



## المجلة الجغرافية العربية

تصدر عن الجمعية الجغرافية المصرية

النمذجة الهيدرولوجيوميوفولوجية لتحديد مكامن المياه الجوفية بحوض وادي قصب  
باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي ونظم المعلومات الجغرافية

حمدي نبيه عيد محمد

مدرس بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية - كلية الآداب - جامعة سوهاج

كافة حقوق النشر محفوظة للجمعية الجغرافية المصرية  
وجميع الآراء 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](http://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 تنتبها 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 بينط 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 (١٢ سم عرض × ١٨ سم 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 لسعر البيع الذي تحدده الجمعية.

## هيئة تحرير المجلة

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

## مجلس إدارة الجمعية الجغرافية المصرية

رئيس مجلس إدارة الجمعية	أ.د. محمد زكي السديمي
نائب رئيس مجلس إدارة الجمعية	أ.د. عبد الله علام عبده علام
أمين عام الجمعية	أ.د. إسماعيل يوسف إسماعيل
أمين صندوق الجمعية	أ.د. مسعد السيد أحمد بحيري
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. فتحي محمد أبو عيانة
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. أحمد حسن إبراهيم
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. أحمد السيد الزاملي
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 عبدالعظيم
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. عمر محمد علي محمد
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. سامح إبراهيم عبدالوهاب
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. عادل عبدالمنعم السعدني
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. عطية محمود الطنطاوي
عضو مجلس إدارة الجمعية	أ.د. عيبر ابراهيم عبدالله

## الهيئة الاستشارية

- أ.د. عبد الله يوسف الغنيم  
أ.د. نبيل سيد إمباي  
أ.د. فتحي عبد العزيز أبو راضي  
أ.د. فاروق كامل عز الدين  
أ.د. سعيد محمد عبده  
أ.د. محمد عبدالرحمن الشرنوبي  
أ.د. السعيد إبراهيم البدوي  
أ.د. جودة فتحي التركماني  
أ.د. كريم مصلح صالح  
أ.د. محمد نور الدين السباعوي  
أ.د. عزة أحمد عبد الله  
أ.د. مسعد سلامة مندور  
أ.د. إبراهيم محمد علي بدوي  
أ.د. إبراهيم علي عبدالمهدي غانم  
أ.د. محمد فوزي عطا  
أ.د. إيملي محمد حلمي حمادة  
أ.م.د. علي الدوسري
- أستاذ الجغرافيا الطبيعية بمركز البحوث والدراسات الكويتية  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة عين شمس  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الاسكندرية  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الرقازيق  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية البنات جامعة عين شمس  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة الفيوم  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الدراسات الأفريقية العليا جامعة القاهرة  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة القاهرة  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة سوهاج  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنيا  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بنها  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنصورة  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة دمياط  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة طنطا  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة بني سويف  
أستاذ بقسم الجغرافيا كلية الآداب جامعة المنوفية  
أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا - جامعة الملك سعود - السعودية

National & Kapodistrian University of Athens  
Faculty of Geology and Geoenvironment, Greece

Dr. Niki Evelpidou



## فهرس المحتويات

م	العنوان	ص
	الملخص	١
	تمهيد	٢
١	موقع وحدود منطقة الدراسة	٢
٢	مشكلة الدراسة	٤
٣	تساؤلات الدراسة	٤
٤	أسباب اختيار منطقة الدراسة وموضوعها	٥
٥	أهداف الدراسة	٥
٦	منهج الدراسة ومنهجيتها	٥
٧	أساليب الدراسة	٦
٨	الفجوة البحثية	١١
٩	مصادر الدراسة	١٢
١٠	عناصر البحث	١٦
	أولاً: مفهوم النمذجة الهيدروجيوميورفولوجية	١٧
	ثانياً: المؤشرات الدالة على وجود مكامن المياه الجوفية	١٧ - ٥٨
	ثالثاً: التحليل الهرمي لنمذجة المعايير	٥٨ - ٦٠
	النتائج Results	٦١ - ٦٤
	مناقشة وتحليل النتائج	٦٥ - ٧٠
	التوصيات والمقترحات	٧١
	المصادر والمراجع	٧٢ - ٧٤
	الملخص باللغة الإنجليزية	٧٥

