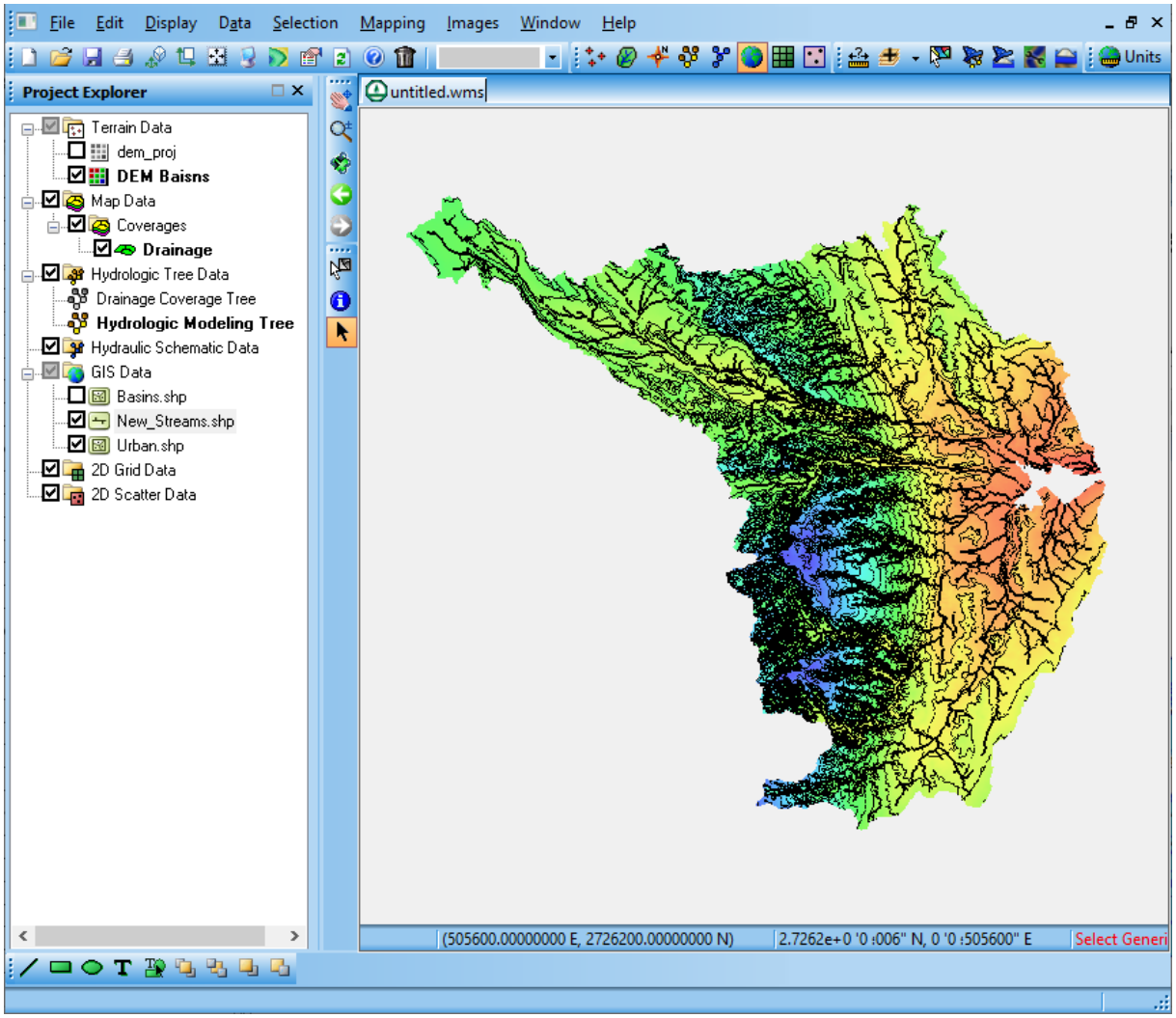
٨-٢. النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية (النمذجة الهيدروديناميكية):

٨-٢-١. برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS)):

تمت عملية اشتقاق وترسيم الأودية والأحواض باستخدام برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS))، وذلك من خلال النموذج (Drainage Module) من قائمة (DEM) وهي القائمة الأساسية في اشتقاق وترسيم الأحواض والأودية من خلال (Compute flow direction/Accumulation) ليقوم البرنامج بعمل (TOPAZ) لتحديد اتجاهات الجريان ومسارات الأودية، بالإضافة إلى استخراج الخصائص الجيومورفولوجية من خلال النموذج (Drainage Module) عن طريق (Compute basins Data)، ويقدم برنامج (WMS) قائمة عريضة من الطرق الرياضية لحساب زمن التركيز والتأخير، مثل طريقة كلارك ((Clark (UC))، وطريقة سنايدر ((Snyder (US))، وطريقة إدارة خدمات المحافظة على التربة ((SCS dimensionless (UD))، وطريقة المنحنى المائي الوحدوي المعطى (المرصود) ((Given unit Hydrograph (UI))، وطريقة الأمواج الكينماتيكية ((Kinematic wave (UK))، بالاضافة إلى استخدام طريقة الوزن النسبي لمحطات المطر (Precipitation Gage Weight) لإنشاء مضلعات تيسين (Thiessen Polygon) داخل برنامج (WMS) لحساب عمق المطر لمحطات الأمطار المؤثرة على منطقة الدراسة، (عبدالكريم، ٢٠٢٠م، ص ٣٦)، اللوحة رقم (٣).

٨-٢-٢. النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي (HEC-HMS):

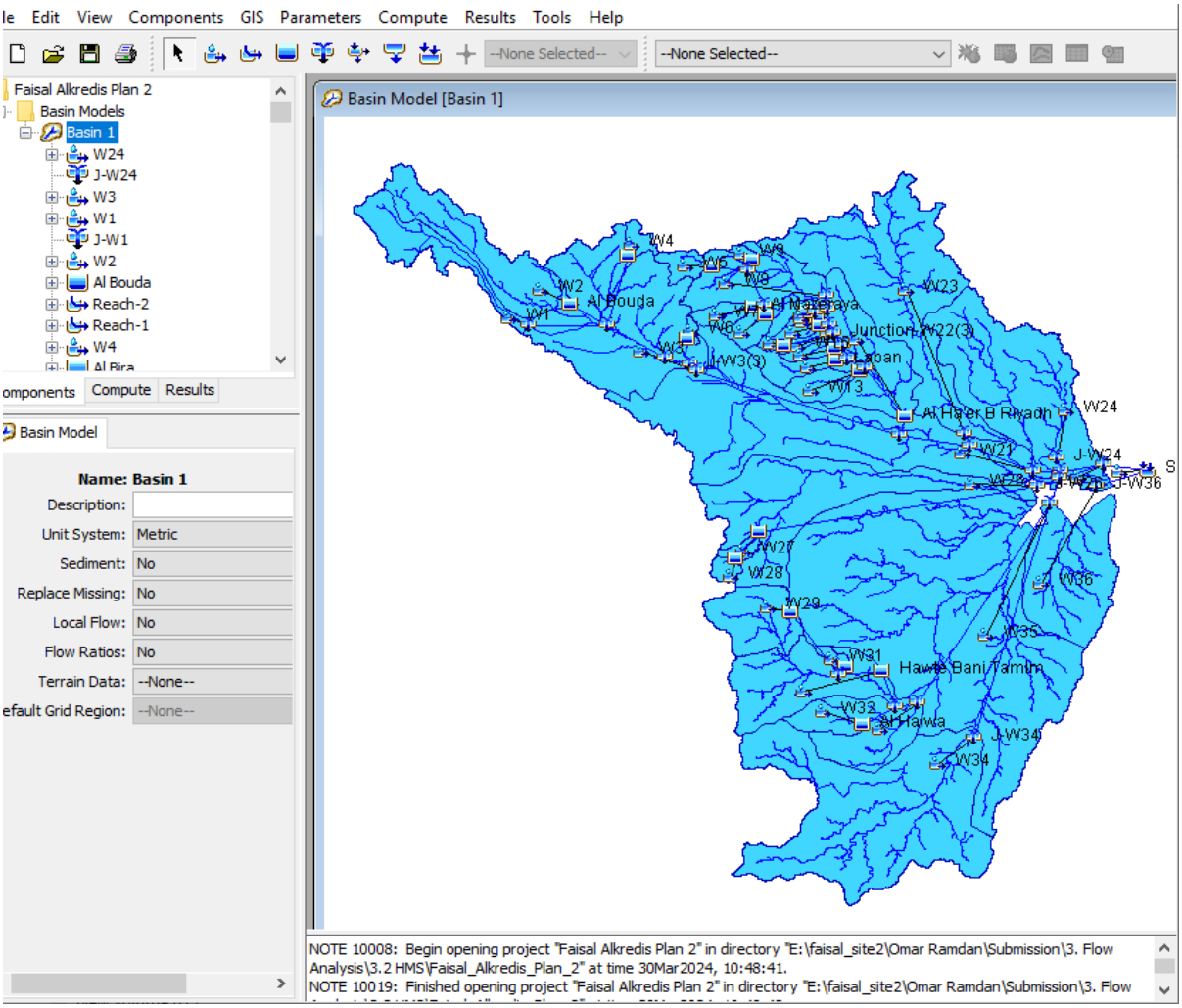
تُعدُّ التحليلات الهيدرولوجية إحدى أهم الخطوات التي ينبغي القيام بها قبل وضع التصاميم الهيدروليكية لمنشآت تصريف السيول، بغض النظر عن نوعها وحجمها أو تكلفتها، وتلتزم هذه التحليلات بتحديد مقدار جريان مياه الأمطار التي سيتم صرفها من خلال المنشآت، ويتم عادةً تقدير كميات التدفق اعتمادًا على بيانات سقوط الأمطار المرتبطة بأوقات تردد العواصف وحجم حوض التجميع، إضافة إلى عوامل أخرى مؤثرة، مثل: غزارة هطول المطر، ومساحة حوض التجميع واستعمالات الأراضي بمنطقة الدراسة.



لوحة (٣) واجهة برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS)) لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (Watershed Modeling System (WMS)).

وقد تم الاعتماد على برنامج (HEC-HMS)، ويعد النموذج الهيدرولوجي ذو النظام الهندسي (HEC-HMS) أحد النماذج الهيدرولوجية، التي تستوفي هذه المعايير التي تم استخدامها على نطاق واسع في دراسات مختلفة، وقد حقق نموذج (HEC- HMS) انتشارًا واسعًا في اشتقاق وحدة الهيدروجراف للأحواض غير المقاسة في المناطق الجافة، وفي عام ٢٠١٧م اعتمدت المملكة العربية السعودية هذه النماذج رسميًّا من خلال وزارة الشؤون البلدية والقروية، والهيئة العامة للمساحة الجيولوجية بوصفهما الجهتين المنوط بهما اعتماد الدراسات الهيدرولوجية، اللوحة رقم (٤)، حيث صدر الأمر السامي الكريم رقم ٢٨٨٦٥ في ١٤٣٨/٣/٢٨هـ بتعميم استخدام برنامجي (HEC-HMS) و(HEC-RAS) عند إعداد الدراسات الهيدرولوجية والهيدروليكية، وذلك لدرء أخطار السيول في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية (عبدالكريم، ٢٠٢١م، ص ٦٢).



لوحة (٤) واجهة النموذج الهيدرولوجي لبرنامج HEC-HMS لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النموذج الهيدرولوجي HEC-HMS.

وقد تم استخدام طريقة رقم المنحنى (Runoff Curve Number) حيث تستخدم هذه الطريقة لتقدير الجريان السطحي، وتحديد التدفقات العظمى لمياه السيول وحساب هيدروجراف السيل بعد خصم قيم الفواقد المختلفة من مياه الأمطار المتساقطة على حوض الصرف، طبقًا لخصائص التربة والنشاطات المقامة عليها واستخدامات الأراضى، ويعبر عن هذه الفواقد بمعامل يطلق عليه رقم منحنى الجريان السطحى (Runoff Curve Number).

ويتم الحصول على معدل التدفق الأقصى للجريان السطحى لمياه السيول فوق سطح حوض التصريف باستخدام المعادلة التالية:

$$\mathbf{Q = qu * AB * R * F} \qquad (١)$$

حيث:

Q = التدفق الأقصى لمياه السيول على كامل مساحة حوض التصريف (م^{٣}/ثانية).

qu = وحدة التدفق الأقصى (م^{٣}/ثانية/كم^{٢}/مم).

AB = مساحة حوض التصريف (كم^{٢}).

R = عمق جريان مياه السيل (Runoff Depth) المتوقع حدوثه على وحدة المساحات من حوض التصريف (مم).

F = معامل لتصحيح قيمة الجريان السطحي، نتيجة وجود برك التجميع بحوض التصريف.

$$\mathbf{qu = (10Co - 3.36609) * (TcC1 + C2\,log(Tc))} \qquad (٢)$$

حيث:

qu = وحدة التدفق الأقصى (م^{٣}/ثانية/كم^{٢}/مم).

Tc = زمن التركيز (ساعة).

C0، C1 ، C2 = ثوابت تتوقف قيمتها على نسبة الفواقد الابتدائية من مياه الأمطار والاستيعاب الأولي لحوض التصريف (Ia/P).

Ia = مقدار الفواقد الابتدائية واستيعاب الحوض الأولي للعاصفة الممطرة (مم).

P = أقصى معدل يومي لشدة تساقط الأمطار للعاصفة الممطرة التصميمية (مم/يوم).

ويتم تحديد أقصى فقد أو تخزين من الممكن حدوثه في تربة حوض الصرف (S)، وكذلك قيمة الفقد الابتدائي (Ia) المتوقع حدوثه في حوض الصرف، باستخدام المعادلة التالية:

$$S = 25.4\ (1000/CN - 10) \quad (٣)$$

$$Ia = 0.2S \quad (٤)$$

حيث:

S = أقصى عمق تخزيني بالتربة (مم).

CN = رقم المنحنى الذي يتم تقديره طبقًا للمواصفات العالمية.

Ia = الفقد الابتدائي (عند بداية حدوث العاصفة المطيرة) (مم).

وقد تم الاعتماد أيضًا على خرائط استعمالات الأراضي وغطاء التربة من هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (SGS) في تحديد غطاء التربة لأحواض التجميع المؤثرة على النقط محل الدراسة. وقد تم تقديره باستخدام برنامج (WMS)، حيث تم استخدام الخريطة الجيولوجية وخرائط التربة للمملكة العربية السعودية، وتم إعداد ملف لاستخدامات الأراضي بناءً على أحدث الصور الجوية، وتم إضافتهم للبرنامج الذي قام بدوره بحساب ال(CN) لكل منطقة في أحواض التجميع، ثم يتم حساب عمق جريان مياه السيل (R،Runoff Depth) المتوقع حدوثه على وحدة المساحات من حوض التصريف (مم) صماته، باستخدام المعادلة التالية:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{(P + 0.8S)} \quad (٥)$$

حيث:

P = أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار المناظر لمدة التكرار التصميمية (مم).

يعتمد شكل هيدروجراف السيل الناتج من طريقة رقم المنحنى على مساحة حوض التصريف وزمن التأخير (Lag Time,TL)، وعادة يحسب زمن التأخير على أنه يساوي ٦٠٪ من زمن التركيز بحوض التصريف.

هناك خمس طرق لتوجيه القنوات في (HEC- HMS)، تم استخدام طريقتين منها هنا:

(١) تستخدم طريقة توجيه Muskingum تقديرًا يسيرًا للفرق المحدود لحل المعادلة التالية:

$$O_t = \left(\frac{\Delta t - 2KK}{2K(1-X) + \Delta t}\right) I_t + \left(\frac{\Delta t - 2KK}{2K(1-X) + \Delta t}\right) I_{t-1} + \left(\frac{2K(1-X) + \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t}\right) O_{t-1} \quad (٦)$$

حيث:

O= هو التدفق الخارج.

I= التدفقات الداخلة

t time و K و X هي معلمات تعتمد على خصائص القناة والتدفق.

(٢) تعتمد طريقة النبض المعدلة، والمعروفة أيضًا باسم توجيه التخزين أو طريقة توجيه تجمع المستوى، على تقريب الفروق المحدودة لمعادلة الاستمرارية، وتقترن بتمثيل تجريبي لمعادلة الزخم. التعبير النموذجي معطى بواسطة

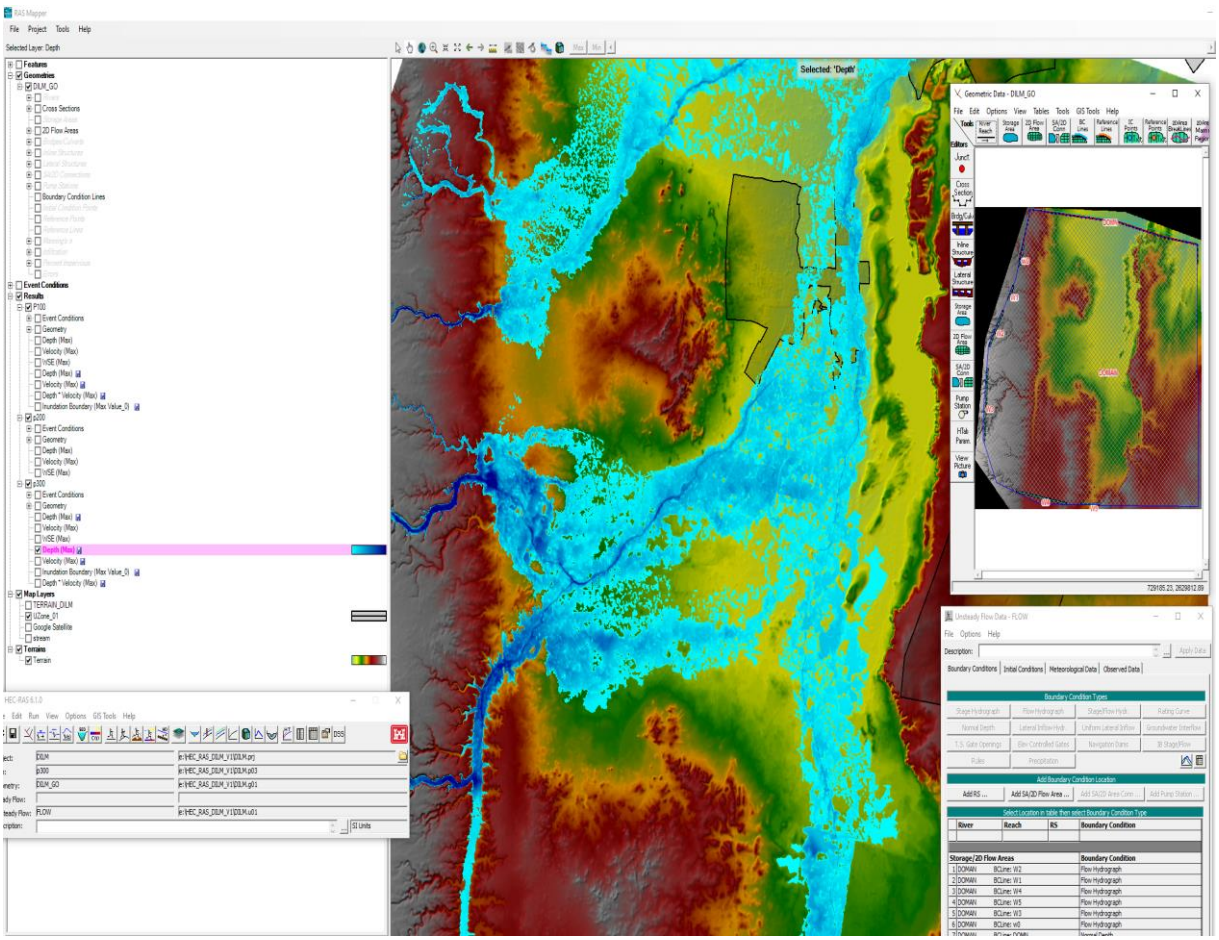
$$\left(\frac{\mathbf{S_t}}{\Delta \mathbf{t}} + \frac{\mathbf{O_t}}{\mathbf{2}}\right) = \left(\frac{\mathbf{I_{t-1}} + \mathbf{I_t}}{\mathbf{2}}\right) + \left(\frac{\mathbf{S_{t-1}}}{\Delta \mathbf{t}} + \frac{\mathbf{O_{t-1}}}{\mathbf{2}}\right) \quad (٧)$$

حيث:

I و O هما التدفق الداخلي والخارجي، S هو التخزين في وصول القناة، و t هو الوقت، مطلوب علاقة وظيفية بين التخزين والتدفق الخارج لحل هذه المعادلة.

٨-٢-٣. النماذج الهيدروليكية ثنائية الأبعاد المستخدمة (HEC-RAS):

تم استخدام النماذج الهيدروليكية ثنائية الأبعاد (2D) لحساب التدفقات ومساراتها وتأثيرها على مدينة الخرج، حيث تُعدُّ النماذج أحادية الأبعاد (1D) غير كافية لمحاكاة التدفق والأعماق أو السرعات الناتجة، كما أن النمذجة ثنائية الأبعاد أسهل وأكثر استخدامًا مع تزايد القدرة الحسابية، ونوعية البيانات المستندة إلى نظم المعلومات الجغرافية وتوافر المعلومات الرقمية مع بيانات الرفع المساحي، لذلك تُعدُّ النمذجة ثنائية الأبعاد هي حل لتقييم مشكلات السيول للبنية التحتية، وفى هذه المرحلة تم استخدام برامج النمذجة ثنائية الأبعاد المعروفة وهو HEC-RAS (2D)، وقد تم تطوير برنامج HEC-RAS بواسطة مركز هندسة الهيدرولوجيا التابع لقسم مهندسي الجيش الأمريكي، وتم اعتماد البرنامج بحيث يتم استخدامه في مشروعات الهندسة المدنية في الوقت الحاضر، حيث تم تطوير البرنامج من HEC-2 إلى نسخة أحدث والتي تتضمن بعض التحسينات، مثل الواجهة الرسومية، أو إمكانية تبادل البيانات مع نظام المعلومات الجغرافية ArcGIS من خلال HEC-GeoRAS، كما تم إضافة الإمكانيات التي تستخدم في الحسابات الهيدروليكية، ومن أهم مخرجات النماذج الهيدروليكية ثنائية الأبعاد (2D) الخرائط ثنائية الأبعاد لحدود السيول ومناطق الخطورة (2D Flood Extent Maps)، اللوحة رقم (٥).



لوحة (٥) واجهة النموذج الهيدروليكي لبرنامج HEC-RAS لعمل محاكة ثنائية الأبعاد لعمق وسرعة ونطاق الغمر لمياه السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النموذج الهيدروليكي HEC-RAS.

٨-٣. معايرة النماذج الهيدرولوجية والهيدروليكية:

من أجل عمل المحاكاة والتحقق من نتائج النماذج الهيدرولوجية، يجب معايرة النماذج لاستنتاج المحددات الهيدرولوجية والهيدروليكية لاستخدامها للتنبؤ بأوقات العودة المختلفة، يتم تقدير المحددات من خلال إجراءات التجربة والخطأ (Trial & Error) على النموذج، ثم مقارنة النتائج بقياسات حقيقية (هطول الأمطار كمدخلات، تدفق كمخرجات)، حتى يتم تحقيق الحد الأدنى من الخطأ بين النتائج المحسوبة والمقاسة، ومع ذلك فإن معظم الأحواض في المملكة العربية السعودية هي الأحواض غير المغطاة التي لا تحتوي على أي قياسات، وحتى يتم التأكد من دقة النماذج الهيدرولوجية التي تم استخدامها من خلال الدراسة، فقد تم إجراء تحليل عدم التأكد من دقة النماذج (Uncertainty Analysis).

٨-٤. تقييم الأخطار:

تستند عملية تقييم الأخطار في هذه الدراسة على نهج التكامل والدمج ما بين الجيوماتكس والنمذجة الهيدروديناميكية، وتعتمد على إنتاج ثلاث أنواع من خرائط، وهي:

- خرائط شدة السيول.
- خرائط درجة التأثر بالسيول (خرائط الحساسية).
- خرائط أخطار السيول.

٨-٤-١ خرائط شدة السيول (Hazard Maps):

تعرف خرائط شدة السيول بأنها خرائط توضح التوزيع الجغرافي لشدة السيول مع اختلاف درجاته، ويتم الأخذ في الحسبان عمق السيول وسرعتها الناتج من النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد، في البداية يتم استنتاج التوزيع الجغرافي لعمق السيول وسرعتها من نتائج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد، ويكون هذا التوزيع عبارة عن قيم العمق والسرعة المستنتجة من النمذجة الهيدروليكية، تم إنشاء خرائط لعمق المياه وسرعتها ومستوياتها وشدة السيول، ومن أجل استخدام النموذج يجب أن تتوفر تفاصيل المقاطع العرضية لتيارات الوادي ومعدل التدفق عند منابع الأودية (م^{٣}/ث) (Feldman, 2000, p 20)، ومن خلال استخدام معادلة حفظ الطاقة، يمكن حساب سرعة المياه وعمقها، وقد أظهرت العديد من الدراسات السابقة أن هذه النماذج قد أسفرت عن نتائج دقيقة وفعالة في دراسات السيول (Anderson, et al, 2002, p 25; Siddiqui, et al, 2011, p 1204)، بعد ذلك يتم تصنيف شدة السيول بناءً على معادلة DEFRA.

$$\mathbf{HR = D * (V + 0.5) + DF} \qquad (٨)$$

حيث إن:

HR: تصنيف شدة السيول.

D: هو عمق المياه (م).

V: هو سرعة المياه (م/ث).

DF: معامل الحطام.

يتم حساب معامل الحطام، كما هو مبين بالجدول رقم (٢).

جدول (٢) تحديد معامل الحطام (معامل الأنقاض)

معامل الحطام (DF)	الأعماق (م)
٠,٥	٠ إلى ٠,٢٥
١	٠,٢٥ إلى ٠,٧٥
١	أكبر من ٠,٧٥ أو سرعة أكبر من ٢ م/ث

المصدر: (Anderson, et al, 2002, p 25).

بعد حساب قيمة التصنيف، يتم ترتيب شدة السيول طبقًا للجدول رقم (٣).

جدول (٣) تصنيف شدة السيول

تصنيف الخطر	قيمة شدة السيول
ليس هناك خطر	0
خطر ضعيف	<0.75
خطر متوسط	0.75–1.25
خطر شديد	1.25–2.0
خطر أقصى	>2.0

المصدر: (Siddiqui, et al, 2011, p 1204).

٨-٤-٢. خرائط درجة التأثر بالسيول (Vulnerability):

هي خرائط توضح درجة ضعف أو درجة تأثر مناطق الدراسة بالسيول، ويتم الأخذ في الحسبان استخدامات الأرض التي تعبر عن درجة أهمية وحساسية المنطقة، ويتم تصنيفها من ١ إلى ٥ طبقًا لدرجة التأثر بالسيول، وتكون الأولوية للمناطق السكنية والحكومية والخدمات العامة والمرافق، بينما تقل الأولوية للمناطق الصحراوية والمناطق النائية، ويُعدُّ تقييم تأثير السيول مكونًا رئيسا لإستراتيجيات إدارة أخطار السيول، ويعد رسم خرائط قابلية التأثر بالسيول أمرًا ذا قيمة، لأنه يساعد على تصور مكاني حيث تكون قابلية التأثر منخفضة أو عالية (Alabbad and Demir, 2022, p 3; Obroh and Sambo, 2022, p 2)، ويوضح الجدول الرقم (٤) قيم درجة الحساسية بالسيول.

جدول (٤) درجة تأثر الأراضي بالسيول طبقًا لنوع الاستعمال

نوع الاستعمال	درجة التأثر بالسيول
سكنية	٥
حكومية	٥
خدمات	٥
مرافق	٥
مطار	٥
حدائق	٢
مناطق زراعية	١
مناطق صحراوية	٠

المصدر: (Obroh and Sambo, 2022, p 2).

٨-٤-٣. خرائط أخطار السيول (Risk Maps):

هي خرائط توضح المناطق المعرضة للأخطار الناتجة عن السيول مع اختلاف درجات هذه الأخطار نسبة للتوزيع الجغرافي، ويتم حساب هذه الخرائط عن طريق الأخذ في الحسبان شدة السيول ودرجة حساسية المنطقة لهذه السيول، ويمكن استخدام خرائط أخطار السيول، كأداة فعالة للموارد المائية والتخطيط الحضري، من قبل مهندسي التصميم لتقييم مدى تعرض البنية التحتية والسكان في هذه المنطقة للسيول (Fernandez and Lutz, 2010, p 92)، وتتضمن خرائط أخطار السيول وتحليل الأخطار لأي من أحواض التصريف عوامل أو معايير عدة (Xu, et al, 2013, p 927; Poussin, et al, 2014, p 70).

٨-٥. التحقق من دقة النمذجة الهيدروليكية:

النمذجة هي محاكاة للظواهر الطبيعية بقدر الإمكان، لكي نتمكن لاحقًا في توقع سيناريوهات مختلفة ووضع الحلول الممكنة، وأي نموذج يعتمد في الأساس على ثلاث عناصر أساسية، وهم:

- **المدخلات:** وهي البيانات التي يتم تحليلها بالمعادلات التي يقوم بحسابها النموذج مع العلم أن هذه البيانات لا يتم التغيير فيها، لأن تم قياسها من الطبيعة أو استنتاجها من حسابات أخرى.
- **المخرجات:** وهي النتائج المستنتجة من حساب المعادلات التي يقوم بها النموذج، والتي يتم المقارنة بين قيمها والقيم الموجودة فالطبيعة لكي يتم التأكد من دقة النموذج.

- **المعاملات:** وهي قيم تعبر عن طبيعة المنطقة التي يتم تغييرها، لكي إذا كانت المخرجات غير متكافئة مع قيم الطبيعة إلى أن يتم توافق النتائج والتأكد من دقة النمذجة، ويتم التأكد من توافق المخرجات طبقًا لمعادلة خطأ جذر متوسط التربيع الآتية:

$$\mathbf{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\mathbf{SIMULATED} - \mathbf{REFERNCE})^2}{\mathbf{n}}} \qquad (٩)$$

حيث إن:

RMSE = خطأ جذر متوسط التربع

SIMULATED = هي القيم الناتجة من النموذج

REFERENCE = هي القيم التي يتم المقارنة بها

n = هي عدد القيم

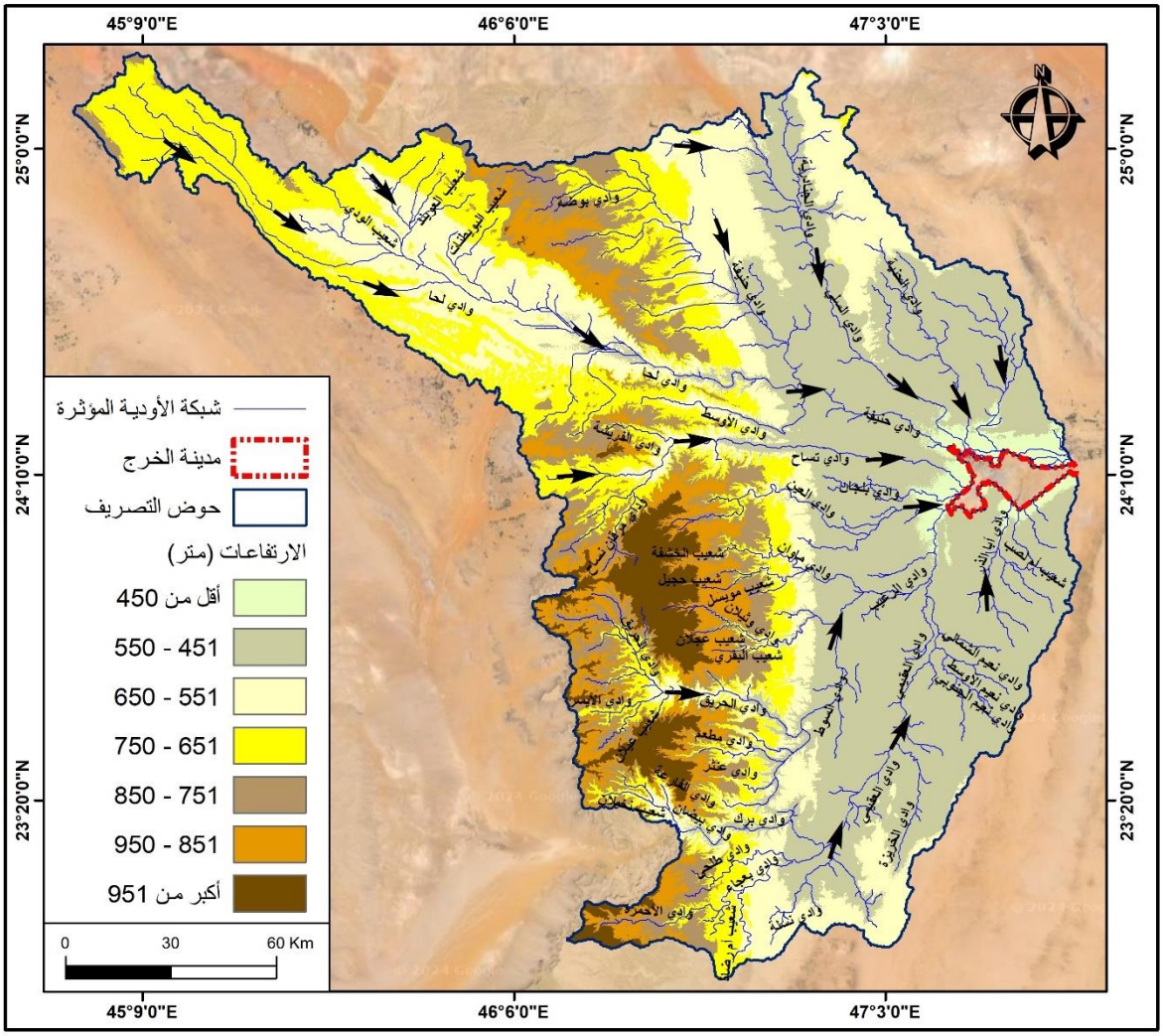
ويعد التحقق من صحة النموذج موضعًا رئيسًا في التحقق من صحة السيول، حيث تتميز تقييمات أخطار السيول بمستويات كبيرة من الشك وعدم اليقين (Kia, et al, 2012, p 252; Merz, et al, 2014, p 1922)، وقد اهتمت هذه الدراسة بالتحقق من صحة تقديرات محاكاة السيول من خلال التحقق الإحصائي والمكاني والدراسة الميدانية المكثفة، ومقارنة أحداث السيول التاريخية بمنطقة الدراسة بالنمذجة الحديثة، وقد تم خلال هذه المرحلة إجراء التحقق للنموذج الهيدروليكي ثنائي الأبعاد HEC-RAS، وذلك باستخدام النموذج الهيدروليكي ثنائي الأبعاد PCSWMM.

٩. النتائج والمناقشة:

٩-١. الخصائص الجيومورفولوجية لأحواض التصريف:

اتضح من تحليل الأشكال رقم (٤،٣) أنه تتعرض مدينة الخرج لسيول متكررة نتيجة وقوعها في ملتقى العديد من الأودية، من أهمها وادي حنيفة القادم من الشمال الغربي الذي يغذيه العديد من الروافد، من أهمها وادي السلي، والجنادرية، ولحا، والأوسط، وبوضه، وشعيب العونيد، والبويطنات، وقد أمكن تقسيم وادي حنيفة إلى ٢٣ حوض تصريف، وهم (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10, W11, W12, W13, W14, W15, W16, W17, W18, W19, W20, W21, W22, W23)، وتتراوح مساحة أحواض التصريف لوادي حنيفة ما بين ٣.٥٣ كم^2 للحوض رقم (W19)، و٣١٦٤.٨٩ كم^2

للحوض رقم (W21)، وتتراوح أطوال أحواض التصريف لوادي حنيفة ما بين ٥٠٦٥ مترًا للحوض رقم (W19)، و١٧٤٢٩٤ مترًا للحوض رقم (W21)، كما تتأثر مدينة الخرج بوادي الحنية والمتمثل في الحوض رقم (W24)، وتبلغ مساحة هذا الحوض نحو ١٨٨٦.١٣ كم^{٢} وبطول يبلغ نحو ٧٧٢٠٣ متر، بالإضافة إلى وادي نساح والمتمثل في الأحواض رقم (W25, W26, W27)، وتبلغ مساحة هذه الأحواض ٧٤.٦٢، و٧٦.٨٤، و١٧٩١ كم^{٢} على الترتيب.



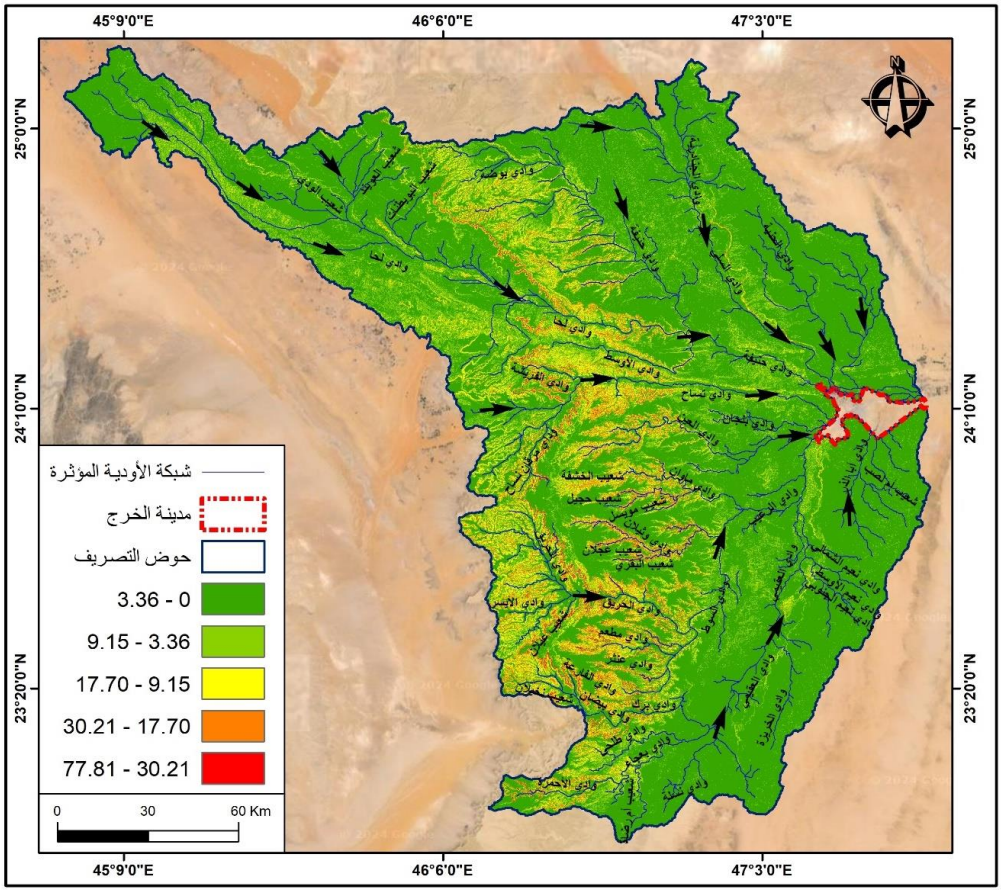
شكل (٣) نموذج الارتفاع الرقمي لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٠ م من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

وتبلغ أطوال هذه الأحواض ١٣١٧٧، و٢٠٦٠٦، و١٣٨٥٧٠ متر، ويغذي وادي نساح العديد من الروافد من أهمها وادي الفريشة، ومرقان نساح، كما تتأثر مدينة الخرج بوادي الرغيب والمتمثل في الأحواض رقم (W28, W29, W30, W31, W32, W33, W34)، وتتراوح مساحة أحواض التصريف لوداي الرغيب ما

بين ٥٤.٥٣ كم^{٢} للحوض رقم (W30)، ٦٥٩٧.٥ كم^{٢} للحوض رقم (W34)، وتتراوح أطوال أحواض التصريف لوادي الرغيب ما بين ١٣٨٧٥ مترًا للحوض رقم (W30)، و١٤٥٢٠٩ متر للحوض رقم (W34).

ومن أهم الروافد التي تغذي وادي الرغيب، وادي العقيمي، والسوط، والعين، وبلجان، وماوان، ووثيلان، والحريق، والأحمرة، وطلحى، وبرك، وشعيب عجلان، والبقري، وموسيل، حجيل، وعبلان، والخفشة، ومن أهم الأودية التي تتأثر بها مدينة الخرج وادي (أبا الذر) الذي يمثله الحوض رقم (W35) والذي يبلغ طوله ٧٣٨١٩ متر، وتبلغ مساحته نحو ١٣٣٧ كم^{٢}، ويغذي وادي (أبا الذر) العديد من الروافد من أهمها شعيب أم لصب.



شكل (٤) انحدار أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي بدقة ١٠ م من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

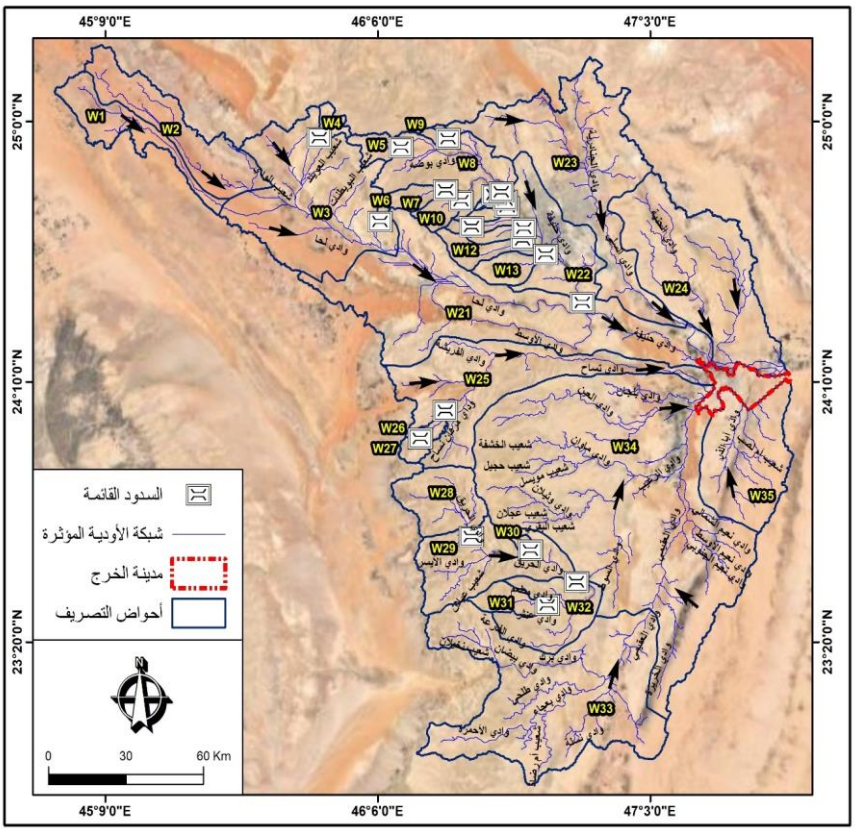
وتتراوح مناسيب سطح الأرض بالمنطقة ما بين ٣٩٤.٣ م فوق سطح البحر عند نهاية مصبات الأحواض والتي تتمثل بشكل رئيس عند مدينة الخرج، و١١٧٥م فوق سطح البحر عند بداية منابع الأحواض، والجدول رقم (٥) يوضح أهم الخصائص الجيومورفولوجية لأحواض التصريف المؤثرة على منطقة الدراسة.

من خلال صور الأقمار الصناعية والرفع المساحي تبين وجود ٢٣ سدًّا في أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج، وكما هو موضح بالشكل رقم (٥) والجداول رقم (٧،٦) واللذان يوضح السدود القائمة في أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج.