## فهرس الأشكال

م	العنوان	ص
١	موقع وادي قصب وأحواضه الفرعية	٤

٧	٢	مخطط للمنهجية المتبعة لتحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية بحوض وادي قصب
٨	٣	الكلمات المفتاحية ذات الصلة بموضوع البحث
٩	٤	أعداد الأوراق البحثية ذات الصلة بموضوع الدراسة خلال الفترة (٢٠١٧-٢٠٢٣م)
١٠	٥	الدول الأكثر إسهاماً في نشر أوراق بحثية لموضوعات ذات صلة بموضوع الدراسة
١١	٦	المجلات الدولية ذات الأوراق البحثية المشتركة مع مجلة Geomorphology
١٩	٧	التكوينات الجيولوجية بحوض وادي قصب
٢٢	٨	استخراج الطين من أسفل المدرجات الفيضية بتكوين أرمنت بحوض قصب الأدنى
٢٤	٩	قيم مؤشر كثافة الصدوع
٢٥	١٠	الخصائص والمؤشرات التضاريسية لحوض وادي قصب
٢٧	١١	نموذج لحساب قيم مؤشر الموقع الطبوغرافي
٢٩	١٢	الخصائص الانحدارية لمنطقة الدراسة
٣٢	١٣	الخصائص والمؤشرات الهيدرولوجية لحوض وادي قصب
٣٤	١٤	نموذج لحساب مؤشر نقل الرواسب
٣٨	١٥	قيم الحدود المستخدمة لحساب صافي الجريان باستخدام نموذج (SCS-CN)
٤٠	١٦	نموذج لحساب رقم منحني الجريان السطحي من خلال خريطتي الغطاءات الأرضية (LC) والمجموعات الهيدرولوجية للتربة (HSG)
٤٥	١٧	قيم التبخر نتح لمحطات منطقة الدراسة من منحني النوموجراف
٥١	١٨	المؤشرات الهيدروليكية للمياه الجوفية بحوض وادي قصب

٥٣	المسافة المعيارية للبعد عن الآبار بحوض وادي قصب	١٩
٥٥	قيم مؤشري رطوبة التربة والغطاء النباتي	٢٠
٥٦	قيم مؤشري حساسية المنحدرات للانزياحات الأرضية والقرب من مواضع التعرية الكارستية	٢١
٥٧	أحد المجاري الجوفية (A) وينابيع الكارست (B) بحوض وادي شيتون الأوسط	٢٢
٥٨	مؤشر الخزن خلف السدود بحوض وادي قصب	٢٣
٥٩	حساب الأوزان النسبية للمعايير من تقارير الخبراء باستخدام برنامج extAhp20	٢٤
٦٠	نموذج محاكاة احتمالية تواجد مكامن المياه الجوفية بحوض وادي قصب	٢٥
٦٢	احتمالات تواجد مياه جوفية بحوض وادي قصب	٢٦
٦٤	درجات احتمالية وجود مكامن مياه جوفية بأحواض منطقة الدراسة وفقاً لنواتج النمذجة	٢٧
٦٧	قيم Local R2 للمعايير الموزونة بالأحواض الفرعية لحوض وادي قصب	٢٨
٦٩	النسب المئوية لقيم التنبؤ بوجود مكامن مياه جوفية بمنطقة الدراسة	٢٩

### فهرس الجداول

م	العنوان	ص
١	مساحات التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة	٢٠
٢	أطوال وأعداد الصدوع	٢٣
٣	وصف سطح منطقة الدراسة وفقاً لفئات مؤشر الوعورة الطبوغرافي	٢٧
٤	مساحات فئات الانحدار بحوض وادي قصب	٣٠
٥	مساحات اتجاهات الانحدارات	٣٠



٣٧	المجموعات الهيدرولوجية للتربة وفقاً لخصائصها وقيمة المنحنى العددي (CN) بحوض وادي قصب	٦
٤٤	البيانات المناخية للعاصفة المطرية (٢٧ مايو ٢٠٢٣م)	٧
٤٦	حجم الجريان السطحي بحوض وادي قصب قبل وبعد طرح قيم التبخر نتح	٨
٤٩	قيم المسامية الفعالة والكلية وفقاً للحدود التي وضعها William & Eileen 2020	٩
٥٢	اتجاهات تدفق المياه الجوفية بحوض وادي قصب	١٠
٥٩	مقياس المقارنة الزوجية وفقاً للحدود التي وضعها ساعاتي ٢٠٠٨م	١١
٧٠	العلاقات الارتباطية والارتباط الذاتي المكاني بين النموذج المقترح والمعايير الموزونة	١٢