جدول (٥) أهم الخصائص الجيومورفولوجية لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

الحوض	مساحة الحوض (كم٢)	أطول مسار للمياه (م)	ميل الحوض (%)	زمن التأخير (دقيقة)
W1	٥٥٨,٠٧	٧٩١١٥	٠,٠٨	٨٧٥٦,١١
W2	٩٧٧,٥١	٨٨٦٣٢	٠,١٤	٧٢١٨,٤٩
W3	٢٢١٨,٧٩	٨٩٨٨٢	٠,٣٦	٤٦٨٥,٥٢
W4	٩٥,١٣	١٦٩٢٦	٠,٧	٧٤٢,١
W5	١٣٤,٤١	٢٢٠٩٩	٠,٦٤	٨٠٢,٠١
W6	٣٢,١٥	٩٠٠٢	٢,٨٤	٢٣٦,٩٢
W7	١٣٢,٢١	٢٤٣٠٠	١,١١	٦٥٩,٢٥
W8	٨٦٧,٤٧	٦٢٨٢٥	٠,٥٧	١٩٥٦,١٧
W9	٣٥,٤٩	١١٤٦٥	٠,٨٦	٤٠٩,٢٧
W10	١٤٠,٣٨	٢٠٩٧٠	١,١٧	٥٦٧,٧٤
W11	٣٤,٨٧	١٠٣٢٩	٢,٣٤	٢٢٨,٥٦
W12	٢٠١,٤٨	٣٦٩٣٥	٠,٩٥	٩٥٢,٢٤
W13	٢٠٤,٦	٣٠١٤٦	١,١١	٧١٢,٦٣
W14	٧٩,٩٤	٢٣٧٩٤	١,٢٧	٥٠٢,٣٤
W15	٦٤,٨	٢٢٠٣٩	١,٣٢	٥٥٨,٧٢
W16	٦١,٠٧	١٩٤٩٢	١,٤٩	٤٧٥,٨٩
W17	١٥,٣٣	٩٥٥٣	١,٩٣	٢٣٥,٥٤
W18	١٨,٨١	١١٧٧١	١,٧٤	٢٩٢,٦٥
W19	٣,٥٣	٥٠٦٥	٢,٣٥	١٢٧,٠٤
W20	٩,٥٥	٩٤٩٠	١,٩٨	٢٣٢,٢٨
W21	٣١٦٤,٨٩	١٧٤٢٩٤	٠,١٧	٩٣٧٩,٢٢
W22	٩٤٣,٩٧	٧٠٢٤٤	٠,٢٤	٢٩٣٢,٨
W23	٢٣٨٤,٥٤	١١٩٩٢٨	٠,٢٢	٥٧٢١,٩٨
W24	١٨٨٦,١٣	٧٧٢٠٣	٠,٣٣	٣٠٦٥,٤١
W25	١٧٩١	١٣٨٥٧٠	٠,٤٨	٤٣٨٨,٩٨
W26	٧٦,٨٤	٢٠٦٠٦	١,١	٥٨٠,٤٧
W27	٧٤,٦٢	١٣١٧٧	١,٦	٣٣٥,٩٤
W28	٦٠٦,٠٧	٣٩٤٧٦	٠,٨٧	١٠٩٣,٨٦
W29	١٠٤٢,٨٣	٧٢٦٠٥	٠,٦٤	٢٠٨٠,٥٦
W30	٥٤,٥٣	١٣٨٧٥	٢,٩٦	٢٥٧,٤١
W31	٢٠٣,٢	٣٠٠٨٥	١,٦٧	٦٣٧
W32	٦٦٣,٠١	٥٢٦٤١	١	١٣٨٦,٠٤
W33	٣٢٩٤,٦١	١١٨١٥٨	٠,٥	٣٤٧٥
W34	٦٥٩٧,٥	١٤٥٢٠٩	٠,١٥	٧٣٦٣,٣٥
W35	١٣٣٧	٧٣٨١٩	٠,٢٦	٣٣١١,٣٥

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS).



شكل (٥) مواقع السدود وأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات السدود، بلدية محافظة الخرج

جدول (٦) بيانات السدود المؤثرة على أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

اسم السد	المنطقة	المحافظة	نوع السد	سعة التخزين (م³)	ارتفاع السد (م)
المطيرفية	الرياض	الدرعية	ترابي	١٤٠,٠٠٠	٥
المهدية	الرياض	الرياض	ترابي	١٥٠,٠٠٠	١٢
لبن	الرياض	الرياض	ركامي	٢,٠٠٠,٠٠٠	١٢
نمار	الرياض	الرياض	ركامي	١,٥٠٠,٠٠٠	٨
حنيفة	الرياض	الرياض	ترابي	١,٤٠٠,٠٠٠	٨
صفار	الرياض	الدرعية	ترابي	٣٠٠,٠٠٠	٤
غبيرة	الرياض	الدرعية	ترابي	٩٠,٠٠٠	٦
الحريقة	الرياض	الدرعية	ترابي	٨٠,٠٠٠	٦
عشيرة	الرياض	المجمعة	ترابي	٣٠٠,٠٠٠	٥
البوضة	الرياض	المجمعة	ركامي	١٣٠,٠٠٠	٨
العلب	الرياض	الدرعية	خرساني	٣,٠٠٠,٠٠٠	١٠
الحائر بالرياض	الرياض	الرياض	خرساني	٣,٨٠٠,٠٠٠	١٤
صلبوخ	الرياض	حريملاء	ترابي	٩٣١,٢٠٠	١٢
الجفير	الرياض	المزاحمية	ترابي	٥٧٥,٦٢٥	٥,٥
الحريق	الرياض	الحريق	ترابي	٦,٠٠٠,٠٠٠	١٠
حوطة بني تميم	الرياض	حوطة بني تميم	ترابي	٩,٠٥٦,٦٠٤	١٣
لصاد (نعام)	الرياض	الحريق	ترابي	١,٥٠٠,٠٠٠	١٣,٩
الحلوة	الرياض	حوطة بني تميم	ترابي	١٠,٠٠٠,٠٠٠	١٥
البرة	الرياض	حريملاء	ترابي	٦٠٠,٠٠٠	٦,٥
الحيسية	الرياض	الدرعية	ترابي	٤٣٦,٤٦٠	٧
ضرماء	الرياض	ضرما	ترابي	١,٥٠٠,٠٠٠	٦
المزيرعية	الرياض	الدرعية	خرساني	٣٩٠,٠٠٠	٤
العيينة	الرياض	الدرعية	ترابي	١٠٠,٠٠٠	٥

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات السدود، وبيانات الرفع المساحي بلدية محافظة الخرج.

جدول (٧) بيانات السدود المؤثرة على أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

اسم السد	طول السد (م)	ارتفاع المفيض (م)	طول المفيض (م)	الإحداث الشرقي			الإحداث الشمالي		
المطيرفية	٨٧٥	٤,٥	١٦٠	٢٦,٦٤	٢٣	٤٦	٤٦,٧٧	٤٤	٢٤
المهدية	١٠٢	٨	١٨	٤٠	٢٥	٤٦	٤٦	٣٩	٢٤
لبن	٥٠٠	٩,٥	٥	١٩	٣٦	٤٦	١٦,٠٦	٣٧	٢٤
نمار	٤٠٠	٦	٨	١٠,٧٨	٤١	٤٦	٢٨,١٧	٣٤	٢٤
حنيفة	٣٩٠	٥	١٥٠	٣٣	٣٦	٤٦	٢٨	٣٩	٢٤
صفار	٣٢٥	٢,٥	٧	٧	٣٣	٤٦	٣٣,٨٤	٤٣	٢٤
غبيرة	١٧٠	٥	٢٠	٣٨	٣٢	٤٦	٥٤	٤٤	٢٤
الحريقة	١٩٠	٤,٥	٢٥	١٦	٣٠	٤٦	٥٤,٩٥	٤٥	٢٤
عشيرة	٣٠٠	٣	١٠٨	٣٨	٤١	٤٥	٤٠	٣٨	٢٥
البوضة	١٠٠	٦	١٠	٢٥	٤٠	٤٥	٩٠	٤٩	٢٥
العلب	٢٠٠	٧,٥	١٨٠	٥١,٢٤	٣١	٤٦	٢٨,٧	٤٦	٢٤
الحائر بالرياض	٤٠٠	١١	٢٠٠	٤٧,٤٣	٤٨	٤٦	١٠,٤	٢٥	٢٤
صلبوخ	١٢٥	٩	٣٥	٩	٢٠	٤٦	٢٥	٤	٢٤
الجفير	٥٧٨	٣	٤٠	٥٣	١٤	٤٦	٦	٥٩	٢٣
الحريق	١٧٠٠	١٠	٢٠٠	٣٥,٠٢	٢٥	٤٦	١٤	٤٠	٢٣
حوطة بني تميم	٧٧٠	٨,٦	٢٦٦	٣٥,٨٧	٤٧	٤٦	٢٩,٩٩	٣١	٢٣
لصاد (نعام)	٢٧٥	١٢	٦٥	٥٧	٣٧	٤٦	٣٦	٣٧	٢٣
الحلوة	٧٠٠	١٢	٥٠	٢٧,٤٨	٤١	٤٦	٣,٩٧	٢٧	٢٣
البرة	٧٥٠	٣,٥	١٢٠	٤٨	٥٣	٤٥	٥٤	٥٦	٢٤
الحيسية	٣٨٣	٤	٣٠	٥١	١٠	٤٦	٢	٥٥	٢٤
ضرماء	١٤٥٠	٤,٥	٥٠	٢٨	٦	٤٦	٤٥	٤٠	٢٤
المزيرعية	٥٨٠	٣,٥	١٠٨	١١,٥٩	٢٠	٤٦	٥٣,٦٥	٤٦	٢٤
العيينة	٤٠٠	٤	٢١٢	٤٥	٢٠	٤٦	٤٠	٥٦	٢٤

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات السدود، وبيانات الرفع المساحي بلدية محافظة الخرج.

٩-٢. خصائص الأمطار المؤثرة على منطقة الدراسة:

يُعدُّ هطول الأمطار وتحديد كميات الأمطار من أهم العوامل التي تساعد على حسابات السيول وتحديد حجم السيول المتجمعة من تلك الأمطار بشكل دقيق (Olawoyin and Acheampong, 2017, p 153)، ويغطي أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج ١٢ محطة، وهي: الخرج (R002) – المصانع بالرياض (R001) – ديراب (R007) – ضرما (R112) – حوطة بني تميم (R115) – الغيل (R008) – الحريق (R104) – الغيل (R107) – حوطة سدير (R005) – حريملاء (R103) – الجبيلة (R106) – سد وادي حنيفة (R105)، الجدول رقم (٨).

جدول (٨) خصائص محطات قياس الأمطار المستخدمة في الدراسة عام ٢٠٢٣م

محطة أرصاد	خط طول	دائرة عرض	الارتفاع (م)	نوع المحطة	رقم المحطة
الخرج	"٥٢,٠٠ '٢٢ °٤٧	"٧١,٠٠ '١٢ °٢٤	٧٦٨,١	شاملة	(R002)
المصانع بالرياض	"٠,٠٠ '٤٣ °٤٦	"٠,٠٠ '٣٤ °٢٤	٥٦٤	شاملة	(R001)
ديراب	"٣٢,٠٠ '٣٥ °٤٦	"٥٦,٠٠ '٢٤ °٢٤	٦٣٩	مناخية شاملة	(R007)
ضرما	"٠,٠٠ '٠٧ °٤٦	"٠,٠٠ '٣٧ °٢٤	٦٣٠	مطر يومي	(R112)
حوطة بني تميم	"٠,٠٠ '٥٠ °٤٦	"٠,٠٠ '٣٠ °٢٣	٥٢٥	مطر يومي	(R115)
الغيل	"٠,٠٠ '٢٨ °٤٦	"٠,٠٠ '٣٣ °٢٢	٥٥٠	شاملة	(R008)
الحريق	"٠,٠٠ '٣١ °٤٦	"٠,٠٠ '٣٧ °٢٣	٥٤٠	مطر يومي	(R104)
الغيل	"٠,٠٠ '١٢ °٤٦	"٠,٠٠ '٣٦ °٢٣	٥٥٠	مطر يومي	(R107)
حوطة سدير	"٠,٠٠ '٣٧ °٤٥	"٠,٠٠ '٣٢ °٢٥	٦٦٥	شاملة	(R005)
حريملاء	"٠,٠٠ '١٧ °٤٦	"٠,٠٠ '١٣ °٢٥	٦٤٥	مطر يومي	(R103)
الجبيلة	"٠,٠٠ '٢٨ °٤٦	"٠,٠٠ '٥٢ °٢٤	٦١٥	مطر يومي	(R106)
سد وادي حنيفة	"٠,٠٠ '٣٧ °٤٦	"٠,٠٠ '٤٠ °٢٤	٦٢٥	مطر يومي	(R105)

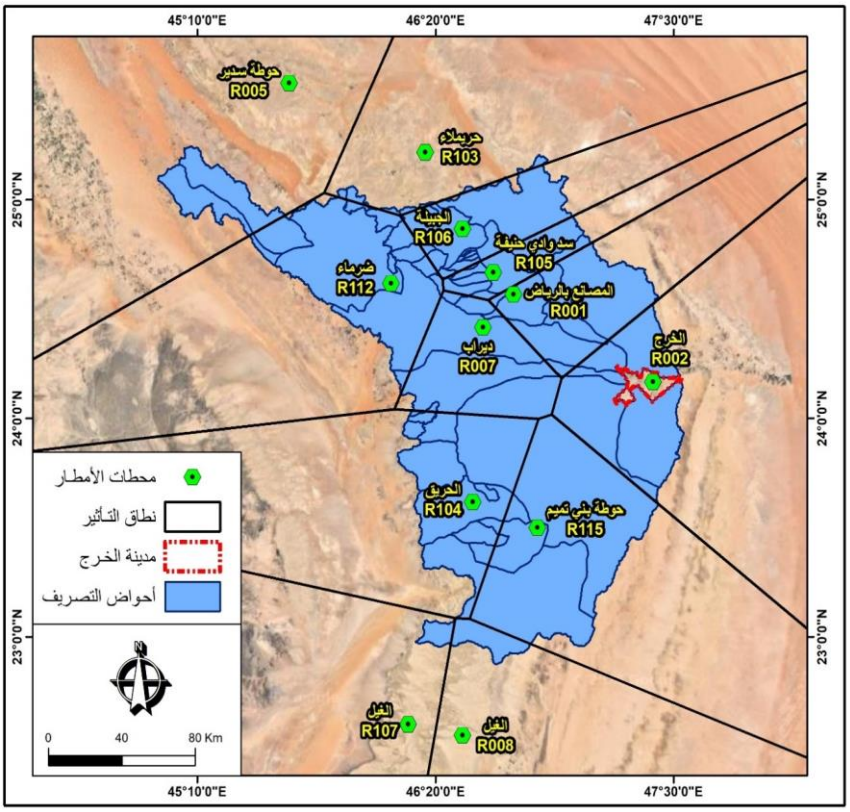
المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على مواقع محطات قياس الامطار من وزارة البيئة والمياه والزراعة.

وتم استخراج قيم عمق المطر للأوقات التكرارية (١٠،٢٠،٥٠،١٠٠ سنة)، واتضح أن توزيع Exponential هو التوزيع الأنسب لمحطات الخرج (R002)، وديراب (R007)، وضرما (R112)، والغيل (R008)، وتوزيع Weibull لمحطات المصانع بالرياض (R001)، والغيل (R107)، وحريملاء (R103)، وتوزيع Gamma لمحطات الحريق (R104)، والجبيلة (R106)، وتوزيع Lognormal لمحطات حوطة سدير (R005)، وحوطة بني تميم (R115)، وتوزيع Gumbell لمحطة سد وادي حنيفة (R105)، وبسبب وجود أكثر من محطة أمطار تؤثر على أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج، تم إنشاء مضلعات تيسين (Thiessen Polygon) بهدف معرفة تأثير كل محطة على حوض منطقة الدراسة، وقد اعتمدت هذه الطريقة على تقسيم أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج إلى أجزاء عدة كل منها يقع تحت التأثير المباشر لمحطة رصد واحدة، ثم يتم حساب متوسط ارتفاع هطول الأمطار بين كل منطقة، ويقسم ارتفاع المطر على المنطقة بأكملها، ويوضح الشكل رقم (٦) مواقع محطات الأمطار، ويشير الجدول رقم (٩) إلى عمق الأمطار لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج على أساس المحطات الميترولوجية اعتمادًا على طريقة مضلعات تيسين (Thiessen Polygon) داخل برنامج (WMS) باستخدام طريقة الوزن النسبي لمحطات المطر (Precipitation Gage Weight)، وتعد طريقة مضلعات تيسين (Thiessen Polygon) واحدة من التقنيات المستخدمة على نطاق واسع، وباستخدام هذه الطريقة يكون حساب هطول الأمطار بسيطًا، حيث تتطلب فقط كمية هطول الأمطار للمحطة ووزن المحطة المحسوب، ومنطقة تأثير كل محطة (Faisal and Gaffar, 2012, p 107)، ويتراوح عمق المطر التصميمى خلال أوقات الرجوع المختلفة (١٠ – ١٠٠ سنة) نحو ٣٨.٢١ – ٦٧.٢٥ م على الترتيب.

جدول (٩) عمق الأمطار التصميمي لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج على أساس المحطات الميترولوجية المؤثرة خلال أوقات الرجوع المختلفة عام ٢٠٢٣م

بيانات الحوض	المحطات	المساحة (كم٢)
المناطق المتأثرة بمحطات الأرصاد (كم٢)	مساحة الحوض (كم٢)	٣٠٣٠٣,١٤
	الخرج (R002)	٤٧٩٢,١
	المصانع بالرياض (R001)	٢٧٤٨,١٥
	ديراب (R007)	٢٧٩٩,٨٨
	ضرما (R112)	٣٢٢٩,٩٣
	حوطة بني تميم (R115)	٦٣٢٥,٠٨
	الغيل (R008)	٦٤٧,١٤
	حوطة سدير (R005)	٩٨٣,٨٩
	حريملاء (R103)	٣٠٢,٣٢
	الجبيلة (R106)	٢٥٥٧,٥٩
	سد وادي حنيفة (R105)	١٠٥١,٧٦
	الحريق (R104)	٤١٧٤,٥٨
	الغيل (R107)	٣٩٣,٩
عمق المطر التصميمي المستنتج خلال أوقات الرجوع المختلفة (مم)	١٠	٣٨,٢١
	٢٠	٤٧,٠١
	٥٠	٥٨,٥٣
	١٠٠	٦٧,٢٥

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على طريقة تيسن بلوجن Polygon Theissen داخل برنامج (WMS) باستخدام طريقة الوزن النسبي لمحطات المطر Precipitation Gage Weight



شكل (٦) مواقع ومواضع محطات قياس الأمطار المحيطة والممثلة لمنطقة الدراسة عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على مواقع محطات قياس الأمطار من وزارة البيئة والمياه والزراعة، باستخدام طريقة الوزن النسبي لمحطات المطر (Precipitation Gage Weight) داخل برنامج (WMS).

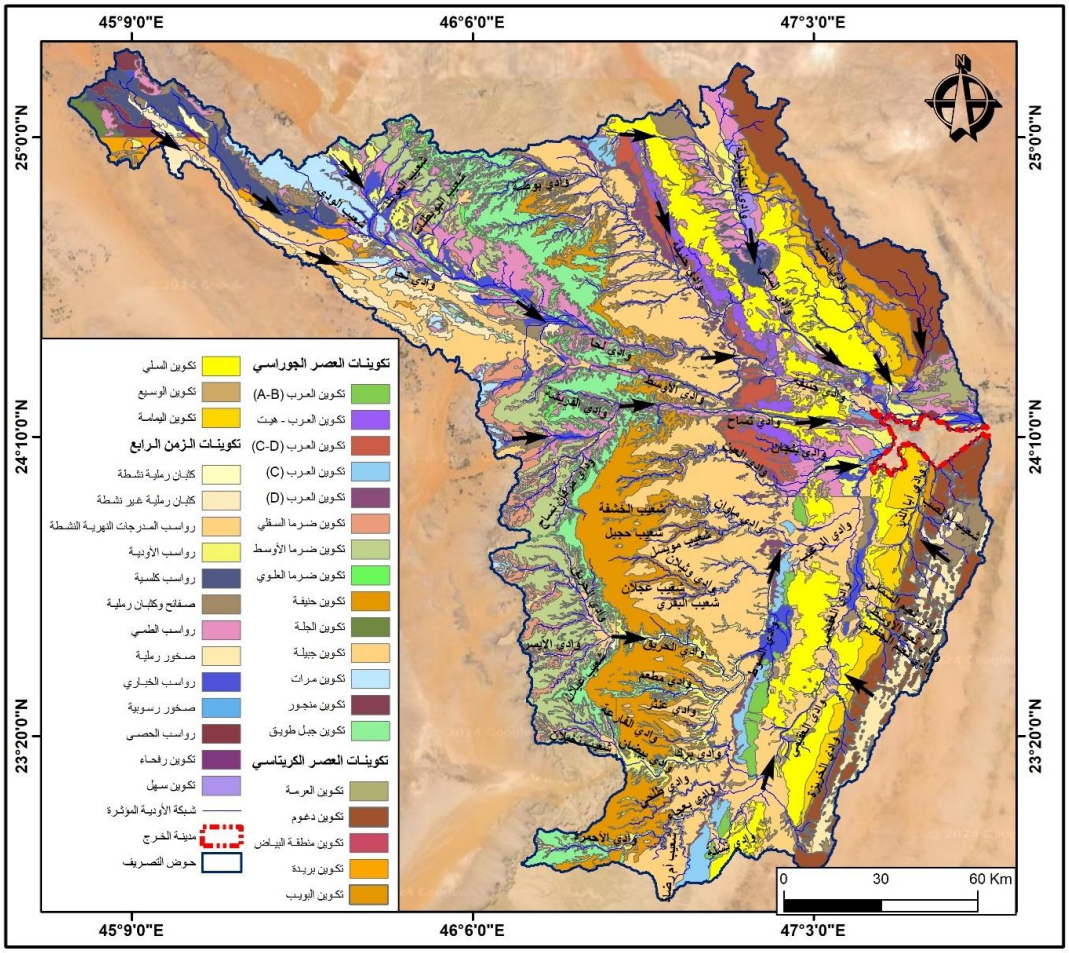
٩-٣. الخصائص الجيولوجية لأحواض التصريف:

تسيطر على منطقة الدراسة صخور يعود عمرها إلى ما بين العصر الجوراسي، والعصر الكريتاسي (الطباشيري)، والزمن الرابع، ومن خلال تقارير القطاعات الجيولوجية التي وضعتها المساحة الجيولوجية الأمريكية بالتعاون مع شركة أرامكو في المملكة العربية السعودية عن جيولوجية المملكة العربية السعودية تبين أن المتكونات الجيولوجية الرئيسة لمنطقة الدراسة من الأقدم إلى الأحدث (Powers, et al, 1966, p, D134-D142)، تتمثل في الشكل رقم (٧).

أولا: تكوينات العصر الجوراسي:

- **تكوين الجبيلة (Jj) Jubaila Formation:**

يرجع التكوين إلى فترة الكمبرجي (Kimmeridgian) الأعلى التابعة للجوراسي الأعلى حيث يمثل أربع وحدات صخرية تمتد غرب المنطقة على جبل طويق وتتكون من:



شكل (٧) الخريطة الجيولوجية لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الخرائط الجيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠

- حجر جيري فتاتي وتمثل وحدته العليا: وتتميز باللون المصفر المائل للأحمرار، ويتداخل بالكالكارينيت (Calcarenite) الصلب.
- كالكارينيت وتمثل الوحدة الوسطى العليا: ويلاحظ على هذه الوحدة تباين لونها بين الرمادي والبرونز المائل للدكانة، وتتميز بصلابة مادتها اللاحمة، ويتخللها طبقات رقيقة من الرمل والحجر الجيري، وتتأثر كثيرًا بفعل عمليات التجوية.
- حجر جيري كالكارينيتي وتمثل الوحدة الوسطى السفلى: والتي تتباين بين اللون الأبيض المصفر إلى البني المائل للأحمرار، وتتألف من الحجر الجيري والكالكارينيت المتداخل بالدولومايت والحبيبات الخشنة من حطام الأصداف.
- حجر جيري فتاتي وتمثل الوحدة السفلى: وتتباين بين اللون الأبيض المصفر إلى النحاسي المحمر، وتتألف من حجر جيري فتاتي وحجر جيري كالكارينيتي، وتحتوي على طبيقات رقيقة من كالكارينيت الصدفي الجيد التماسك، وتتخلله طبقات من الحجر الرملي والطباشير، ويتركز في وسط أحواض التصريف عند أودية لحاء، وماوان، ووثيلان، والحريق، والسوط، وتبلغ مساحة تكوين الجبيلة ٤١٢١.٩٧ كم^{٢} ويمثل نحو ١٣.٦٠٪.

- **تكوين العرب – هيت Ja /Jhi) Arab – Hith Formation):**

ينتمي لفترة التيتوني التابعة للجوراسي الأوسط والأسفل، ويتألف من تتابع صخور الحجر الجيري مع الانهيدريت ويتكون من صخور الحجر الجيري ذا لون مصفر يميل للدكانة تفصلها طبقات أقل سمكًا من الانهيدريت الكتلي بلون ابيض متداخل بعدسات من الجبس الأبيض والصلصال والطفل وعقد صغيرة من الدولوميت المائل للاصفرار، وتلك الظروف ساعدت على وجود الانهيارات الضخمة على طول مكاشف التكوين بالإضافة لتأثره بعمليات الاذابة الكارستية والتشققات السطحية، ويتركز في الجزء الشمالي والجنوبي من أحواض التصريف بالقرب من أودية ماوان، والرغيب، وحنيفة، وبوضة، وتبلغ مساحة تكوين العرب – هيث نحو ١٩٥٩.٧٣ كم^{٢} يشكل نحو ٦.٤٧٪.

- **تكوين حنيفة (Jh):**

يتكون من الحجر الجيري الناعم أبيض اللون، والمتداخل معه طبقات صغيرة من المارل والطفال الطيني وبعض الكلكارينيت (Calcarinte) والحفريات المرجانية، ويتركز في الجزء الغربي من أحواض التصريف بالقرب من وادي الحريق، وبوضة، ولحاء، والفريشة، وشعيب الخشفة، وحجيل، وتبلغ مساحة تكوين حنيفة نحو ٢٧١٦.٥٣ كم^{٢} ويشكل نحو ٨.٩٦٪.

- **تكوين جبل طويق (Jtm):**

يتكون من الحجر الجيري الأبيض المتماسك، والمتداخل معه بعض المارل وبعض الكلكارينيت (Calcarinte)، وهذا التكوين تتألف أو تتكون من الجروف الكبيرة المكونة لجبل طويق، ويتركز في الجزء الغربي والجنوبي والشمال الغربي بالقرب من وادي الأحمرة، وبوضة، ولحاء، ومرقان نساح، وشعيب دقيل الأعلى، وعيلان، والبويطنات، وتبلغ مساحة تكوين جبل طويق نحو ١٥٠٦.٠١ كم٢ بنسبة ٤.٩٧٪.

- **تكوين مرات (Jm):**

يتكون من الحجر الجيري والدلوميت مع طبقات رقيقة من الحجر الرملي والطفال الطيني وسط هذا التكوين، ويتركز تكوين مرات في الجزء الغربي في أحواض التصريف بالقرب وادي الحريق ووادي الأيسر، وتبلغ مساحته ٦٧٧.٤٤ كم٢ بنسبة تبلغ نحو ٢.٢٤٪.

- **تكوين ضرما (Jd):**

يتكون من الحجر الجيري البني اللون المتماسب والمتدخال معه بعض الكلكارينيت (Calcarinte) وحجر الطفال الطيني المائل للون الأخضر وبعض طبقات الحجر الرملي مع أكاسيد الحديد، ويتركز في الجزء الغربي والجنوبي بالقرب من اودية الأيسر، والأحمرة، وشعيب المجهولة، وحنيظلة، وأبو سرح، عيلان، ونخيلان، وغواث، وتبلغ مساحة تكوين منطقة ضرما نحو ٢٢٩٦.٧١ كم٢ تمثل نحو ٧.٥٨٪.

- **تكوين الجلة (Trj):**

يتكون من الحجر الرملي الأشقر يختلف تركيبه بين رسوبي ومتكاثف وخشن، وحتوي على طبقات متداخلة من حجر الرسوب وحجر الطفال ألوانها أخضر وأرجواني وأحمر، كما يحتوي على طبقات قليلة ورقيقة من الحجر الجيري، كما يوجد أيضًا بعض المتحجرات من أصل بحري في طبقات الحجر الجيري، ويتركز في الجزء الشمالي الغربي، وتبلغ مساحة تكوين الجلة نحو ٨١.٦٣ كم٢ تمثل نحو ٠.٢٧٪.

- **تكوين منجور (Trm):**

يتكون من الحجر الرملي الكثيف والمتقاطع مع طبقات الطفال متعددة الألوان والموزعة بدون انتظام، كما توجد طبقات صغيرة من أكاسيد الحديد وحصباء من الكوارتز، ويتركز في الجزء الشمالي الغربي، وتبلغ مساحة تكوين منجور نحو ٢١٦.٧٢ كم٢ يمثل نحو ٠.٧٢٪.

ثانياً: تكوينات العصر الكريتاسي (الطباشيري) والتابعة لمجموعة الثمامة:

- **تكوين السلي (ks):**

يعود لفترة النيوكومي Neocomian التابعة للكريتاسي الأسفل Lower Cretaceous، ويتكون من صخور الحجر الجيري الفتاتي المتداخل بحجر جيري كالكارينيتي وطبقات رقيقة من كالكارينيت مختلط بالرمال الناعمة أحيانا والخشنة أحياناً أخرى وتخلخله الحصباء ويحتوي التكوين على حفريات وهياكل صدفية، وتبلغ مساحة تكوين السلي نحو ٢٤٠٢.٧٦ كم^{٢} ويمثل نحو ٧.٩٣٪.

- **تكوين اليمامة (ky):**

يعود لفترة النيوكومي التابع للكريتاسي الأسفل، ويتألف من أربع وحدات صخرية تتمثل بصخور من الكالكارينيت المتداخل بطبقات الحجر الجيري الناعم، وأيضًا بطبقات من الحجر الرملي والطفل والكلس والطين الصفائحي، ويحتوي التكوين أيضًا على الأصداف والرخويات، ويتركز في الجزء الشرقي والجنوبي والشمالي الشرقي بالقرب أودية العقيمي، ونسلة، والرغيب، وتبلغ مساحة تكوين اليمامة نحو ٥٥٩.٥٤ كم^{٢} ويمثل نحو ١.٨٥٪.

- **تكوين البويب (kbu):**

ينتمي إلى فترة الأبتين Aptian المنتمي للكريتاسي الأسفل، ويتكون من صخور الحجر الجيري الفتاتي المتداخل بحجر جيري كالكارينيتي، وطبقات رقيقة من الكالكارينيت والحجر الرملي والطفل، بالإضافة إلى وجود هياكل وأصداف بحرية، ويتركز في الجزء الشرقي بالقرب من أودية الخريزة، ونعيم الشمالي، ونعيم الأوسط، ونعيم الجنوبي، وتبلغ مساحة تكوين البويب نحو ٦١٧.٢٤ كم^{٢} ويشكل نحو ٢.٠٤٪.

- **تكوين دغوم (Kbd):**

يتكون من الحجر الأبيض الرملي، ويتركز في الجزء الجنوب الشرقي من أحواض التصريف بالقرب من ودية الخريزة، ونعيم الشمالي، ونعيم الأوسط، ونعيم الجنوبي، وشعيب أبو سدر الشمالي، وتبلغ مساحته نحو ١٦٨٨.٤٣ كم^{٢} ويشكل نحو ٥.٥٧٪.

- **تكوين بريدة (TRm):**

يتكون من الحجر الرملي الناعم إلى الحبيبات الخشنة مع طبقات متقاطعة، وحجر رملي طيني، وحجر طيني الكاوليني الغريني الأحمر أو الأبيض، ويتركز في الجزء الغربي بالقرب من وادي الأيسر، وتبلغ مساحته نحو ٢٨٠.٧٧ كم^{٢} ويمثل نحو ٠.٩٣٪.

- **تكوين البياض (Kb):**

يتكون من حجر رملي أشقر وأبض ورمادي وأحمر متداخل بطبقات من حجر الطفال متعدد الألوان، بالإضافة إلى طبقات من الحجر الحديدي، وطبقة رقيقة من الدولومايت، ويتركز في الجزء الشمالي الشرقي والجنوبي الشرقي، بالقرب من وادي الجنادرية، والسلي، والحنية، وأبا الذر، وتبلغ مساحته نحو ٣٩.٦٤ كم٢ يشكل نحو ٠.١٣٪.

- **تكوين العرمة (Ka):**

يتكون من حجر جيري رمادي وبني وفاتح تتداخله طبقات صغيرة من الدولومايت ومن حجر الطفال لونه أصفر مائل إلى الخضرة، بالإضافة إلى وحدة مؤلفة من حجر الطفال الجيري بلون بني فاتح مائل إلى الصفرة، كما يحتوي على الدولومايت الطيني والحجر الجيري، ويتركز في الجزء الشرقي بالقرب من وادي الحنية، وتبلغ مساحته نحو ١٣٦.٦٨ كم٢ ويشكل نحو ٠.٤٥٪.

- **تكوين الوسيع (Kw):**

هو عبارة عن حجر رملي فيه الكوارتز أشقر ورمادي وبني ومتعدد الألوان ممزوج بحصباء متفرقة من الكوارتز متداخلة بطبقات من حجر الطفال المتعدد الألوان وفي بعض الأماكن بطبقات رقيقة من الدلومايت، وعدة مواقع طبقية من الحجر الحديدي، ويتركز في الجزء الشرقي بالقرب من وادي الحنية، وتبلغ مساحته نحو ٥٢.١٨ كم٢ بنسبة ٠.١٧٪.

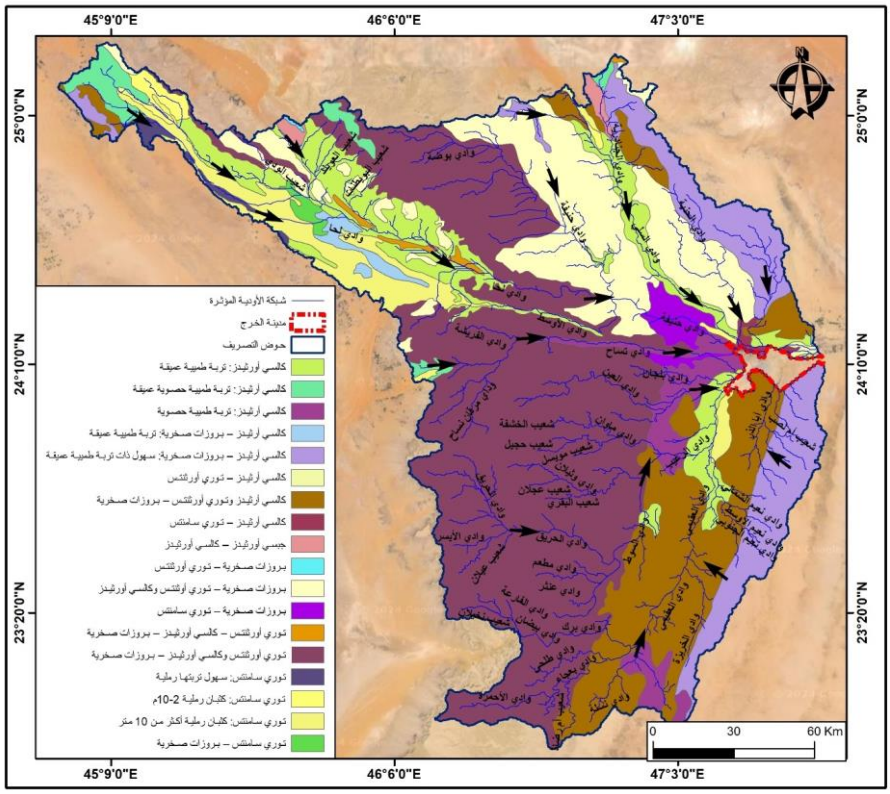
ثالثًا: تكوينات الزمن الرابع:

تغطي رواسب الزمن الرابع أجزاء متفرقة من منطقة الدراسة حيث تشغل مجاري الأودية والمراوح الفيضية، وتتكون من رواسب الطمي الناعم المختلط بكربونات الكِلس والجص خاصة في المنخفضات والتي تتميز بعضها بارتفاع رطوبتها فتظهر مسطحاتها باللون الغامق لاحتوائها على أكاسيد الحديد، بالإضافة لوجود رواسب الحصى المؤلف من حجر جيري وكوارتز المختلط بالصخور المحلية، وتظهر تلك الرواسب

السطحية بشكل غير متماسك لكونها تمثل نتاج ارساب لكثير من الأودية المنحدرة نحو المنطقة من الحافات والمرتفعات الجبلية المحيطة بها، وتتكون من رواسب الطمي (Qg)، ورواسب المدرجات النهرية النشطة (Qtz)، ورواسب الخباري (Qk)، ورواسب المدرجات النهرية الغير نشطة (Qty)، والمصاطب الرسوبية (Qf)، ورواسب الحصى غير نشطة (Qgy)، ورواسب الكثبان الرملية النشطة (Qdz)، ورواسب الكثبان الرملية الغير نشطة (Qdy)، ورواسب قيعان الأودية (Qsz)، ورواسب الأودية (Qa)، وصخور رملية (Qsg) وتكوين سهل (QNs)، وتبلغ مساحتها ١٠٩٤٩.١٥ كم^{٢} تمثل نحو ٣٦.١٣٪.

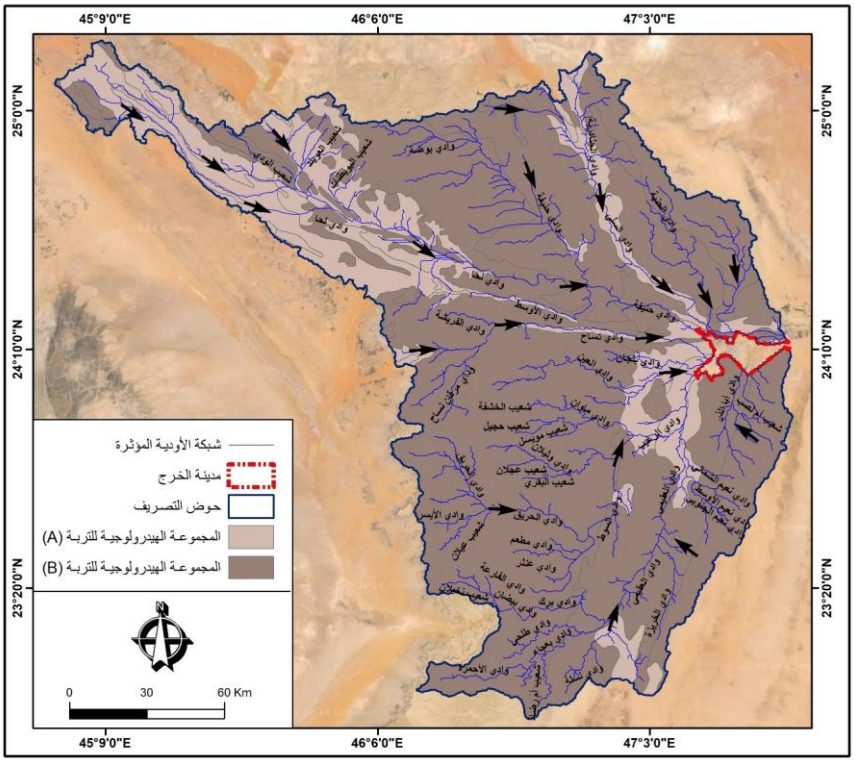
٩-٤. خريطة التربة وخصائص المجموعة الهيدرولوجية للتربة ورقم المنحنى:

يعد نسيج التربة من المعاملات المهمة التي تحدد مقدار التسرب، وبالتالي لها تأثير على كمية السيول، وتتوزع التربة بأحواض التصريف في بطون الأودية، وفي القطاع الأدنى من الأحواض بمناطق السهول الفيضية الحصوية والرملية والمراوح والمدرجات الفيضية، ويعتمد تصنيف نسيج التربة على مصدر واحد وهو خرائط أطلس التربة بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠ من وزارة البيئة والمياه والزراعة، وتم تقسيم نسيج التربة إلى أربعة فئات وهي: الطميية، والطميية الحصوية، والرملية، والطميية الرملية، وتتكون منطقة الدراسة من صخور فتاتية وكربونية تابعة للجوراسي العلوي والكريتاسي السفلي، وقد لعبت عوامل التعرية والتجوية دورًا مهمًّا في تكون التربة وتنوعها في منطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكل رقم (٨)، تتكون خريطة التربة في منطقة الدراسة من توري أورثنتس وكالسي أورثيدز – بروزات صخرية: وهي عبارة عن جرف، وتبلغ مساحتها ١١٩٥٠.٧٦ كم^{٢} بنسبة ٣٩.٤٤٪، وكالسي أرثيدز وتوري أورثنتس – بروزات صخرية: وهي عبارة عن تربة طميية وطميية حصوية، ضحلة ومستوية تقريبًا وخفيفة الانحدار ومساحات صخرية مستوية تقريبًا إلى شديدة الانحدار، وتبلغ مساحتها ٤٤٢٧.٨٦ كم^{٢} بنسبة ١٤.٦١٪، وكالسي أورثيدز – بروزات صخرية: وهي سهول ذات تربة طميية عميقة ومرتفعات صغيرة وتلال صخرية، وتبلغ مساحتها ٢٨٤٥.٤٤ كم^{٢} بنسبة ٩.٣٩٪، وكالسي أرثيدز – بروزات صخرية: تربة طميية عميقة مستوية تقريبًا وانحدارها خفيف مع تلال صخرية، وتبلغ مساحتها نحو ٢١٧.٨٤ كم٢ بنسبة ٠.٧٢٪، وتوري سامنتس – بروزات صخرية: سهول تربتها رملية عميقة وتلال صخرية، وتبلغ مساحتها نحو ١٠٩.٠٤ كم٢ بنسبة ٠.٣٦٪، وكالسي أرثيدز – توري أورثنتس: تربة طميية ورملية عميقة، وتبلغ مساحتها نحو ٣٤.٩٢ كم٢ بنسبة ٠.١٢٪. وتتمثل أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج في المجموعتين (A-B)، حيث تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A) مساحة قدرها ٦٢٩٣.٠٨ كم^{٢} بنسبة ٢٠.٩٧٪، في حين تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B) مساحة قدرها ٢٣٧١٣.٢٤ كم^{٢} بنسبة ٧٩.٠٣٪، شكل (٩)، الجداول رقم (١٠،١١).



شكل (٨) خريطة التربة لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على أطلس خرائط التربة، وزارة البيئة والزراعة بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠



شكل (٩) المجموعة الهيدرولوجية للتربة لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الخرائط التربة والجيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠

جدول (١٠) المجموعات الهيدرولوجية للتربة حسب طريقة (SCS)

المجموعة الهيدرولوجية للتربة	صفات التربة
A	طبقة رملية عميقة مع كمية قليلة جدًّا من الطين والغرين
B	طبقة رملية أقل عمق من صنف A مع معدل ارتشاح متوسط بعد ترطب التربة
C	طبقة طينية محددة العمق مع معدل ارتشاح دون الوسط قبل وصول التربة إلى حالة التشبع
D	طبقة طينية ذات نسبة انتفاخ عالية مع وجود طبقة ضحلة مع التربة الناعمة الغرينية في السطح

المصدر: (Chwo, et al, 1988, p 149).