## الملخص:

يُعد تحديد المواضع المحتملة لمكامن المياه الجوفية المختزنة من مياه الأمطار في الأراضي الجافة وشبه الجافة بناءً على التقنيات العلمية أمراً ضرورياً لإدارة موارد المياه الجوفية وتخطيط استخدام الأراضي بها، وهنا تكمن أهمية النمذجة الهيدرولوجيوجيومورفولوجية المُقيدة بإحدى طرق اتخاذ القرار المعتمدة في الدراسات العلمية من خلال نمذجة المعايير المؤثرة فيها والمؤشرات الدالة عليها، وحساب الأوزان النسبية لعمل تراكب موزون Weighted Overlay لها باستخدام برنامج Arcmap10.5، وهذه الطريقة تم اعتمادها بقوة لنمذجة المعايير المكانية نظراً لدقتها العالية وسرعتها الفائقة في استخلاص النتائج و سهولة تحليلها مكانياً وإحصائياً مما جعلها توفر الوقت والجهد في البحث والتنقيب عن المياه الجوفية، وقد أسفرت نتائج النمذجة الهيدرولوجيوجيومورفولوجية أن المواضع ذات الاحتمالية العالية جداً بحوض الوادي تشغل نحو ١١,٦٨٪ من مساحة المنطقة، بينما شغلت المواضع ذات الاحتمالية العالية نحو ٢٣,١٣٪ منها، بينما غطت المواضع ذات الاحتمالية المعتدلة نحو ٣٠,٠٥٪ من مساحة الحوض، والمواضع ذات الاحتمالية المنخفضة نحو ٢٥,٥٤٪ منه، والمنخفضة جداً نحو ٩,٦٪ من تلك المساحة، ومن خلال حساب متوسط قيم الاحتمالية على مستوى الأحواض تبين أن أحواض قصب الأدنى والمقابلة البحرية وأبو سيديا سجلت أعلى قيم للاحتتمالية تواجد مياه جوفية بها، بينما سجلت أحواض قيسوم والجهلانية وعقبة البلايش وعين رميل والشطين أدنى قيم للاحتتمالية، وتحليل نواتج الانحدار الموزون جغرافياً تبين أن نسب أعلى نسب مطابقة لنواتج نمذجة المعايير المختارة بالنموذج المقترح كانت من نصيب أحواض قصب الأدنى والدكري وطلعة الجير والجير وعقبة العجوز، ومن المتوقع أن حوض قصب الأدنى سيحظى مستقبلاً بأقصى معدلات للخرن وفقاً لحساب قيم التنبؤ Prediction.

**الكلمات الدالة:** النمذجة الهيدرولوجيوجيومورفولوجية، وادي قصب، مكامن المياه الجوفية.

Hydro geomorphological modeling, Wadi Qasab, AHP, GIS, GWR, Prediction, MCDM.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٤) العدد (١٨٤) عدد خاص، سبتمبر ٢٠٢٣، ص ص ١-٧٥)

**تمهيد:**

لطالما كان فهم الهيدرولوجيا القائم على الجيومورفولوجيا نهجًا مفيدًا لفهم طبيعة الجريان السطحي ومواقع الخزن المائي، وتحديد أكثر المواقع عرضة لأخطار هذا الجريان، كان من الضروري ظهور النمذجة الهيدرولوجية الجيومورفولوجية على منصات الأدبيات العالمية بشكل أكبر منذ نهاية القرن العشرين بفضل توافر البيانات الهيدرولوجية والمناخية وغزارة الإنتاج العلمي لطرق تقدير هذا الجريان في ضوء المعادلات الرياضية والخرائط الرقمية، والنماذج الخلوية التي أصبح من السهل جداً استخلاص العديد من البيانات المكانية باستخدام البرمجيات والتقنيات الحديثة التي كشفت الستار للعديد من الهيدرولوجيين والجيومورفولوجيين وعمقت فهمهم بشكل أكبر عن ذي قبل، مما حدا بهم خوض غمار التنقيب الآلي عن مكامن المياه الجوفية من خلال بناء نماذج محاكاة بالبرامج الحديثة لتحقيق ذلك عبر عمليات التطابق الموزون لهذه العوامل والمؤشرات التي يتم تقييم أوزانها النسبية من قبل متخصصين في ضوء طرق اتخاذ القرار المعتمدة في الدراسات والبحوث الأكاديمية، ولكون القول ينسحب على منطقة الدراسة باعتبارها، لانحصار مصادر المياه السطحية بهافي مياه العواصف المطرية الشتوية التي تحدث خلال فترات زمنية قصيرة تنساب في وديان موسمية الجريان لتغذي خزائنها الجوفي جاء دور الدراسة لتوظيف نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد والدراسات الحقلية المتتالية لدراسة الخصائص الهيدرولوجية التي يمكن من خلالها الاستدلال على مواقع خزن هذه المياه للحد من نفقات البحث والتنقيب عن مواقع هذه المياه واستغلالها في عمليات التنمية المستدامة بحوض الوادي.

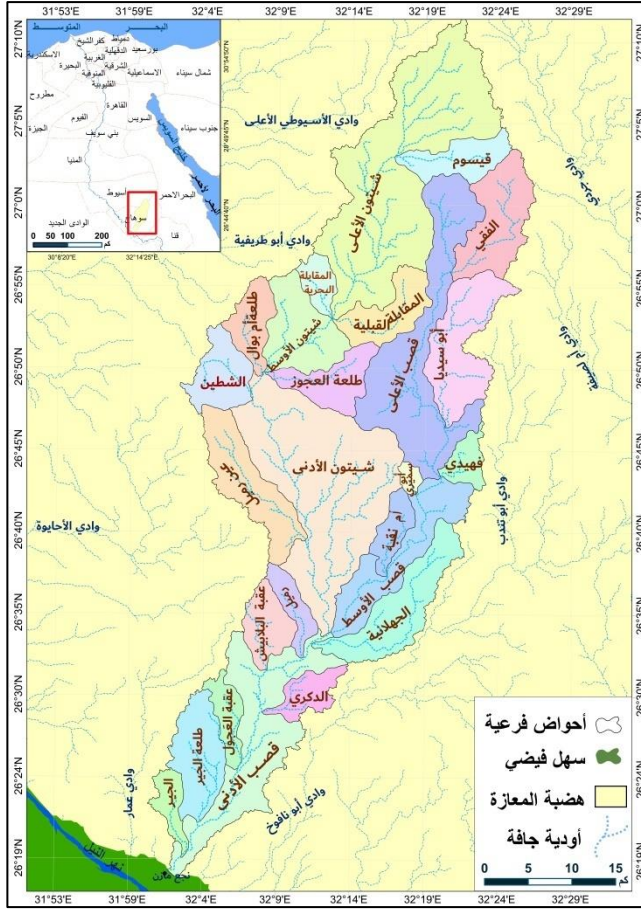
**١. موقع وحدود منطقة الدراسة:**

ينحدر الوادي من هضبة المعازة الجيرية على الجانب الشرقي لوادي النيل باتجاه شمالي شرقي/جنوبي غربي صوب أراضي السهل الفيضي إلى الشرق من مركز دار السلام بسوهاج بين دائرتي عرض ١٥°١٨'٢٦° \_ ٣٥°١١'٢٧° شمالاً، وخطي طول

٥٣٢'١" \_ ٣٢'٢٦"٣٠ شرقاً، بمساحة قدرت بنحو ١٤,١٤٨,٩٤٨ كم<sup>٢</sup>(<sup>١</sup>)، وبذلك يعد أكبر الأودية الجافة التي تجري داخل حدود محافظة سوهاج، كما يقدر طولها بنحو ١٠٣,٥٣ كم ، ويتراوح عرضه بين ٣,٧٩ كم في أجزائه العليا، ٦٣,٧٨ كم في أجزائه الوسطى، ١,٥٧ كم بالمروحة الفضية عند مصبه على أراضي السهل الفيضي شمال نجع مازن وعرب العطييات وعزبة رضوان، ويحد الوادي من الشرق وادي أبو نافوخ ورافده الأعلى أبو تندب، وعند روافده العليا في القسم الشمالي الشرقي منه يفصله خط تقسيم مياه مع وادي جردي وأم لصيفه أحد روافد وادي قنا من جهة الشمال الغربي، ومن الشمال يفصله خط تقسيم مياه مع وادي الأسيوطي الأعلى، ومن الشمال الغربي يحده الأخير وادي أبو طريفية الرافد الأعلى لوادي الأحايوة جهة الشمالي الشرقي، كما يفصله من الغرب خط تقسيم مياه مع وادي قلعة عمار .