جدول (١١) تصنيف المجموعة الهيدرولوجية للتربة عام ٢٠٢٣م

الوصف	الرمز	المجموعة الهيدرولوجية للتربة	المساحة (كم٢)
كالسي أورثيدز: تربة طميية عميقة، انحدارها من صفر إلى ٣٪	١٠	A	٦٢٩٣,٠٨
كالسي أرثيدز: تربة طميية حصوية عميقة، انحدارها من صفر إلى ٥٪	١٤	A	
كالسي أرثيدز: تربة طميية حصوية، عميقة، ملحية، انحدارها من صفر إلى ٥٪	١٥	A	
جبسي أورثيدز – كالسي أورثيدز: سهول تربتها طميية بها طبقة جبسية صماء وتربة طميية عميقة	٣٢	A	
بروزات صخرية – توري أورثنتس: جبال	٣٩	A	
توري سامنتس: سهول تربتها رملية، عميقة، وكثبان رملية ارتفاعها أقل من ٢ م	٤٩	A	
توري سامنتس: كثبان رملية يتراوح ارتفاعها من ٢ إلى ١٠ متر	٥١	A	
توري سامنتس: كثبان رملية أكثر من ١٠ متر	٥٢	A	
توري سامنتس – بروزات صخرية: سهول تربتها رملية عميقة وتلال صخرية	٥٥	A	
كالسي أرثيدز – بروزات صخرية: تربة طميية عميقة مستوية تقريبًا وانحدارها خفيف مع تلال صخرية	١٨	B	٢٣٧١٣,٢٤
كالسي أرثيدز – بروزات صخرية: سهول ذات تربة طميية عميقة ومرتفعات صغيرة وتلال صخرية	١٩	B	
كالسي أرثيدز – توري أورثنتس: تربة طميية ورملية عميقة، انحدارها من صفر إلى ٥٪ معرضة للغمر	٢٢	B	
كالسي أرثيدز وتوري أورثنتس – بروزات صخرية: تربة طميية وطميية حصوية، ضحلة ومستوية تقريبًا وخفيفة الانحدار ومساحات صخرية مستوية تقريبًا إلى شديدة الانحدار	٢٣	B	
كالسي أرثيدز – توري سامنتس: تربة رملية عميقة، انحدارها من صفر إلى ٣٪	٢٥	B	
بروزات صخرية – توري أوثنتس وكالسي أورثيدز: صخور وتربة طميية حصوية، ضحلة انحدارها من صفر إلى ١٥٪	٤٠	B	
بروزات صخرية – توري سامنتس: تلال صخرية وتربة رملية ضحلة ومتوسطة العمق	٤٢	B	
توري أورثنتس – كالسي أورثيدز – بروزات صخرية: تربة طميية وطميية حصوية، ضحلة ومتوسطة العمق وصخور، انحدارها من ١٥ إلى ٤٠٪	٤٥	B	
توري أورثنتس وكالسي أورثيدز – بروزات صخرية: جرف	٤٦	B	

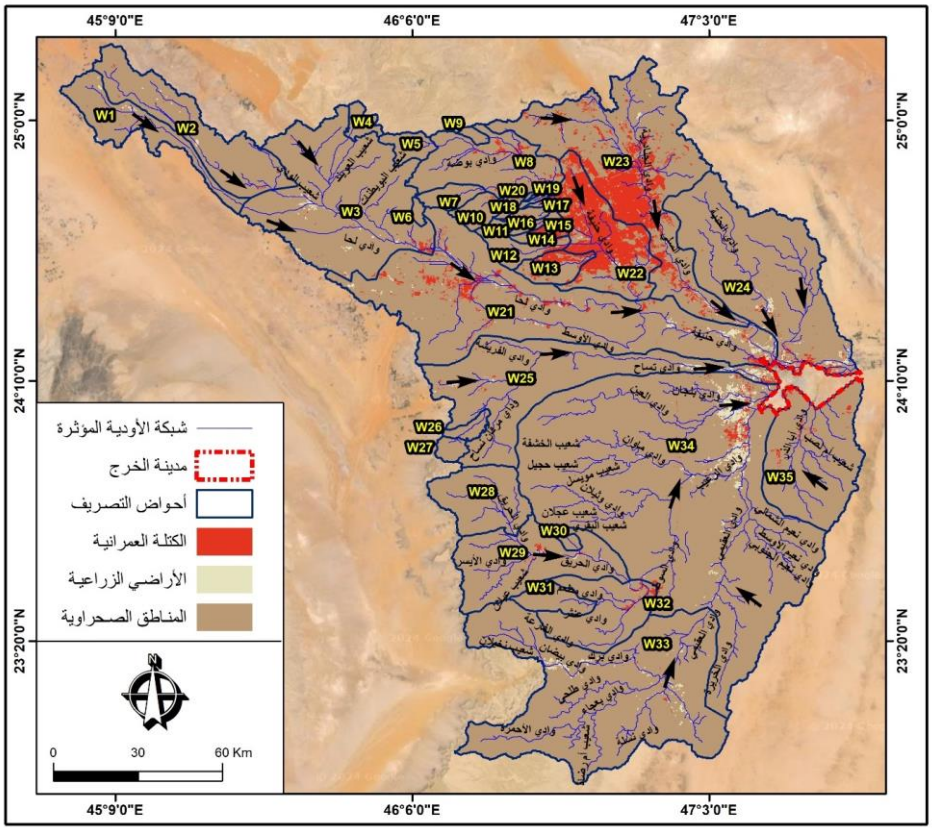
المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الخرائط التربة والجيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠

تتألف أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج من ثلاثة أنماط رئيسة لاستخدامات الأرض، كما هو موضح بالشكل (١٠)، يتمثل النمط الأول في المناطق العمرانية التي تبلغ مساحتها نحو ١٥٠٧.٣٢ كم^{٢} بنسبة ٥.٠٢٪، وتُعدُّ الأراضي الزراعية النمط الثاني من استخدامات الأرض بمساحة نحو ٤٢٧.٠٦ كم^{٢} بنسبة ١.٤٢٪، أما النمط الثالث والأخير، فيتمثل في المناطق الصحراوية التي تنتشر في جميع أرجاء الحوض بمساحة نحو ٢٨٠٧١.٩٤ كم^{٢} بنسبة ٩٣.٥٦٪، وتتراوح قيم رقم المنحنى لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج ما بين ٦٤.٠٧ و٨٥، شكل (١١)، الجداول (١٢،١٣).

جدول (١٢) رقم المنحنى حسب أنواع استعمال الأراضي عام ٢٠٢٣م

استخدام الأرض	الوصف	المساحة (كم^{٢})	المجموعة الهيدرولوجية للتربة	رقم المنحنى
أرض تطوير عمراني	سكني	١٥٠٧,٣٢	A	٧٧
			B	٨٥
أرض خالية قاحلة	صحراوي	٢٨٠٧١,٩٤	A	٦٣
			B	٧٧
الأراضي الزراعية	زراعي	٤٢٧,٠٦	A	٥٥
			B	٦٢

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على خريطة استخدامات الأرض، وخريطة المجموعة الهيدرولوجية للتربة.



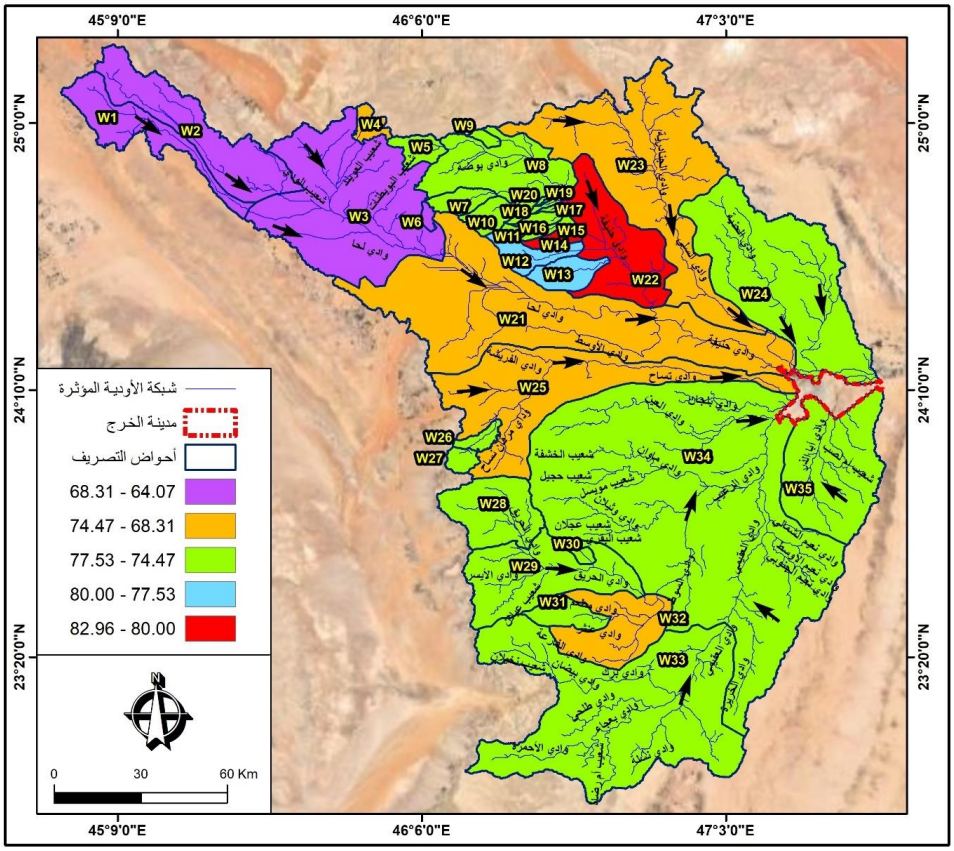
شكل (١٠) استخدامات الأرض لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على تصنيف الصور الفضائية Landsat8/OLI لعام ٢٠٢٣م باستخدام برنامج ERDAS Imagine

جدول (١٣) رقم المنحنى لأحواض التجميع حسب توزع التربة واستعمال الأراضي عام ٢٠٢٣م

الحوض	مساحة الحوض (كم٢)	أرض تطوير عمراني (كم٢)		أرض خالية قاحلة (كم٢)		أراضي زراعية (كم٢)		رقم المنحنى
		A	B	A	B	A	B	
W1	٥٥٨,٠٧	٠	٠	٣٩٢,٢٢	١١٧,١٦	٣٢,٥٢	١٦,١٧	٦٥,٤٤
W2	٩٧٧,٥١	٠,٢	٠	٨٦٤,٤	١١٢,٤١	٠,٥	٠	٦٤,٦١
W3	٢٢١٨,٧٩	١٦,٢	٠	٢٠١٢,٧٨	١٦٦,٤١	٢٣,٤	٠	٦٤,٠٧
W4	٩٥,١٣	٠	٠	٤٢,٣٣	٥٢,٨	٠	٠	٧٠,٧٧
W5	١٣٤,٤١	٠	٠	٠	١٣٤,٤١	٠	٠	٧٧
W6	٣٢,١٥	٠	٠	١٩,٩٧	١٢,١٩	٠	٠	٦٨,٣١
W7	١٣٢,٢١	٠	٠	٠	١٣٢,٢١	٠	٠	٧٧
W8	٨٦٧,٤٧	٠	٣٧,٨	٠	٨٢٦,٠٧	٠	٣,٦	٧٧,٢٩
W9	٣٥,٤٩	٠	٠	٠	٣٥,٤٩	٠	٠	٧٧
W10	١٤٠,٣٨	٠	٢,٧	٠	١٣٧,٦٨	٠	٠	٧٧,١٥
W11	٣٤,٨٧	٠	٠	٠	٣٤,٨٧	٠	٠	٧٧
W12	٢٠١,٤٨	٠	٣٥,٤	٠	١٦٦,٠٨	٠	٠	٧٨,٤١
W13	٢٠٤,٦	٠	٧٦,٧٣	٠	١٢٧,٨٨	٠	٠	٨٠
W14	٧٩,٩٤	٠	٥٩,٥٥	٠	٢٠,٣٨	٠	٠	٨٢,٩٦
W15	٦٤,٨	٠	٠,٢٥	٠	٦٤,٥٥	٠	٠	٧٧,٠٣
W16	٦١,٠٧	٠	٠	٠	٦١,٠٧	٠	٠	٧٧
W17	١٥,٣٣	٠	٠,٣٥	٠	١٤,٩٨	٠	٠	٧٧,١٨
W18	١٨,٨١	٠	٠,٤٥	٠	١٨,٣٦	٠	٠	٧٧,١٩
W19	٣,٥٣	٠	٠,٢٣	٠	٣,٢٩	٠	٠	٧٧,٥٣
W20	٩,٥٥	٠	٠	٠	٩,٥٥	٠	٠	٧٧
W21	٣١٦٤,٨٩	٧٢,٤٥	٧٦,٠٥	١٠٨٠,٥٩	١٨٦٣,٨	٦٨,٨٥	٣,١٥	٧١,٩٢
W22	٩٤٣,٩٧	٠	٥١٧,٥	٠	٤١٣,٨٧	١٢,٦	٠	٨١,٠٩
W23	٢٣٨٤,٥٤	٢٣٨,٤٥	٢٠٥,٠٧	٥٧٢,٢٩	١٣٤٤,٨٨	٢٣,٨٥	٠	٧٤,١١
W24	١٨٨٦,١٣	٠	٥,٤	٠	١٨٧١,٧٣	٠	٩	٧٦,٩٥
W25	١٧٩١	٦٢,٦٩	٠	٣١٣,٤٣	١٣٨٨,٠٣	٢٦,٨٧	٠	٧٤,٢٢
W26	٧٦,٨٤	٠	٠	٠	٧٦,٨٤	٠	٠	٧٧
W27	٧٤,٦٢	٠	٠	٠	٧٤,٦٢	٠	٠	٧٧
W28	٦٠٦,٠٧	٠	٠	٠	٦٠٦,٠٧	٠	٠	٧٧
W29	١٠٤٢,٨٣	٠	٩	٠	١٠٢٣,٩٣	٠	٩,٩	٧٦,٩٣
W30	٥٤,٥٣	٠	٠	٠	٥٤,٥٣	٠	٠	٧٧
W31	٢٠٣,٢	٠	٠	٠	٢٠٣,٢	٠	٠	٧٧
W32	٦٦٣,٠١	٠	٩,٩٥	٩٩,٤٥	٥٣٧,٠٤	١٦,٥٨	٠	٧٤,٤٧
W33	٣٢٩٤,٦١	٠	١٩,٨	٠	٣٢٧٢,١١	٠	٢,٧	٧٧,٠٤
W34	٦٥٩٧,٥	٤٦١,٩٣	٦٦,٠٩	٠	٦٠٦٩,٤٨	٠	٠	٧٧,٠٨
W35	١٣٣٧	٧,٦٣	٢٨,٣٧	٠,٣٧	١٢٩٨,٨٣	٠	١,٨	٧٧,١٥

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS).



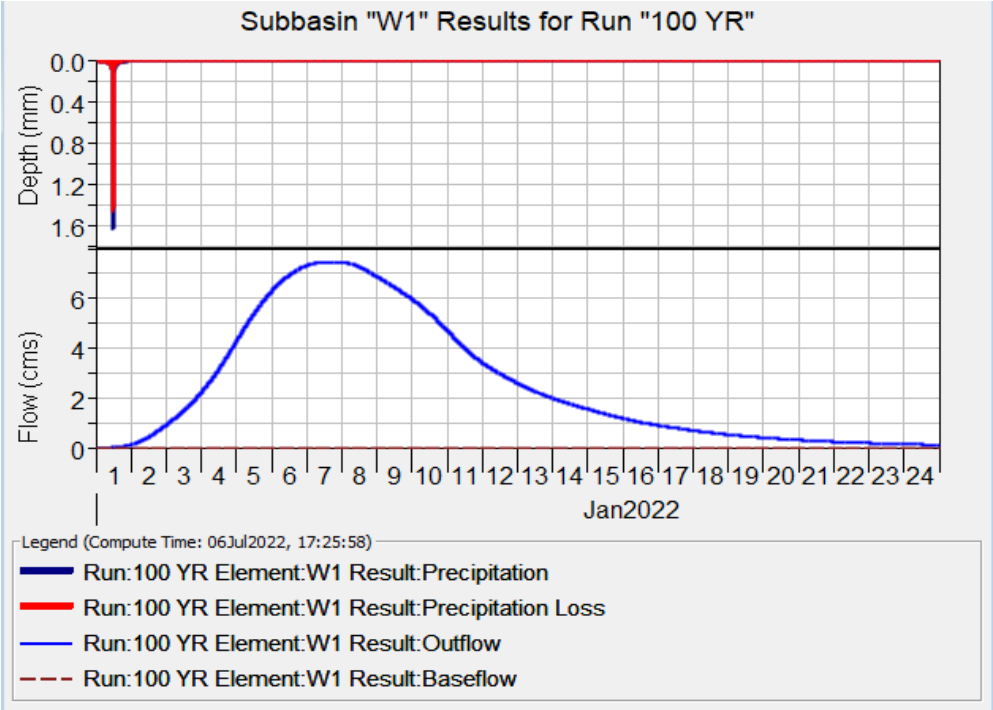
شكل (١١) رقم المنحنى لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية (WMS)

٩-٥ خصائص مياه السيول:

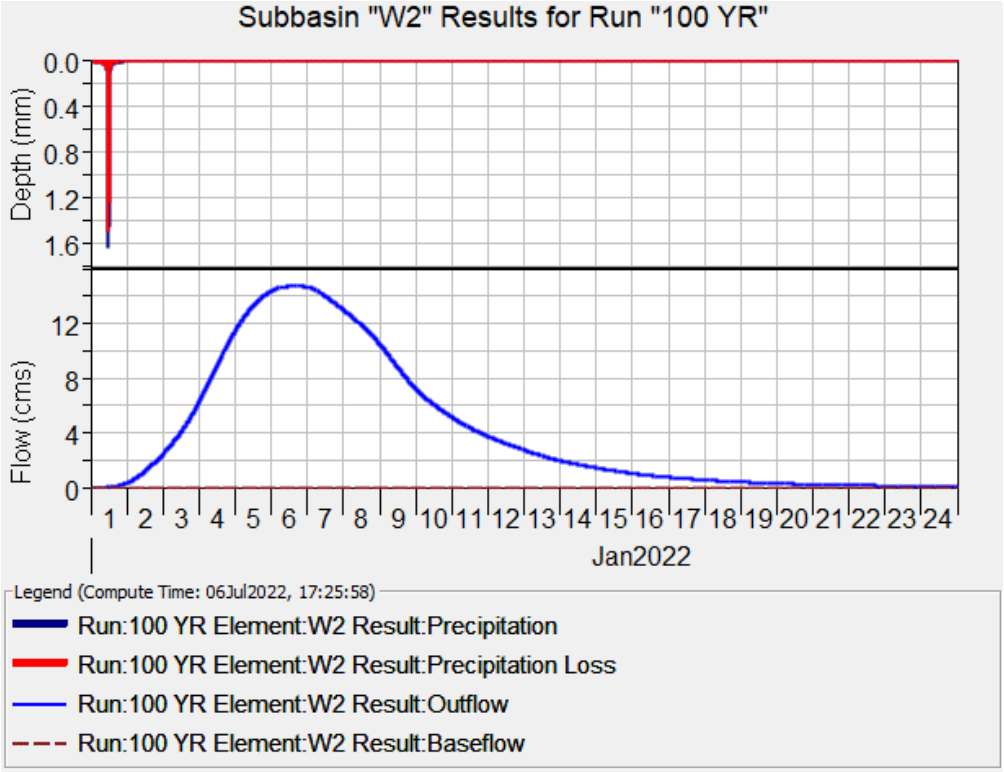
تم الاعتماد على النموذج الهيدرولوجي ذي النظام الهندسي (HEC-HMS)، وهو نموذج بسيط ويؤسس علاقة بين هطول الأمطار وعملية الجريان السطحي، ويمكن تطبيق النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS) لحل معظم المشكلات الهيدرولوجية المتعلقة بالسيول، كما يمكن دمج المخرجات الناتجة من برنامج (HEC-HMS) مع النمذجة الهيدروليكية لبرنامج (HEC -RAS) لرسم خرائط نطاق الغمر لمياه السيول وعمقها وسرعتها (Natarajan and Radhakrishnan, 2019, p 1868).

تبين من تحليل هيدروجراف مياه السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج الجدول رقم (١٤): أن حجم السيول يتراوح ما بين ٧٧١٧٠ – ١٤٠٤٠٨٣٠٠ م^{٣} خلال أوقات الرجوع (١٠ – ١٠٠ سنة)، وقد بلغت قيمة التدفق الأقصى للسيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج ما بين ٤.٣٢ – ٢٥٠.٧٩م^{٣}/ث خلال وقت الرجوع المختلفة (١٠ – ١٠٠ سنة)، والأشكال (١٣،١٢) نموذج لهيدرجراف مياة السيول توضح خصائص مياه السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج باستخدام النموذج الهيدرولوجي (HEC-HMS).



شكل (١٢) هيدروجراف مياه السيول للحوض رقم (W1) لأوقات الرجوع ١٠٠ سنة عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النموذج الهيدرولوجي ذي النظام الهندسي (HEC-HMS)



شكل (١٣) هيدروجراف مياه السيول للحوض رقم (W2) لأوقات الرجوع ١٠٠ سنة عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النموذج الهيدرولوجي ذي النظام الهندسي (HEC-HMS)

جدول (١٤) خصائص مياه السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج للأزمنة التكرارية المختلفة عام ٢٠٢٣م