وينقسم حوض وادي قصب إلى حوضين تصريفيين رئيسيين هما قصب وشيتون الذي يشكل الرافد الأكبر والرئيس له، يستمد كل منهما مياهه من مجموعة أحواض فرعية، وينقسم شيتون إلى عدة أودية فرعية تبدأ من وادي شيتون الأعلى الواقع أقصى الشمال الغربي للحوض ويصب في مجراه وادي قيسوم الرافد الوحيد له، وكلاهما يصب في وادي شيتون الأوسط الذي يتلقى مياهه من وادي المقابلة القبلية والمقابلة البحرية، ويقتسم مياهه مع أحواض أبو طريفية وأم بؤال وطلعة العجوز ويصبا جميعاً في وادي شتون الأدنى الذي يتلقى كذلك مياهه من أحواض الشطّين، ورميل وعين رميل ليصبوا جميعاً في النهاية في حوض قصب الأدنى عبر مصب وادي شيتون الأدنى عند أكثر أجزاء المنطقة انحداراً، أما عن حوض وادي قصب فينقسم إلى قصب الأعلى ويصب فيه أودية الفقي وأبو سيديا وفهيدي، وقصب الأوسط ويصب فيه وادي أبو سميري وأم نقبة، ويصبوا جميعاً عبر مصب قصب الأوسط في قصب الأدنى الذي يصب فيه أودية الجهلانية ورميل، والدكري وعقبة البلايش والجير وعقبة الجير (شكل ١).

١ - يتم حساب مساحة الحوض من خلال الأمر Snap Pour Point الذي يستخدم لحساب حدود أحواض التصريف من خلال نقاط التدفق وترسيم خطوط تقسيم المياه بين الحوض والأحواض المجاورة له .



المصدر: من إعداد الباحث اعتمادًا على الخريطة الطبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠ لعام ١٩٩١م لوحة وادي قصب، لوحة قنا مقياس ١ : ٢٥٠٠٠٠، ونموذج ارتفاع رقمي دقة ٣٠م.

شكل (١) موقع وادي قصب وأحواضه الفرعية

## ٢. مشكلة الدراسة:

تكمن مشكلة الدراسة في عمليات الحفر العشوائي للآبار بحوض الوادي مما يزيد من حجم الإنفاق وزيادة تكلفة الحفر والتنقيب عن المياه الجوفية التي تعد المصدر الوحيد لعمليات التنمية بالوادي ويعتمد عليها السكان بشكل رئيس بعد غياب فترات التساقط التي تتسم بفجائيتها وتركزها خلال فترة زمنية قصيرة لا تزيد عن عدة ساعات.

## ٣. تساؤلات الدراسة:

- ما المواضع الأكثر احتمالية لتواجد مكامن مياه جوفية بمنطقة الدراسة.

- كم يبلغ حجم صافي الجريان السطحي الذي يمكنه تغذية الخزان الجوفي بحوض الوادي.
- ما هي العوامل الأكثر تأثيراً في خزن المياه الجوفية بالمنطقة، وما هي الأحواض ذات الاحتمالية الأعلى لخزن المياه الجوفية مستقبلاً وفقاً لنتائج نمذجة العلاقات المكانية.

#### ٤. أسباب اختيار منطقة الدراسة وموضوعها:

- حداثة الموضوع في توظيف نُظُم المعلومات الجغرافية والبرامج المساعدة لتحديد مكامن المياه الجوفية وتوفير النفقات المستنزفة في عمليات التنقيب عنها ، ودفع عجلة التنمية المستدامة بالمنطقة لا سيما بعدما أضحت الزراعة أحد أهم ركائزها.
- صلاحية أجزاء كبيرة من الوادي للزراعة إذا تم توفير مصدر مستدام من المياه الصالحة لزراعة العديد من المحاصيل التي تتناسب زراعتها بتربة الوادي كالتين والزيتون والخضروات والبرسيم الحجازي... وغيرها.

#### ٥. أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة إلى ما يلي:

- تقديم تحليل مكاني للعوامل المؤثرة في خزن المياه الجوفية من خلال نمذجة تلك العوامل في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.
- رسم خريطة رقمية لدرجات احتمالية تواجد مكامن المياه الجوفية وأنسب المواضع لحفر الآبار والتنمية الزراعية القائمة عليها بشكل أكثر دقة.
- تحديد المعايير الأكثر مطابقة مكانية وأكثر الأحواض خزناً للمياه الجوفية مستقبلاً وفقاً لنتائج نمذجة العلاقات المكانية باستخدام تحليل الانحدار الموزون جغرافياً.