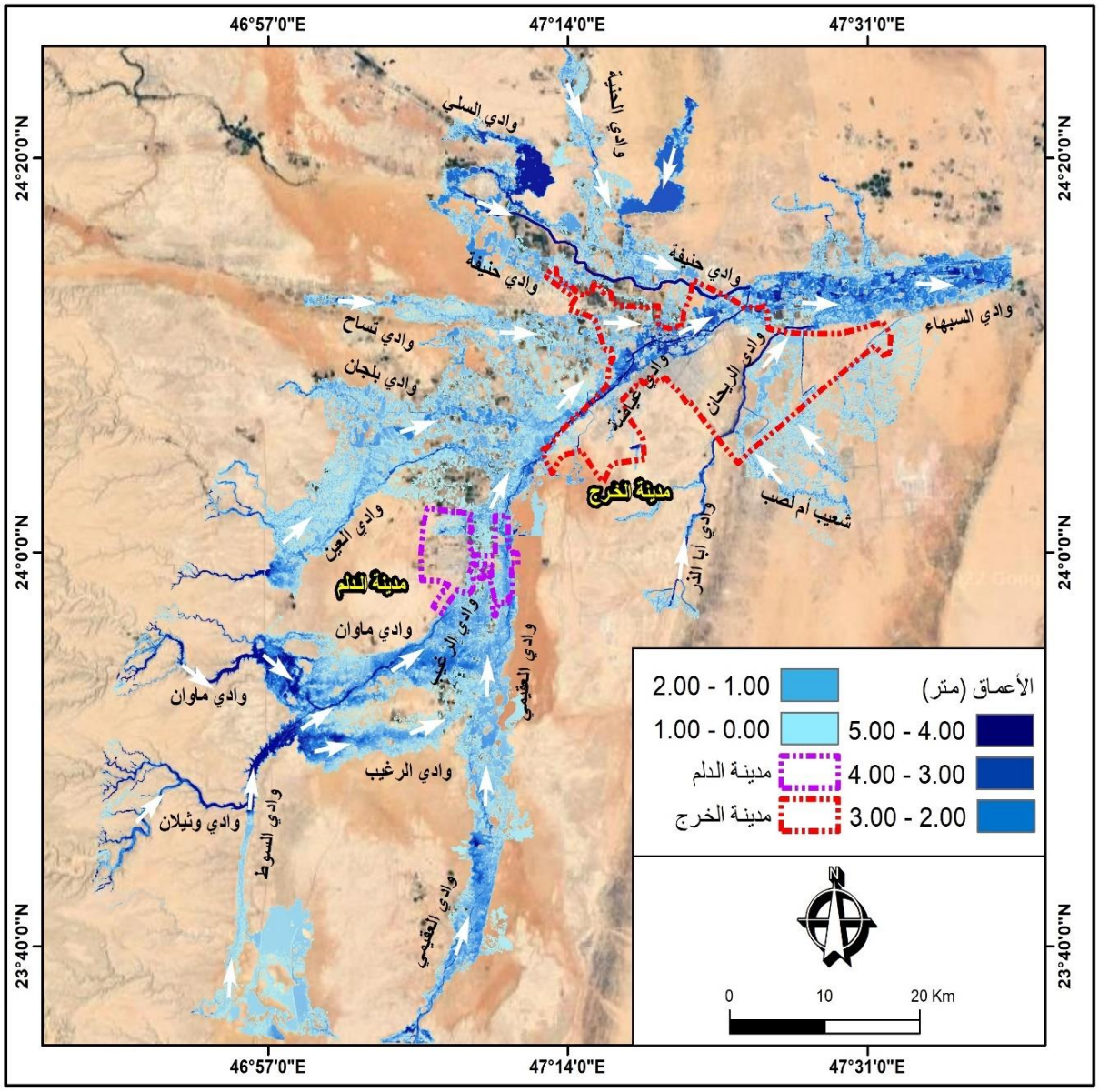
الأحواض	تدفق الذروة (م³/ث)				حجم السيول (١٠٠٠م³)			
	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
W1	٠,٧١	٢,١	٤,٨٢	٧,٤٥	٤٩٤,٥٦	١٤٦٦,١	٣٣٦٥,٤٣	٥١٩٧,٤١
W2	١,٢٢	٣,٩٣	٩,٣٨	١٤,٧١	٧٠٤,٥٣	٢٢٧١,٥٤	٥٤٢٣,٦٢	٨٥٠٤,٣٢
W3	٣,٦٧	١٢,٥٩	٣٠,٩	٤٨,٩٦	١٣٧٧,٤٤	٤٧٢٨,٢٣	١١٦٠٧,٧٨	١٨٣٩٣,٢١
W4	٣,٣١	٧,٠٣	١٣,٥٤	١٩,٤٩	٢٣١,١٩	٤٩٢,٢٧	٩٤١,٥٣	١٣٤٧,٠٥
W5	٩,٧٧	١٧,٢٥	٢٩,١٥	٣٩,٣٨	٧٢١,١٤	١٢٦٤,٩٢	٢١١٩,١٥	٢٨٤٨,٧٥
W6	١,٢٤	٣,٣٥	٧,٦١	١١,٧٩	٥٢,٠١	١٢٥,٠٤	٢٥٧,١٥	٣٧٩,٧٣
W7	١١,٠٤	١٩,٥٨	٣٣,٢٣	٤٥,٠١	٧٠٩,٣٧	١٢٤٤,٢٧	٢٠٨٤,٥٧	٢٨٠٢,٢٥
W8	٣٠,١٥	٥٢,٥٨	٨٧,٧٢	١١٧,٦٩	٤٨٠٠,٩	٨٣٦٥,٤٤	١٣٩٤٥,٩٣	١٨٧٠١,٦٦
W9	٤,٠٢	٧,٣	١٢,٦٢	١٧,٢٥	١٩٠,٤٣	٣٣٤,٠٢	٥٥٩,٦	٧٥٢,٢٦
W10	١٣,١٦	٢٣,٣٨	٣٩,٧٧	٥٣,٩٦	٧٦٥,٩١	١٣٣٨,٦٤	٢٢٣٦,٧	٣٠٠٢,٨١
W11	٥,٦٩	١٠,٧١	١٩	٢٦,٢٧	١٨٧,١١	٣٢٨,٢	٥٤٩,٨٤	٧٣٩,١٤
W12	١٤,٩٣	٢٥,٥٢	٤١,٩٨	٥٥,٩٦	١٢٥٤,٨٨	٢١٣٣,٣٤	٣٤٩٠,٨٦	٤٦٣٨,٠٣
W13	٢٢,٢٣	٣٦,٩٨	٥٩,٦٤	٧٨,٧	١٤٩٥,٩١	٢٤٦٢,٧٢	٣٩٣٠,٨٨	٥١٥٧,٣٤
W14	١٤,٩١	٢٣,٧٥	٣٦,٩٥	٤٧,٨٣	٧٧١,٤	١٢٠٥,٠٨	١٨٤٤,٢٣	٢٣٦٧,٥٤
W15	٦,٠٥	١٠,٧٩	١٨,٤١	٢٥,٠١	٣٤٨,٨٥	٦١١,٤٥	١٠٢٣,٨٤	١٣٧٥,٩٦
W16	٦,٢٩	١١,٣٢	١٩,٤٥	٢٦,٥٢	٣٢٧,٦٥	٥٧٤,٧٢	٩٦٢,٨٥	١٢٩٤,٣٤
W17	٢,٥١	٤,٧	٨,٢٩	١١,٤٣	٨٣,٩١	١٤٦,٥٦	٢٤٤,٧٥	٣٢٨,٥
W18	٢,٦٩	٤,٩٦	٨,٦٧	١١,٩١	١٠٣,٠٤	١٧٩,٩٤	٣٠٠,٤٧	٤٠٣,٢٦
W19	٠,٩	١,٧٤	٣,١١	٤,٣٢	٢٠,٠٥	٣٤,٧٤	٥٧,٦٧	٧٧,١٧
W20	١,٥٤	٢,٩	٥,١٤	٧,١١	٥١,٢٥	٨٩,٨٩	١٥٠,٦	٢٠٢,٤٥
W21	١٢,١	٢٤,٦٣	٤٥,٧٦	٦٤,٦١	٩٠١١,٦	١٨٣٤٠,٢٩	٣٤٠٧٧,٣٢	٤٨١٢٠,٢٨
W22	٣٢,٤٩	٥٢,٤٢	٨٢,٣٥	١٠٧,١٦	٧٦٦٦,٦٤	١٢٣٦٧,٩٦	١٩٤٢٦,٤٧	٢٥٢٧٨,٣٧
W23	١٩,٩٤	٣٧,٧٤	٦٦,٧٨	٩٢,١٨	٩١٤٢,١٢	١٧٣٠٤,٠٧	٣٠٦١٩,٢٧	٤٢٢٦٤,٦٥
W24	٤٠,٨٢	٧١,٧	١٢٠,٢٥	١٦١,٧٣	١٠٠٦٦,١٧	١٧٦٧٦,٧١	٢٩٦٣٩,٤٢	٣٩٨٦٠,٤٩
W25	١٩,٧٨	٣٧,٣٢	٦٥,٨٩	٩٠,٨٥	٦٩٦٢,٥٣	١٣١٣٤,٩٩	٢٣١٨٨,٦٨	٣١٩٧٣,٠٢
W26	٦,٩٨	١٢,٤٣	٢١,١٨	٢٨,٧٧	٤١٢,٢٦	٧٢٣,١٢	١٢١١,٤٦	١٦٢٨,٥٤
W27	٩,٥٦	١٧,٥٦	٣٠,٦٣	٤٢,٠٤	٤٠٠,٣٤	٧٠٢,٢١	١١٧٦,٤٤	١٥٨١,٤٧
W28	٣٤,٥٢	٦٠,٧٧	١٠٢,٢٢	١٣٧,٧٣	٣٢٥١,٧٩	٥٧٠٣,٨	٩٥٥٥,٧٦	١٢٨٤٥,٦٦
W29	٣٢,٨٥	٥٧,٧٧	٩٦,٩٧	١٣٠,٤٩	٥٥٥٠,٧٦	٩٧٥٢,٩٩	١٦٣٦٠,٢٦	٢٢٠٠٦,٦٥
W30	٨,٢٦	١٥,٤٢	٢٧,٢١	٣٧,٥٤	٢٩٢,٥٦	٥١٣,١٦	٨٥٩,٧٢	١١٥٥,٧
W31	١٧,٣٦	٣٠,٨٣	٥٢,٣٦	٧٠,٩٨	١٠٩٠,٢٤	١٩١٢,٣٣	٣٢٠٣,٧٨	٤٣٠٦,٨
W32	٢٢,٩٦	٤٣,٠٨	٧٥,٨٥	١٠٤,٤٧	٢٦٥٧,٨٣	٤٩٧٧,٧٤	٨٧٤٣,٢٢	١٢٠٢٦,٢
W33	٦٣,٥٨	١١١,٤٤	١٨٦,٦	٢٥٠,٧٩	١٧٧٤٦,٣١	٣١١٠١,٧٣	٥٢٠٧٣,١٢	٦٩٩٧٩,٥٥
W34	٦٠,٥٤	١٠٥,٩٩	١٧٧,٣٢	٢٣٨,٢١	٣٥٦٨٢,٨٤	٦٢٤٧٣,٤	١٠٤٥١٩,٣٩	١٤٠٤٠٨,٢٩
W35	٢٧,٣٩	٤٧,٨٨	٨٠,٠٣	١٠٧,٤٦	٧٢٨٨,٣٢	١٢٧٤٠,٧١	٢١٢٩١,٠٣	٢٨٥٨٥,٥٢

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النموذج الهيدرولوجي ذى النظام الهندسي (HEC-HMS).

٩-٦. خصائص النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد:

تعد النمذجة الهيدروليكية في الوقت الحاضر واحدة من أكثر الأدوات استخدامًا لرسم خرائط أخطار السيول، حيث يتم استخدام العديد من أدوات النمذجة الهيدروليكية، من أهمها: FLO-2D، SRH-2D، IBER، LISFLOODFP، HEC-RAS، FLORA-2D، TUFLOW، FLOOD MIKE، XP-SWMM، River-Flow2D، Telemac، (Knutson, et al, 2010, p 158)، كما يمكن استخدامها في الدراسات مختلفة لتحليل السيول، حيث تسمح النمذجة الهيدروليكية لبرنامج (HEC-RAS) بتحليل مجموعة متنوعة من المشكلات بما في ذلك رسم الخرائط والتنبؤ بالمناطق المعرضة للسيول، ونمذجة السيول السابقة، وتأثير سيناريوهات التنمية المختلفة (Iroume, et al, 2022, p 2).

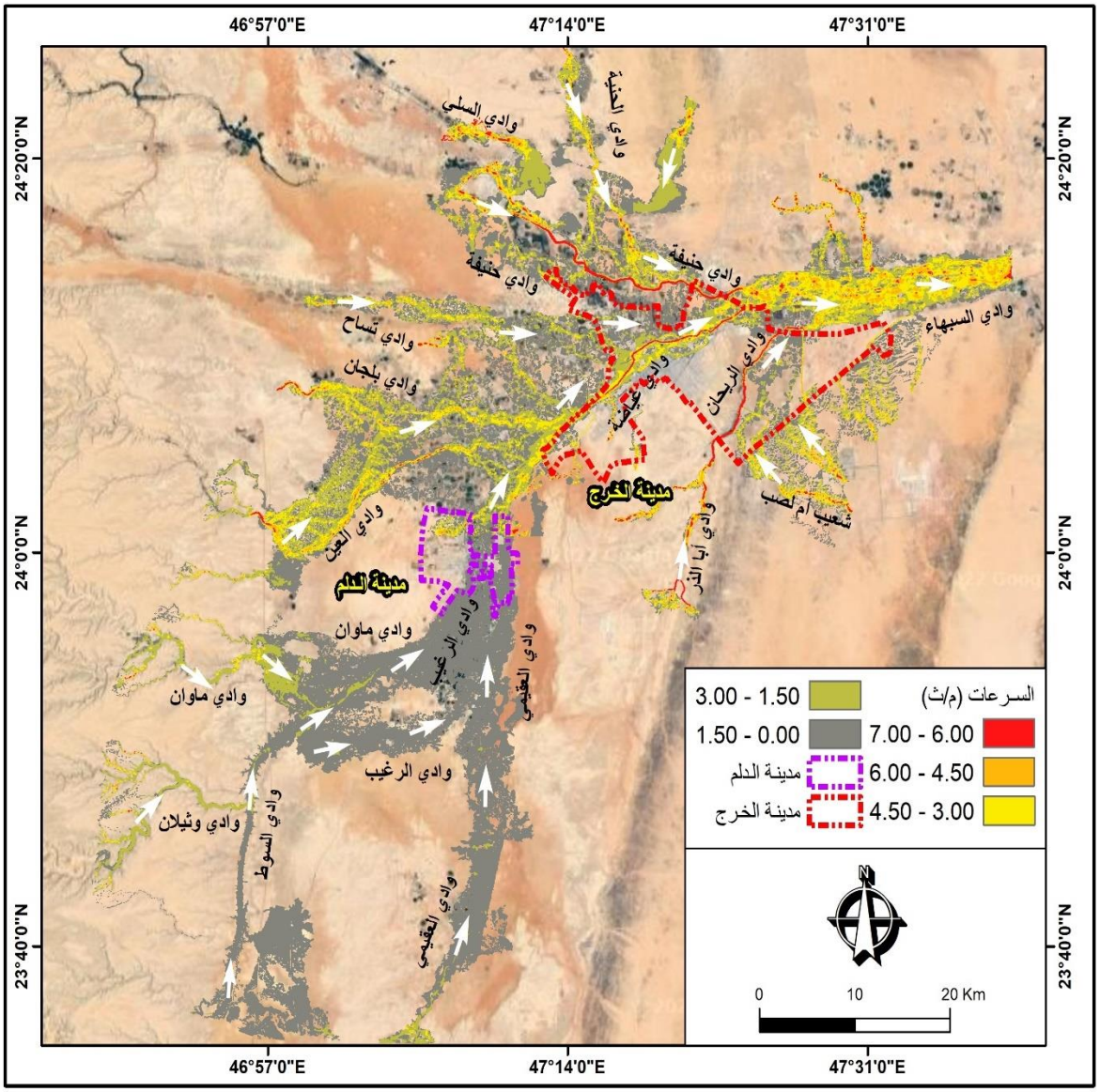
وقد اعتمدت عملية بناء وتطوير نمذجة ومحاكاة وتقييم وإدارة خريطة أخطار السيول في المناطق العمرانية المعرضة للغمر، واستنتاج خرائط عمق وسرعة ونطاق الغمر مياه السيول على إدخال تدفق الذروة المختلفة للأدوية المؤثرة على مدينة الخرج خلال أقصى عاصفة لـ ١٠٠ سنة، في صيغة سلسلة زمنية، ومن أهم المدخلات الأخرى هي حالات الحدود (Boundary Condition) في المنطقة المراد دراستها، التي يبدأ البرنامج بالحساب عن طريقها، وإدخال المدخلات الطبوغرافية والتي تكون عادة في صغية نقطية ممثلة في بيانات نموذج الارتفاع الرقمي ١٠ متر، هذا إلى جانب توزيع معامل الخشونة (Manning) الخاص بكل منطقة، حيث إن هذا هو المعامل الأساسي الذي يؤثر على نتائج النمذجة الهيدروليكية، ويتم رسم حدود منطقة الدراسة التي تملثها أحواض المؤثرة على منطقة الدراسة، ثم تقسيم المساحة الداخلية إلى خلايا صغيرة تعرف بالشبكة العددية، وبعد الإدخال يتم النمذجة الهيدروليكية، وتكون المخرجات في صغية Raster وتتكون هذه المخرجات من: نطاق الغمر بمياه السيول، وخصائص حركة المياه في وقت النمذجة مثل العمق والسرعة، وعند النظر إلى خريطة الأعماق التي يمثلها الشكل (١٤) فإن عمق مياه السيول يتراوح ما بين ٠.٠-٥م، وتتركز الأعماق المرتفعة (٣-٥ م) جنوب غرب وشمال وشمال شرق مدينة الخرج، حيث شكلت الأعماق المرتفعة مساحة قدرها ٦٥٥.٨٢ كم^{٢} بنسبة ٤٥.٢٣٪، في حين تركزت الأعماق المتوسطة (٢-٣ م) غرب مدينة الخرج بمساحة ٣٤٢.٩٢ كم^{٢} بنسبة ٢٣.٦٥٪، أما بالنسبة للأعماق المنخفضة (٠-٢ م) فتركزت في شرق مدينة الخرج بمساحة بلغت نحو ٤٥١.٢٣ كم^{٢} بنسبة ٣١.١٢٪.



شكل (١٤) أعماق مياه السيول للأودية المؤثرة على مدينة الخرج باستخدام برنامج (HEC-RAS) عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS)

أما عند النظر لخريطة السرعات التي يوضحها الشكل رقم (١٥) فإن سرعة مياه السيول تتراوح ما بين ٠.٠٠٠-٧.٠٠ م/ث، وقد تبين أنه تَركُّزت السرعات المرتفعة (٤.٥-٧.٠٠ م/ث) في جنوب غرب وشمال شرق مدينة الخرج، حيث شكلت مساحة السرعات المرتفعة نحو ٥٨٣.٣٢ كم^{٢} بنسبة ٤٠.٢٣٪، في حين تركزت السرعات المتوسطة (٣.٠٠-٤.٥٠ م/ث) غرب مدينة الخرج بمساحة ٤٢٨.٠٣ كم^{٢} بنسبة ٢٩.٥٢٪، أما بالنسبة للسرعات المنخفضة (٠.٠٠-٣.٠٠ م/ث) فتركزت في شرق مدينة الخرج بمساحة بلغت نحو ٤٣٨.٦٣ كم^{٢} بنسبة ٣٠.٢٥٪.



شكل (١٥) سرعات مياه السيول للأودية المؤثرة على مدينة الخرج باستخدام برنامج (HEC-RAS) عام ٢٠٢٣م

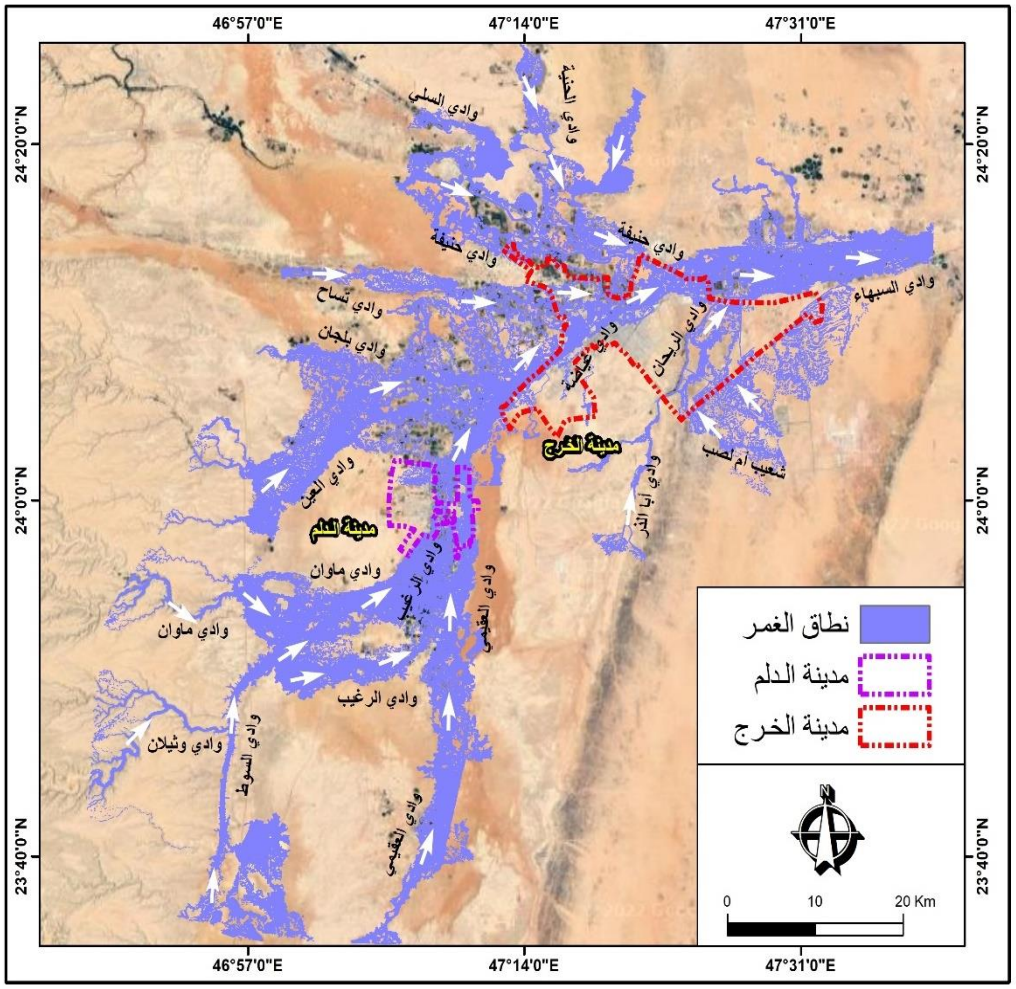
المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS)

٩-٧. خريطة أخطار السيول (نطاق الغمر):

قام الباحث بناء خرائط الخطورة وتطويرها (Risk Map)، وهي خرائط توضح درجات الخطورة المتوقعة وتصنفها في مدينة الخرج، استنادًا على مجموعة من العوامل، ويتم إنتائج خرائط الخطورة (Risk Map) عن طريق الدمج بين نوعين من الخرائط، وهما خريطة شدة السيول (Hazard Map) وخريطة الحساسية (Vulneranility Map)، ويتم إنتاج خريطة الأخطار (Hazard Map) باستخدام أعماق المياه وسرعاتها الناتجة من التحليل الهيدروليكي للأودية باستخدام برنامج (HEC-RAS)، بينما يتم إنتاج خريطة الحساسية (Vulnerability Map) عن طريق الدمج بين مجموعة من العوامل المهمة مثل

استعمالات الأراضي، وعدد السكان، والمنشآت القائمة، وهي خريطة تعبر عن أهمية المكان المعرض لخطر السيول.

وتبين من تحليل الجدول رقم (١٥) والشكل رقم (١٦) أنه قد بلغت مساحة المناطق العمرانية المعرضة للغمر في مدينة الخرج نحو ٥٦.٨٣ كم^{٢} تمثل نحو ٢١.٠٥٪ من مساحة مدينة الخرج، وتوضح الأشكال رقم (١٧،١٦) الأخطار الحالية والمتوقعة، ويتعرض نحو ٢٨.٧٧ كم^{٢} من المناطق العمرانية للغمر لأخطار مرتفعة، وتمثل نحو ٥٠.٦٢٪ في أحياء السلمانية، والبرج، والعزيزية، والمنتزه، في حين تتعرض نحو ١٣.٤٤ كم^{٢} لأخطار متوسطة تشكل نحو ٢٣.٦٥٪، في أحياء الراشدية، والبديعة، والفيحاء، أما المناطق العمرانية المعرضة للغمر التي تتعرض لأخطار منخفضة، فإنها تبلغ نحو ١٤.٦٢ كم^{٢} تمثل نحو ٢٥.٧٣٪، في أحياء الروضة، والخالدية، وقرطبة، والنهضة، والأندلس، والريان.