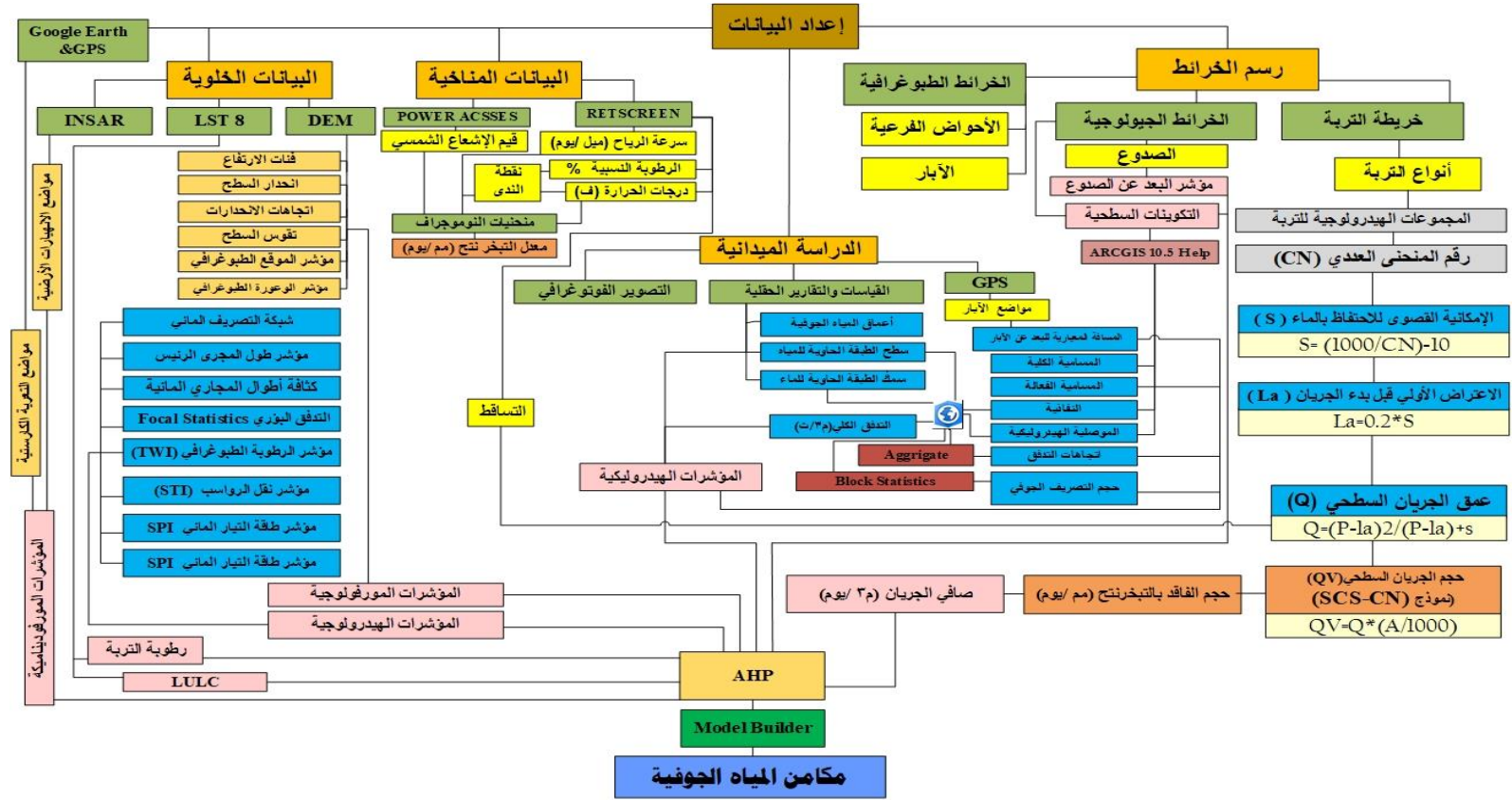
#### ٦. منهج الدراسة ومنهجيتها:

اعتمدت الدراسة على عدد من المناهج والأساليب البحثية، وقد تمثلت المناهج المتبعة في المنهج الإقليمي وتمت الاستفادة منه في تقسيم الحوض الرئيس لأحواض فرعية لإظهار التباين المكاني على مستوى المنطقة، كما تم الاعتماد على المنهج الموضوعي في تحديد العوامل المتسببة في حدوث جريان سيلي بالحوض، و العوامل

والمؤشرات الهيدروجيوميورفولوجية المؤثرة في تخزين مياه المطر للاستدلال منها على مكان المياه الجوفية بحوض الوادي بالاستعانة بالمنهج الاستقرائي الذي تم الاعتماد عليه للتنبؤ بمكان المياه الجوفية مستقبلاً من خلال حساب قيم التنبؤ Prediction من نمذجة العلاقات المكانية بحساب قيم الانحدار الموزون جغرافياً GWR أما عن منهجية الدراسة فاستندت على التحليل المكاني الكمي للمعايير والمؤشرات ذات الصلة من خلال الدمج بين تقنيات الجيوماتيكنس ومنهجية صنع القرار المتعدد المعايير (Multi-criteria decision making) والتي تُعد إحدى أهم المنهجيات المستخدمة لإدارة موارد المياه الجوفية، لا سيما في البيئات القاحلة (Abdallah 2012) ويوضحها (شكل ٢).