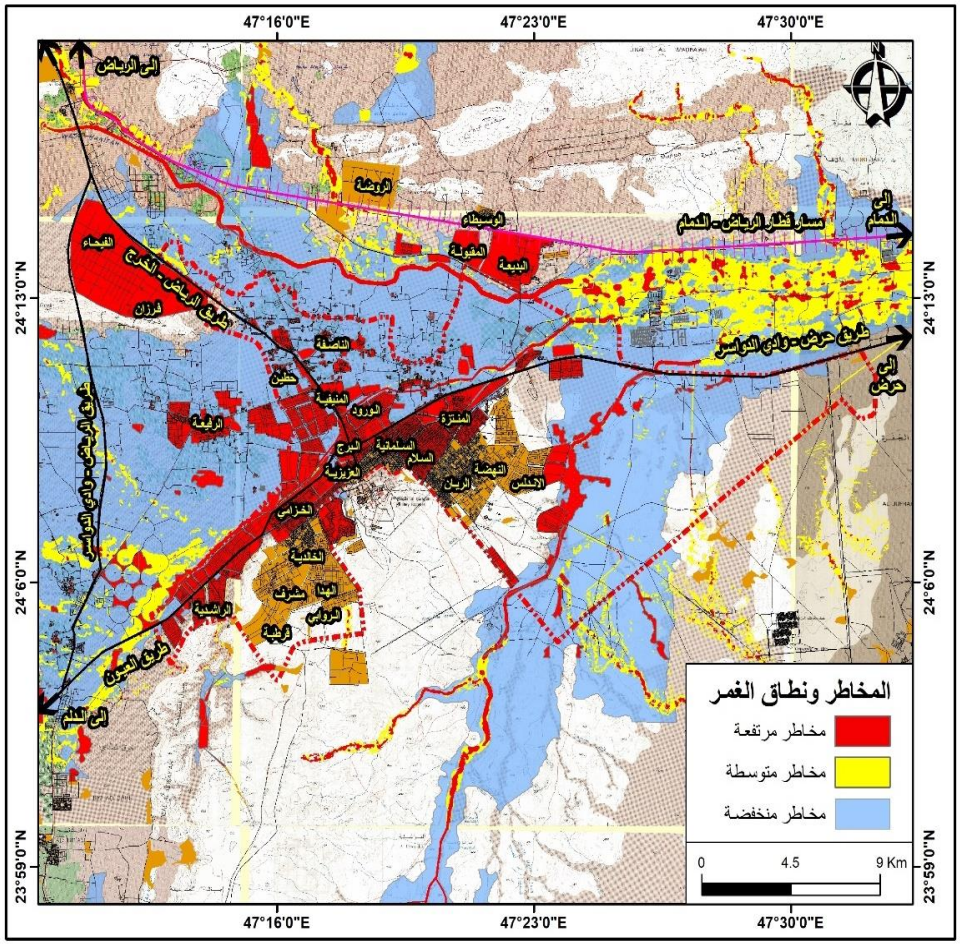
شكل (١٦) الأخطار الحالية للسيول (نطاق الغمر) المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS)

جدول (١٥) الأخطار الحالية للسيول (نطاق الغمر) المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

الأخطار الحالية للسيول	المساحة (كم٢)	%
أخطار عالية	٢٨,٧٧	٥٠,٦٢
أخطار متوسطة	١٣,٤٤	٢٣,٦٥
أخطار منخفضة	١٤,٦٢	٢٥,٧٣
الإجمالي	٥٦,٨٣	١٠٠,٠٠

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS).



شكل (١٧) الأخطار المتوقعة للسيول المؤثرة على مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS)

٩-٨. خطة الحماية والوقاية من أخطار السيول للمدينة:

٩-٨-١. منشآت درء أخطار السيول القائمة:

يُعدُّ تقييم المنشآت القائمة للسيول جزءًا رئيسًا وأساسيًّا وإستراتيجيًّا للحلول لحماية وتخفيف الأضرار الناجمة عن السيول في مدينة الخرج، ويهدف تقييم المنشآت القائمة للسيول إلى تحديد قدرتها على نقل التدفقات الناتجة وتمريرها، وقد اتضح من أعمال الرفع المساحي والزيارة الميدانية وجود عدد ١١ عبارة قائمة،

ووجود حاجز تهذيب على وادي غياضة، ويبلغ ارتفاع الحاجز نحو ٣ أمتار، ويبلغ عرض الحاجز ٩٠ مترًا، ويوضح الجدول رقم (١٦) أبعاد العبارات القائمة وخصائصها، في حين يوضح الجدول رقم (١٧) نتائج تقييم العبارات القائمة، الشكل رقم (١٨) يوضح منشآت درء أخطار السيول القائمة والمقترحة في مدينة الخرج، وتوضح الصور الفوتوغرافية رقم (٨:٤) بعض منشآت درء أخطار السيول القائمة.

جدول (١٦) خصائص العبارات القائمة وأبعادها

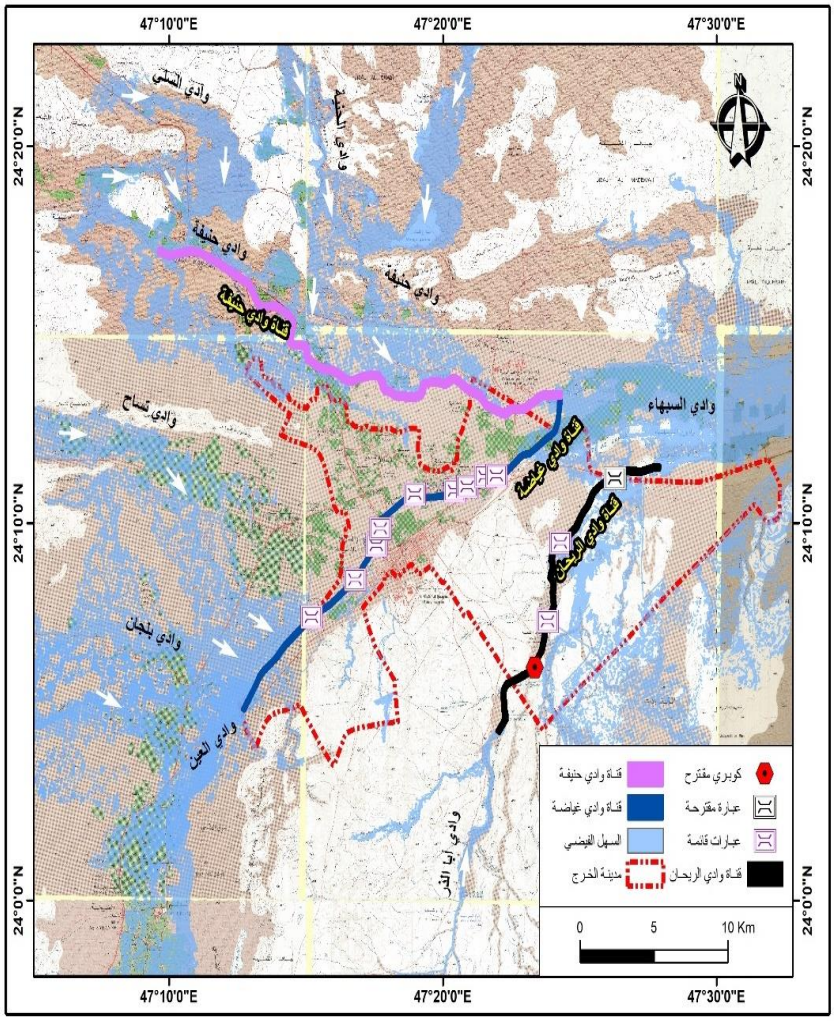
رقم العبارة	نوع العبارة	عدد الفتحات	ارتفاع الفتحة (م)	عرض الفتحة (م)	طول الفتحة (م)	الإحداثيات	
						شمال	شرق
١	صندوقية	٢٤	٢,٥	٣	٣٥	٢٦٦٩٩٢٦,١٩	٧٢٩٠١٧,٤٩
٢	صندوقية	٢٤	٢,٥	٣	٤٣	٢٦٧١٨٠٤,٧٢	٧٣١٦٩٦,٢٣
٣	صندوقية	١٢	٣	٣	٣٥	٢٦٧٣٥١١,٢٨	٧٣٢٩٧٩,٤٦
٤	صندوقية	١٣	٣	٣	٩٠	٢٦٧٤٣٣٩,٤٣	٧٣٣٢٠٩,٦٥
٥	صندوقية	٩	٣	٣	٣٠	٢٦٧٦٠٤٨,٧٣	٧٣٥٣٠٦,٤٣
٦	صندوقية	١٢	٢	٣	٤٢	٢٦٧٦٢٦٤,٨١	٧٣٧٧٧٠,٩٤
٧	صندوقية	٧	٣,٢	٣,٢	٥٠	٢٦٧٦٤٧٨,٧٢	٧٣٨٥٤٨,١٥
٨	صندوقية	١٢	٣,٢	٣,٢	٣٠	٢٦٧٦٩٨٦,٧٣	٧٣٩٦٥٩,٤٠
٩	صندوقية	١٢	٣,٢	٣,٢	٤٠	٢٦٧٧٠٥٤,١٩	٧٤٠٣٥٧,٩١
١٠	أنبوبية	١٤	قطر ٠,٨ متر		٢٣,٠	٢٦٦٩٩٧٧,٣٧	٧٤٣٦٤١,٩٢
١١	صندوقية	١١	٢	٣	٥٠	٢٦٧٣٨١٨,٢٠	٧٤٤٣٧١,٣٨

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية.

جدول (١٧) التحليل الهيدروليكي للعبارات القائمة

رقم العبارة	منسوب مدخل العبارة (م)	منسوب مخرج العبارة (م)	سرعة المياه (م/ث)	عمق المياه (م)	الحالة
١	٤١٥,٩١	٤١٥,٧٦	٤,٠٧	١,٤٣	مقبولة
٢	٤١٥,٤٣	٤١٥,٣٠	٤,٣٢	١,٣٥	مقبولة
٣	٤١٣,٧٦	٤١٣,٤٢	٥,٨٢	٢,٠١	مقبولة
٤	٤١٢,٦٥	٤١٢,٥٧	٤,٧٣	٢,٢٨	مقبولة
٥	٤١٢,٣٦	٤١٢,١٨	٥,١٨	٣,٠٠	مقبولة
٦	٤١٠,٦٠	٤١٠,٥٠	٥,٠٠	٢,٠٠	مقبولة
٧	٤٠٧,٢٠	٤٠٧,١٥	٤,٥١	٢,٠٨	مقبولة
٨	٤٠٥,٤٢	٤٠٥,٣٨	٤,٧٥	٢,٣٠	مقبولة
٩	٤٠٤,٧٥	٤٠٤,٧٠	٤,٧٥	٢,٣٠	مقبولة
١٠	٤١٥,٢٢	٤١٥,٠٠	١٤,٧٦	٠,٨٠	غير مقبولة
١١	٤٠٧,٦٦	٤٠٧,٤٥	٣,٣٠	٠,٨٧	مقبولة

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية.



شكل (١٨) منشآت درء أخطار السيول القائمة والمقترحة في مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS)، بلدية محافظة الخرج

صورة فوتوغرافية (٣) جانب من منشآت درء أخطار السيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية للباحث

صورة فوتوغرافية (٤) جانب من منشآت درء أخطار السيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية للباحث

صورة فوتوغرافية (٥) جانب من منشآت درء أخطار السيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية للباحث

صورة فوتوغرافية (٦) جانب من منشآت درء أخطار السيول القائمة (عبارات قائمة) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية للباحث

صورة فوتوغرافية (٧) جانب من منشآت درء أخطار السيول القائمة (حواجز التهذيب) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية للباحث

صورة فوتوغرافية (٨) جانب من منشآت درء أخطار السيول القائمة (حواجز التهذيب) في مدينة الخرج بتاريخ فبراير ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على الزيارة الميدانية للباحث

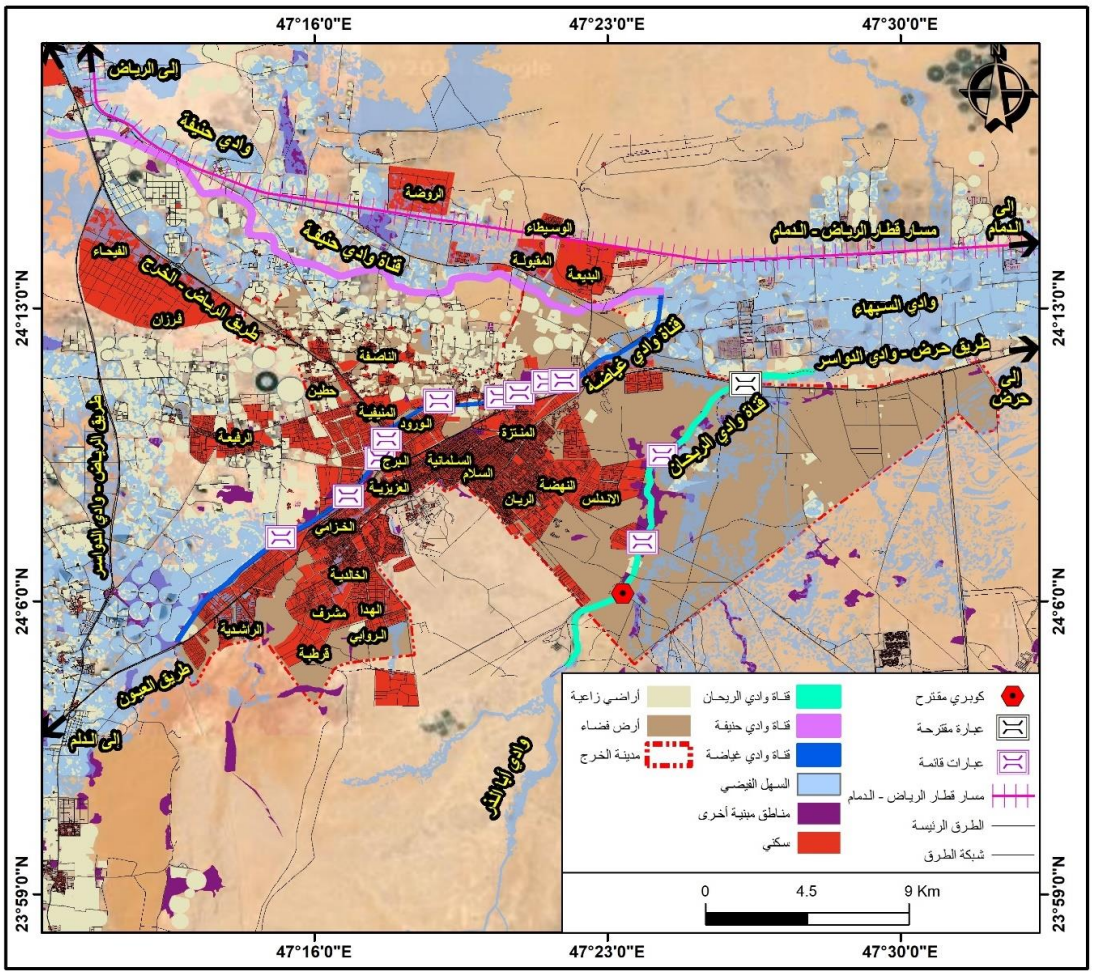
٩-٨-٢. منشآت درء أخطار السيول المقترحة:

- إنشاء وتنفيذ عدد ٣ قنوات مفتوحة: القناة الأولى على وادي حنيفة بطول ٣٠٠٨٧ مترًا، وتستوعب التدفق القادم من وادي حنيفة، البالغ ١٢٥٨.٠٩ م^{٣}/ث، وعرض القاع لها ٩٥ مترًا، وعرض القمة ١١٥ مترًا وبارتفاع ٤.٥٠ متر، أما القناة الثانية فتستوعب التدفق القادم من وادي غياضة، البالغ ٩٧٠.٢١ م^{٣}/ث، بطول ٢٧١٥٠ مترًا، وعرض القاع لها ٨٠ مترًا، وعرض القمة ٩٥ مترًا، وبارتفاع ٢.٥٠ متر، أما القناة الثالثة فهي على وادي الريحان بطول ١٩٣٠٢ متر، وتستوعب التدفق القادم من وادي الريحان البالغ ١٠٧.٤٦ م^{٣}/ث وعرض القاع لها ١٥ مترًا، وعرض القمة ٢٠ مترًا وبارتفاع ١.٥٠ متر، الشكل رقم (١٩)، والجدول (١٨).
- إنشاء عدد ١ كوبري وتنفيذه: يتم إنشاء هذا الكوبري على قناة وادي الريحان، ويبلغ عدد فتحاته ٨ فتحات وبارتفاع ٦ أمتار وعرض ٣٥ مترًا، الشكل رقم (٢٨)، والجدول (١٨).
- إنشاء عدد ١ عبارة مقترحة: توصي الدراسة بإنشاء عدد ١ عبارة أسفل طريق حرض – وادي الدواسر، المتقاطع مع قناة وادي الريحان، ويبلغ عدد الفتحات لهذه العبارات ٢٠ فتحة بعرض ٣.٥ متر وارتفاع ١ متر، الشكل رقم (٦١)، والجدول (١٨).

جدول (١٨) منشآت درء أخطار السيول المقترحة في مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

القنوات المقترحة								
القنوات المقترحة	الطول (م)	عرض القاع (م)	عرض القمة (م)	الارتفاع (م)	التدفق (م³/ث)	الإحداثيات		
						شمال		شرق
١	٢٠٠٨٧	٩٥	١١٥	٤,٥	١٢٥٨,٠٩	٢٦٨٧٥٩٨,٦٥	٢٦٨١٠٦٧,٠٣	٧١٩٤٣١,٧٥	٧٤٤٢٠٣,٢٨
٢	٢٧١٥٠	٨٠	٩٥	٢,٥	٩٧٠,٢١	٢٦٦٥٤٩٠,٨٤	٢٦٨١١٧٠,٥٥	٧٢٤٩٣٩,٣١	٧٤٤٣٥٣,٨١
٣	١٩٣٠٢	١٥	٢٠	١,٥	١٠٧,٤٦	٢٦٦٤٥٤٨,٣٨	٢٦٧٧٧١٧,٠٣	٧٤٠٨٥٢,١٣	٧٥٠٢٥٦,٠٣
الكباري المقترحة									
الكباري المقترحة	الطول (م)	عدد الفتحات	الارتفاع (م)	العرض (م)	عدد الاعمدة	الإحداثيات			
						شمال		شرق	
١	٢٠٠	٨	٦	٣٥	٧	٢٦٦٧٦٨٢,٠٢		٧٤٢٨٨٥,٨٧	
العبارات المقترحة									
العبارات المقترحة	الطول (م)	عدد الفتحات	الارتفاع (م)	العرض (م)	الإحداثيات				
					شمال		شرق		
١	٤٠	٢٠	١	٣,٥	٢٦٧٧٠٢٢,٣٦		٧٤٧٦٨٦,٢٢		

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS).



شكل (١٩) منشآت درء أخطار السيول المقترحة في مدينة الخرج عام ٢٠٢٣م

المصدر: من عمل الباحث اعتمادًا على النمذجة الهيدروليكية (HEC-RAS)

النتائج والتوصيات:

أولًا النتائج:

- تتعرض مدينة الخرج لسيول متكررة، نتيجة وقوعها في ملتقى العديد من الأودية، من أهمها: وادي حنيفة، ووادي الحنية، ووادي نساح، ووادي الرغيب، ووادي ماوان، ووادي أبا الذر، وقد أمكن تقسيم هذه الأودية المؤثرة على مدينة الخرج إلى ٣٥ حوضًا رئيسًا، وتتراوح مساحاتها ما بين ٣.٥٣ كم^{٢} للحوض رقم (W19) و٦٥٩٧.٥ كم^{٢} للحوض رقم (W34)، في حين تتراوح أطوالها ما بين ٥٠٦٥م للحوض رقم (W19) و١٧٤٢٩٤و للحوض رقم (W21)، وتتراوح ميولها ما بين ٠.٠٨٪ للحوض رقم (W1) و٢.٩٦٪ للحوض رقم (W30).
- يغطي أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج ١٢ محطة، وقد أمكن تحليل نتائج المحطات باستخدام طريقة الوزن النسبي لمحطات المطر (Precipitation Gage Weight)، ويتراوح عمق المطر خلال أوقات رجوع مختلفة (١٠–١٠٠ سنة) ما بين ٣٨.٢١–٦٧.٢٥ مم.
- تتمثل المجموعات الهيدرولوجية للتربة لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج في المجموعتين (A-B) حيث تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (A) مساحة قدرها ٦٢٩٣.٠٨ كم^{٢} بنسبة ٢٠.٩٧٪، في حين تمثل المجموعة الهيدرولوجية للتربة (B) مساحة قدرها ٢٣٧١٣.٢٤ كم^{٢} بنسبة ٧٩.٠٣٪.
- هناك ثلاث فئات لاستخدامات الأرض في أحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج، وهي المناطق العمرانية التي تبلغ مساحتها نحو ١٥٠٧.٣٢ كم^{٢} بنسبة ٥.٠٢٪، وتُعدُّ الأراضي الزراعية النمط الثاني من استخدامات الأرض بمساحة نحو ٤٢٧.٠٦ كم^{٢} بنسبة ١.٤٢٪، أما النمط الثالث والأخير فيتمثل في المناطق الصحراوية التي تنتشر في جميع أرجاء الحوض بمساحة نحو ٢٨٠٧١.٩٤ كم^{٢} بنسبة ٩٣.٥٦٪، وتتراوح قيم رقم المنحنى لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج ما بين ٦٤.٠٧ و٨٥.
- تتراوح أحجام السيول لأحواض التصريف المؤثرة على مدينة الخرج ما بين ٧٧١٧٠ – ١٤٠٤٠٨٣٠٠م^{٣}، وتتراوح تدفقاتها ما بين ٤.٣٢ – ٢٥٠.٧٩م^{٣}/ث خلال وقت الرجوع المختلفة (١٠ – ١٠٠ سنة).
- أظهرت نتائج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد أنه تتراوح الأعماق ما بين ٠.٠–٥م، وتتركز الأعماق المرتفعة (٣–٥ م) جنوب غرب وشمال وشرق مدينة الخرج، حيث شكلت الأعماق المرتفعة مساحة قدرها ٦٥٥.٨٢ كم^{٢} بنسبة ٤٥.٢٣٪، في حين تركزت الأعماق المتوسطة (٢–٣ م) غرب مدينة الخرج بمساحة ٣٤٢.٩٢ كم^{٢} بنسبة ٢٣.٦٥٪، أما بالنسبة للأعماق المنخفضة (٠–٢ م) فتركزت في شرق مدينة الخرج بمساحة بلغت نحو ٤٥١.٢٣ كم^{٢} بنسبة ٣١.١٢٪، أما فيما يخص خريطة

السرعات فتتراوح السرعات ما بين ٠.٠٠-٧.٠٠ م/ث، وقد تبين أنه تَركُّزت السرعات المرتفعة (٤.٥-٧.٠٠ م/ث) في جنوب غرب وشمال وشمال شرق مدينة الخرج، حيث شكلت مساحة السرعات المرتفعة نحو ٥٨٣.٣٢ كم^{٢} بنسبة ٤٠.٢٣٪، في حين تركزت السرعات المتوسطة (٣.٠٠-٤.٥٠ م/ث) غرب مدينة الخرج بمساحة ٤٢٨.٠٣ كم^{٢} بنسبة ٢٩.٥٢٪، أما بالنسبة للسرعات المنخفضة (٠.٠-٣.٠٠ م/ث) فتركزت في شرق مدينة الخرج بمساحة بلغت نحو ٤٣٨.٦٣ كم^{٢} بنسبة ٣٠.٢٥٪.

- بلغت مساحة المناطق العمرانية المعرضة للغمر في مدينة الخرج نحو ٥٦.٨٣ كم^{٢} تمثل نحو ٢١.٠٥٪ من مساحة مدينة الخرج، حيث يتعرض نحو ٢٨.٧٧ كم^{٢} من المناطق العمرانية للغمر لأخطار مرتفعة، وتمثل نحو ٥٠.٦٢٪ في أحياء السلمانية، والبرج، والعزيزية، والمنتزه، في حين تتعرض نحو ١٣.٤٤ كم^{٢} لأخطار متوسطة تشكل نحو ٢٣.٦٥٪، في أحياء الراشدية، والبديعة، والفيحاء، أما المناطق العمرانية المعرضة للغمر التي تتعرض لأخطار منخفضة، فإنها تبلغ نحو ١٤.٦٢ كم^{٢} تمثل نحو ٢٥.٧٣٪، في أحياء الروضة، والخالدية، وقرطبة، والنهضة، والأندلس، والريان.