#### ٧. أساليب الدراسة:

ارتكزت الدراسة على عدة أساليب أبرزها عملية التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP) الذي تمت الاستفادة منه في تحديد الأوزان النسبية للمؤشرات المحددة لمكان المياه الجوفية، وأسلوب التراكب الموزون Weighted Overlay، وهو أحد الأساليب الأكثر استخداماً لحل المشكلات المكانية المتعددة المعايير مثل المشكلة قيد البحث، والأسلوب المورفومتري الذي تم الاستعانة به في دراسة الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف، والأسلوب الكارتوجرافي لرسم الخرائط، والأسلوب الإحصائي باستخدام برنامج SPSS V.25 لتوضيح العلاقات الارتباطية بين المعايير المختارة، وأسلوب التحليل المكاني باستخدام الانحدار الموزون جغرافياً Geographical (GWR) weighted Regression باستخدام برنامج Arc map 10.5 لتوضيح نسب مطابقة المعايير بناتج النمذجة والتنبؤ باحتمالات تزايد فرص تواجد مكان المياه الجوفية بأحواض التصريف بمنطقة الدراسة، كما كان لزاماً أن تعتمد الدراسة على الأسلوب الفوتوغرافي لتصوير الأشكال والظواهر ذات الصلة بموضوع الدراسة.



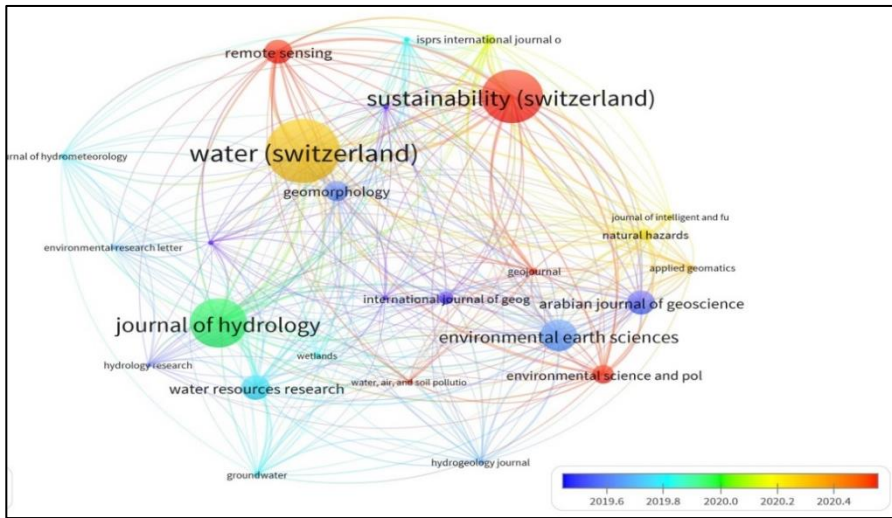
المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Professional Visio.

شكل (٢) مخطط لمنهجية المتبعة لتحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية بحوض وادي قصب





التي تظهر باللون الأحمر القاتم لعل من أبرزها ( Geographic information System,analytic )  
 (remote sensing ,hierarchy process )، ويمكن تلخيص نتائج عملية البحث في النقاط التالية:  
 - بلغ عدد الأوراق البحثية التي نشرت بأشهر عشر مجلات دولية تعد الأكثر اهتماماً  
 بالموضوع قيد البحث ٧٣٧٦ ورقة بحثية، وكان النصيب الأكبر لمجلات Water ،  
 sustainability، journal of hydrology والتي زادت أعداد الأوراق المنشورة فيها خلال  
 الفترة من يناير حتى إبريل ٢٠٢٠م كما يوضحه الشكل (٤)، ومنه يتضح أن مجلة  
 geomorphology زادت فيها عدد الأوراق البحثية للموضوعات ذات الصلة خلال الفترة  
 عام ٢٠١٩م، وجاءت في المرتبة الثامنة بإجمالي ٤٧٥ ورقة بحثية، بينما تصدرت  
 مجلات environmental earth Science، Remote Sensing ، sustainability قائمة  
 المجالات العلمية من حيث عدد الأوراق البحثية المنشورة بها بعد عام ٢٠٢٠م.