ثانيًا التوصيات:

وفيما يتعلق بتوصيات الدراسات، فهناك خمس توصيات رئيسة، تتمثل في:

- التوصية الأولى: بضرورة إنشاء مجموعة من منشآت درء أخطار السيول المختلفة لحماية المدينة وتخفيف الأضرار عنها، تتمثل في: إنشاء عدد ٣ قنوات مفتوحة وتنفيذها: القناة الأولى على وادي حنيفة بطول ٣٠٠٨٧ مترًا، وتستوعب التدفق القادم من وادي حنيفة البالغ ١٢٥٨.٠٩ م^{٣}/ث، وعرض القاع لها ٩٥ مترًا، وعرض القمة ١١٥ مترًا وبارتفاع ٤.٥٠ متر، أما القناة الثانية فتستوعب التدفق القادم من وادي غياضة البالغ ٩٧٠.٢١ م^{٣}/ث، بطول ٢٧١٥٠ مترًا، وعرض القاع لها ٨٠ مترًا، وعرض القمة ٩٥ مترًا، وبارتفاع ٢.٥٠ متر، أما القناة الثالثة فهي على وادي الريحان بطول ١٩٣٠٢ متر، وتوسعب التدفق القادم من وادي الريحان البالغ ١٠٧.٤٦ م^{٣}/ث وعرض القاع لها ١٥ مترًا وعرض القمة ٢٠ مترًا بارتفاع ١.٥٠ متر، وإنشاء عدد ١ عبارة مقترحة: توصي الدراسة بإنشاء عدد ١ عبارة أسفل طريق حرض – وادي الدواسر المتقاطع مع قناة وادي الريحان، يبلغ عدد الفتحات لهذه العبارات ٢٠ فتحة بعرض ٣.٥ متر وارتفاع ١ متر، وإنشاء عدد ١ كوبري وتنفيذه: يتم إنشاء هذا الكوبري على قناة وادي الريحان، ويبلغ عدد فتحاته ٨ فتحة بارتفاع ٦ أمتار وعرض ٣٥ مترًا.
- أما التوصية الثانية فتتعلق مراعاة خرائط الأخطار والفيضان والأخذ بها فيما يتعلق بقرارة التنمية العمرانية العامة والخاصة أو أي مشروعات تتعلق بالمرافق والبنية التحتية، مع عدم تنفيذ أي أعمال تنمية مستقبلية أو تخطيط مستقبلي داخل حدود الغمر الموضح في هذه الدراسة على أن يتم إضافة حدود

الغمر، كما هي داخل أي أعمال تخطيط مستقبلي مع وجود حرم ٢٠ مترًا من كل اتجاه كنطاق أمان طبقًا لتوصيات الهيئة السعودية للمساحة الجيولوجية.

- في حين تتعلق التوصية الثالثة بتوجيه النمو العمراني المستقبلي والبنية التحتية لمنطقة الدراسة، بعيدًا عن المناطق المشار إليها في خريطة أخطار السيول التي توصلت إليها الدراسة، بأنها مناطق أخطار مرتفعة ومرتفعة جدًا، مع حظر البناء في هذه المناطق، وعدم التوسع في المناطق الزراعية، والمحافظة على مجاري الوديان وفروعها، وإزالة جميع التعديات الموجودة في حرم الوادي مع حماية مجرى الوادي من أي عوائق محتملة، مثل العقوم والمزارع والمنشآت، التي ينتج عنها منع تدفق المياه في مجرى الوادي، وأخذ ذلك في الحسبان، بالإضافة عمل المجاري المائية تنظيفها داخل المخطط العام عند التطوير المستقبلي للمنطقة.
- بينما تتعلق التوصية الرابعة بالتركيز على اعتماد نهج الدمج بين الاستعشار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية مع النمذجة الهيدروديناميكية المتمثلة في النموذج الهيرولوجي (HEC-HMS) والنموذج الهيدروليكي (HEC-RAS) في بناء هيدروجرافات مياه السيول وإنتاج النمذجة الهيدروليكية ثنائية الأبعاد لسرعة الغمر مياه السيول وعمقها ونطاقها عند دراسة معظم الأودية في البيئة الجافة وشبه الجافة بالمملكة العربية السعودية.

أما فيما يتعلق بالتوصية الخامسة فتتعلق إن عدم متابعة السدود القريبة من المناطق الحضرية بشكل مستمر قد يؤدي إلى عواقب وخيمة، نتيجة الفيضانات أو الانهيار، وتتهدد بها حياة العشرات من المواطنين، كما تتسبب في أضرار جسيمة للممتلكات، لذلك نوصي بلدية محافظة الخرج بضرورة تركيب أجهزة مراقبة لجسم السد (Dams Monitoring Instrumentation) أو تطوير إجراءات لمراقبة الظروف المحيطة بالسدود، لتحديد سلطات إدارة الطوارئ ببلدية محافظة الخرج وإخطارها على الفور بحالة الطوارئ، ويجب أن تكون أنظمة المراقبة قادرة على تقديم معلومات واضحة وموجزة وموثوقة، بحيث يمكن تنبيه سلطات الطوارئ التي لديها مسؤوليات الإنذار والإخلاء على الفور.

المصادر والمراجع

أولًا: المراجع باللغة العربية:

١- الكتب والرسائل العلمية:

- صفوح، خير (٢٠٠٠م)، الجغرافيا موضوعها ومناهجها وأهدافها، الطبعة الأولى، دار الفكر، دمشق، ص ص ١-٥٢٨.
- عبد الكريم، أشرف أحمد علي، (٢٠٢٠م)، "النمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية للسيول باستخدام برنامج نظام نمذجة الأحواض المائية ((Watershed Modeling System (WMS))، أساسيات ومفاهيم وتدريبات وتطبيقات عربية"، الطبعة الأولى، شركة العكبيان للتعليم، الرياض، ص ص ١-٤٨٤.

٢- الدوريات العلمية:

- الجعيدي، فرحان، (٢٠٠٨م)، "الخصائص الهيدرومورفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية علية في محافظة الخرج"، بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض، العدد ٨٤، ص ص ١-٥٧.
- الجعيدي، فرحان، بوروبه، محمد، (٢٠٠٧م)، "تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية"، مركز البحوث، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض، عدد ١٢١.
- الدغيري، أحمد بن عبد الله بن محمد، العوضي، حمدينة عبد القادر السيد، (٢٠١٧م)، التحليل الهيدرومورفومتري وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم، مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، الرياض، العدد ٤٧، ص ص ١٨٦ - ٢٦٠.
- كمال، أحمد عبد الحميد، محمد، هياء صالح العقيل، (٢٠٢٢ م)، استخدام النمذجة الهيدرولوجية ونظم المعلومات الجغرافية لدرء أخطار السيول وغمر المياه بمحافظة الخرج بمنطقة الرياض، مجلة العلوم الإنسانية، جامعة الملك خالد، المجلد التاسع، العدد الثاني، ص ص ٦٠-٩٢.
- بوروبة، محمد، (٢٠٠٧م)، "دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول وادي عتود بالمملكة العربية السعودية"، سلسة الإصدارات الخاصة، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، الكويت، عدد ٢١، ص ص ١-١٥٦.

- داود، جمعة محمد، مرزا، معراج نواب، الغامدي، خالد بن عبد الرحمن، (٢٠١٢م)، "تقييم أخطار الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية"، مجلة إيجي ماتكس، العدد ٣، ص ص ١-١٣.
- درويش، إبراهيم عبد الله قائد، (٢٠١٧م)، النمذجة الخرائطية لأخطار السيول في حوض وادي منى مكة المكرمة باستخدام طريقة CN، المجلة العربية لنظم المعلومات الجغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض، العدد ٨٤، ص ص ٤١-٨٣.
- عبد الكريم، أشرف أحمد علي، (٢٠٢١م)، "أخطار السيول على مسار السكة الحديدية، حوض وادي باير المؤثر على مسار قطار الشمال جنوب مدينة القريات، المملكة العربية السعودية – أنموذجًا"، المجلة الجغرافية العربية، المجلد ٥٢، العدد ٧٧، ص ص ٦١-١١٠.
- عبد الكريم، أشرف أحمد علي، الدوسري، علي عبد الله، (٢٠١٩م)، "التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والنمذجة الهيدرولوجية والهيدروليكية (HEC-HMS & HEC-RAS) عند تقدير أخطار الفيضان المحتملة بالمناطق العمرانية: أخطار سيول وادي سمين المؤثر على مدينة أملج بمنطقة تبوك – أنموذجًا"، كتيب الأبحاث، مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة المنوفية، المنوفية، ص ص ٣٥ -٧٧.
- غانم، عبد النور علي جازم، (٢٠٠٨م)، أسباب الفيضانات الجافة وشبه الجافة وأساليب السيطرة عليها: دراسة حالة فيضانات مدينة معبر في اليمن، مجلة تقنية البناء، وزارة الشؤون البلدية والقروية، الرياض، العدد ٥، ص ص ٣٠-٣٧.

٣- المصادر الرسمية والحكومية:

- التعداد العام للسكان والمساكن عام (١٤٣١ هـ) عام ٢٠١٠م، الهيئة العامة للإحصاء، ص ١-١٤.

ثانياً: المراجع باللغة غير العربية:

- *Abdel-Fattah, M.; Saber, M.; Kantoush, S.A.; Khalil, M.F.; Sumi, T.; Sefelnasr, A. (2017), "A Hydrological and Geomorphometric Approach to Understanding the Generation of Wadi Flash Floods". MDPI, Water, Vol. 9, No. 7, pp 11-27. https://doi.org/10.3390/w9070553.*
- *Abdelkarim, A. (2019), "Assessment of the Expected Flood Hazards of the Jizan-Abha Highway, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling", The Global Journal of Researches in Engineering, Vol. 19, No. 4-J, pp 26-55, https://engineering research.org/index.php/GJRE/article/view/1948.*

- *Abdelkarim, A.; Al-Alola, S.; Alogayell, H.; Mohamed, S.; Alkadi, I.; Youssef, I. (2020), "Mapping of GIS-Flood Hazard Using the Geomorphometric-Hazard Model: Case Study of the Al-Shamal Train Pathway in the City of Qurayyat, Kingdom of Saudi Arabia", MDPI, geosciences, Vol. 10, No. 9, pp 1-32, https://doi.org/10.3390/geosciences10090333.*
- *Abdelkarim, A.; Al-Alola, S.; Alogayell, H.; Mohamed, S.; Alkadi, I.; Youssef, I. (2020), "Integration of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process to Assess Flood Hazard on the Al-Shamal Train Pathway in Al-Qurayyat Region, Kingdom of Saudi Arabia", MDPI, Water, Vol. 12, No. 6, pp 1-28, https://doi.org/10.3390/w12061702.*
- *Abdelkarim, A.; Gaber, A. (2019), "Flood Risk Assessment of the Wadi Nu'man Basin, Mecca, Saudi Arabia (During the Period, 1988–2019) Based on the Integration of Geomatics and Hydraulic Modeling: A Case Study", MDPI, Water, Vol. 11, No. 9, pp 1-32. https://doi.org/10.3390/w11091887.*
- *Abdelkarim, A.; Gaber, A.; Alkadi, I.; Alogayell, H. (2019), "Integrating Remote Sensing and Hydrologic Modeling to Assess the Impact of Land-Use Changes on the Increase of Flood Risk: A Case Study of the Riyadh–Dammam Train Track, Saudi Arabia", MDPI, Sustainability, Vol. 11, No. 21, pp 1-32. https://doi.org/10.3390/su11216003.*
- *Abdelkarim, A.; Gaber, A.; Youssef, A.; Pradhan, B. (2019), "Flood Hazard Assessment of the Urban Area of Tabuk City, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling", MDPI, Sensors, Vol. 19, No. 5, pp 1-23. https://doi.org/10.3390/s19051024.*
- *Abdulrazzak, M.; Elfeki, A.; Kamis, A.; Kassab, M.; Alamri, A.; Chaabani, A.; Noor, K. (2019), "Flash Flood Risk Assessment in Urban Arid Environment: Case Study of Taibah and Islamic Universities' Campuses, Medina, Kingdom of Saudi Arabia", Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol. 10, Issue 1, pp 780-796, https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1545705.*
- *Alabbad, Y.; Demir, I. (2022). "Urban Flood Impact Assessment and Hazard Vulnerability Analysis: Iowa Case Study". Earth Arxiv., Vol. 3051, pp 1-26. https://doi.org/10.31223/X5C919.*
- *AlAhmadi, F. (2005), "Rainfall-Runoff Modeling in Arid Regions Using Geographic Information System and Remote Sensing: Case Study; Western Region of Saudi Arabia", Dep. of Hydrology and Water Resources Management, King Abdul-Aziz University, pp 1-17*
- *AlAhmadi, F. (2017), "Optimum Parameter Estimation in Flash Flood Modeling for Upper Wadi Al lith, Western Saudi Arabia", 3rd International Symposiumon Flash Floods in Wadi Systems, Muscat, pp 1-13.*
- *AlAhmadi, F.; Abd Rahman, N.; Taher, S.; Nasir, K. (2016), "Arid Hydrological Modeling at Wadi AL Aqiq, Madinah, Saudi Arabia". Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), Vol. 78, Issue 1, pp 51-58, https://doi.org/10.11113/jt.v78.4516.*
- *AlAhmadi, F.; Subyani, A. (2011), "Rainfall-Runoff Modeling in The Al-Medina Area of Western Saudi Arabia", Journal of Environmental Hydrology, Vol. 19, pp 1-13.*
- *Ali, A.S.; Tariq, B. (2001), "Physiographical and Hydrological Analysis of Yalamlam Basin, Makkah Al-Mukarramah Area", JKAU: Earth Sci., Vol. 13, pp 151-177.*

- *Al-Zahrani, M.; Al-Areeq, A.; Sharif, H. (2017), "Estimating Urban Flooding Potential Near the Outlet of An Arid Catchment in Saudi Arabia", Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol. 8, Issue 2, pp 672–688, https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1255668.*
- *Anderson, M.; Chen, Z.; Kavvas, L.; Feldman, A. (2002), "Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for the Prediction of Watershed Runoff", J. Hydrol. Eng., Vol. 7, Issue 4, pp 20-40. https://doi.org/ 10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(312).*
- *Bajabaa, S.; Masoud, M.; Al-Amri, N. (2013), "Flash Flood Hazard Mapping Based on Quantitative Hydrology, Geomorphology and GIS Techniques (Case Study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia)", Arabian Journal of Geosciences, Vol. 7, pp 2469–2481, https://doi.org/10.1007/s12517-013-0941-2.*
- *Chwo, T.; Maidment D. Mays L. (1988), "Applied Hydrology" McGraw-Hill, International Edition, pp 1-294.*
- *Faisal, N.; Gaffar, A. (2012), "Development of Pakistan's New Area Weighted Rainfall Using Thiessen Polygon Method", Pakistan Journal of Meteorology, Vol. 9, Issue 17, pp 107-116.*
- *Farhan, Y.; Ayed, A. (2017), "Assessment of Flash-Flood Hazard in Arid Watersheds of Jordan", Journal of Geographic Information System, Vol. 9, No. 6, pp 717-751, https://doi.org/10.4236/jgis.2017.96045.*
- *Feldman, A. (2000), "Hydrologic modeling system HECHMS: technical reference manual". USACE (United States Army Corps of Engineers). pp 1-148.*
- *Fernandez, S.; Lutz, A. (2010), "Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis". Eng. Geol., Vol. 111, Issue 1-4, pp 90–98. https://doi.org/10.1016/j.enggeo. 2009.12.006.*
- *Iroume, J.; Onguéné, R.; Koffi, F.; Colmet-Daage, A.; Stieglitz, T.; Sone, W.; Bogning, S.; Olinga, J.; Ntchantcho, R.; Ntonga, J.; Braun, J.; Briquet, J.; Etame, J. (2022), "The 21st August 2020 Flood in Douala (Cameroon): A Major Urban Flood Investigated with 2D HEC-RAS Modeling", Water, MDPI, Vol. 14, pp 1-19. https://doi.org/10.3390/w14111768.*
- *Keong, Y.; Yusoff, M. (2022), "Flood Simulation Using HEC-RAS for Sg Suloh, Batu Pahat", Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment, Vol. 3, No. 1, pp 1474-1483, https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rtcebe/article/view/2885.*
- *Khattak, M.; Anwar, F.; Saeed, T.; Sharif, M.; Sheraz, K.; Ahmed, A. (2016). "Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River". Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 41, No. 4, pp 1375-1390. https://doi.org/10.1007/s13369-015-1915-3.*
- *Khosravi, K.; Nohani, E.; Maroufinia, E.; Pourghasemi, H. (2016), "A GIS-Based Flood Susceptibility Assessment and its Mapping in Iran, A Comparison Between Frequency Ratio and Weights-of-Evidence Bivariate Statistical Models with Multi-Criteria Decision-Making Technique", Natural Hazards, Vol. 83, pp 947-987, https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2.*
- *Kia, M.; Pirasteh, S.; Pradhan, B.; Mahmud, A.; Sulaiman, W.; Moradi, A. (2012), "An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River*

Basin, Malaysia". Environmental Earth Sciences, Vol. 67, pp 251–264. https://doi.org/10.1007/s12665-011-1504-z.

- *Kamal, A. ., & Al-Ogayell, H. . (2022). Using Remote Sensing Techniques and Hydrological Models in Analyzing Water Drainage Systems Affecting Al-Kharj Governorate. Dirasat: Human and Social Sciences, 49(5), 315–338. https://doi.org/10.35516/hum.v49i5.2761*
- *Knutson, T.R.; McBride, J.L.; Chan, J.; Emanuel, K.; Holland, G.; Landsea, C.; Held, I.; Kossin, J.P.; Srivastava, A.K.; Sugi, M. (2010), "Tropical Cyclones and Climate Change". Nat. Geosci. Vol. 3, pp 157–163. https://doi.org/10.1038/ngeo779.*
- *Merz, B.; Aerts, J.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Baldi, M.; Becker, A.; Bichet, A. (2014), "Floods and climate: Emerging perspectives for flood risk assessment and management". Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 14, Issue 7, pp 1921–1942. https://doi.org/10.5194/nhess-14-1921-2014.*
- *Natarajan, S.; Radhakrishnan, N. (2019), "Simulation of extreme event-based rainfall–runoff process of an urban catchment area using HEC-HMS", Modeling Earth Systems and Environment, Vol. 5, pp 1867–1881. https://doi.org/10.1007/s40808-019-00644-5.*
- *Obroh, O.; Sambo, G. (2022), "Flood Vulnerability Mapping of River Ngadda Using Geospatial and Remote Sensing Techniques Maiduguri Metropolis, Borno State", Research Square, Vol. 1, pp 1-22, https://doi. org/10.21203/rs.3.rs-1274069/v1.*
- *Olawoyin, R. (2017), "Objective assessment of the Thiessen polygon method for estimating areal rainfall depths in the River Volta catchment in Ghana", Ghana Journal of Geography, Vol. 9, No. 2, pp 151–174.*
- *Poussin, J.K.; Botzen, W.; Aerts, H. (2014), "Factors of influence on flood damage mitigation behavior by households". Environ. Sci. Policy., Vol. 40, pp 69–77. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014. 01.013.*
- *Powers, R., Ramirez, L., Redmond, C., (1966), "Geology of the Arabian Peninsula, sedimentary geology of Saudi Arabia", US Geological Survey Professional Paper, pp 1-154.*
- *Siddiqui, Q.; Hashmi, H.N.; Ghumman, R. (2011), "Flood inundation modeling for a watershed in the pothowar region of Pakistan". Arab. J. Sci. Eng., Vol. 36, pp 1203–1220. https://doi.org/10.1007/s13369-011-0112-2.*
- *Xu, C.; Chen, Y.; Chen, Y.; Zhao, R.; Ding, H. (2013), "Responses of surface runoff to climate change and human activities in the arid region of Central Asia: A case study in the Tarim River Basin, China". Environ. Manag., Vol. 51, pp 926–938. https://doi.org/10.1007/s00267-013-0018-8.*
- *Youssef, A.; Pradhan, B.; Hassan, A. (2011), "Flash Flood Risk Estimation Along the St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt Using GIS Based Morphometry and Satellite Imagery", Environmental Earth Sciences, Vol. 62, pp 611-623, http://dx.doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1.*

Modeling, Simulation and Management of Flood Hazards in Urban Areas in the Arab City: Al Kharj City in Saudi Arabia as a Model Based on HEC-HMS and HEC-RAS integration

Abstract:

Identifying flood-prone areas and developing a flood hazard map in the Arab city located in dry environments is an essential component of flood hazard management strategies, land use planning, and supporting planning policies for decision-makers. This study aims to develop an integrated approach to modeling, simulating and managing flood hazards in urban areas in the Arab city, with application to the city of Al-Kharj in the Riyadh region, which is exposed to frequent floods and comparing them with the recent historical floods that occurred on 18/02/2017, simulating and modeling the risks of floods affecting populated areas for several different scenarios, and developing strategic solutions and recommendations to try to mitigate and protect against the negative effects resulting from them, in addition to improving the level of awareness of two-dimensional hydrodynamic modeling.

To achieve these goals, hydrological modeling was integrated through the application of the Hydrological Engineering System Model (HEC-HMS), and hydraulic modeling through the application of the Hydrological Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) program.

The results of the study revealed that the city of Al-Kharj is exposed to the dangers of flash floods, as a result of its location at the confluence of a large group of valleys, the most important of which are: Wadi Hanifa, Wadi Al-Hinniyah, Wadi Nassah, Wadi Al-Ragheeb, Wadi Mawan, and Wadi Aba Al-Dhar. As a result, about 21.05% of the area of Al-Kharj is exposed to flooding from a 100-year storm, where about 50.62% of the urban areas are exposed to high risks, concentrated in the neighborhoods of Al-Salmaniya, Al-Burj, Al-Aziziyah, and Al-Muntazah, while about 23.65% are exposed to medium risks, concentrated in the neighborhoods of Al-Rashidiya, Al-Badiah, and Al-Faiha. As for the urban areas that are exposed to low risks, it is about 25.73%, concentrated in the neighborhoods of Al-Rawdah, Al-Khaldiya, Qurtubba, Al-Nahdah, Al-Andalus, and Al-Rayyan. This study recommends the need for engineering intervention to protect the city of Al-Kharj by establishing a variety of facilities to prevent the dangers of various floods.

Keywords*: Management of flood risk map – Hydrological modeling – Hydraulic modeling - Immersion map - Environmental sensitivity map – Flood severity map – Flood risk map - Al-Kharj city.*