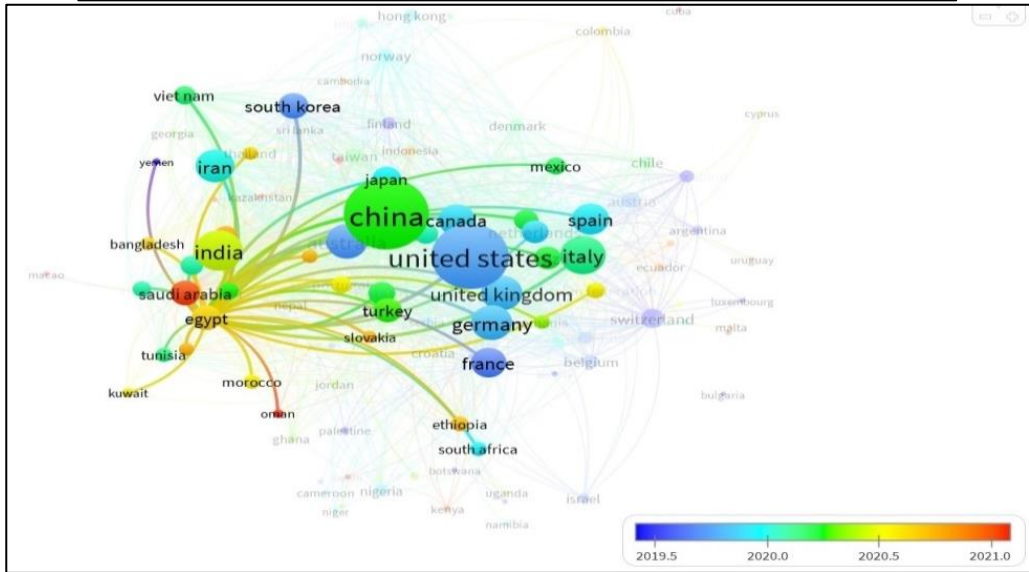
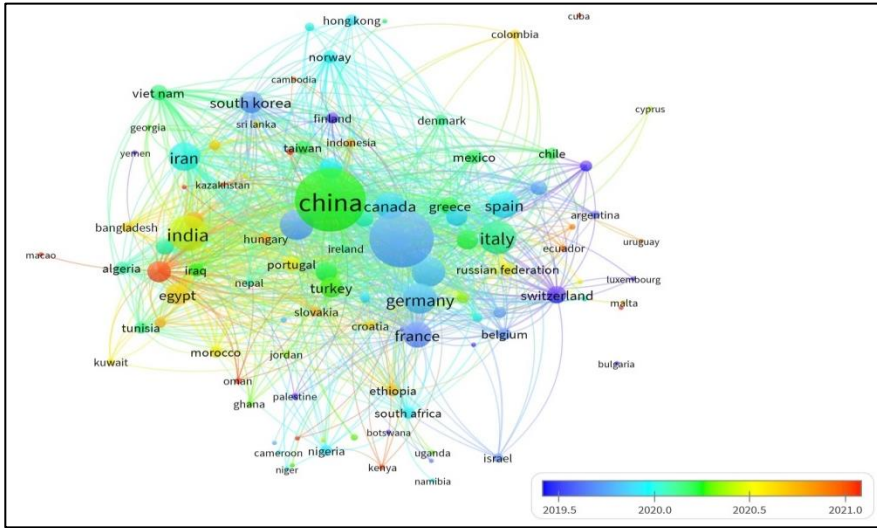
عدد الأوراق البحثية	المجلة	عدد الأوراق البحثية	المجلة
٥٥٣	Remote Sensing	١٤٦٤	Water
٥٤٦	Arabian Journal of geoscience	١٢١٩	Sustainability
٤٧٥	Geomorphology	١١٢٦	journal of hydrology
٤٢٨	environmental Science and pollution	٧٣٣	environmental earth Science
٢٧٢	natural hazard	٥٦٠	water resources research

المصدر: نتائج تحليل البيانات اعتماداً على قاعدة البيانات Scopus وبرنامج VOSviewer.

شكل (٤) أعداد الأوراق البحثية ذات الصلة بموضوع الدراسة خلال الفترة (٢٠١٧-٢٠٢٣م)

- بلغ الإنتاج العلمي للخمسة عشر دولة الأكثر اهتماماً بالموضوع قيد الدراسة ٩٣٠٨ ورقة  
 بحثية، أسهمت مصر فيها بـ ٢٣٧ ورقة بحثية شاركت فيها مع الدول الرائدة في هذا

المجال البحثي وبذلك احتلت المرتبة الأولى بين الدول العربية و المرتبة الرابعة عشر عالمياً كما يوضحه الجدول المرفق ب(شكل ٥).



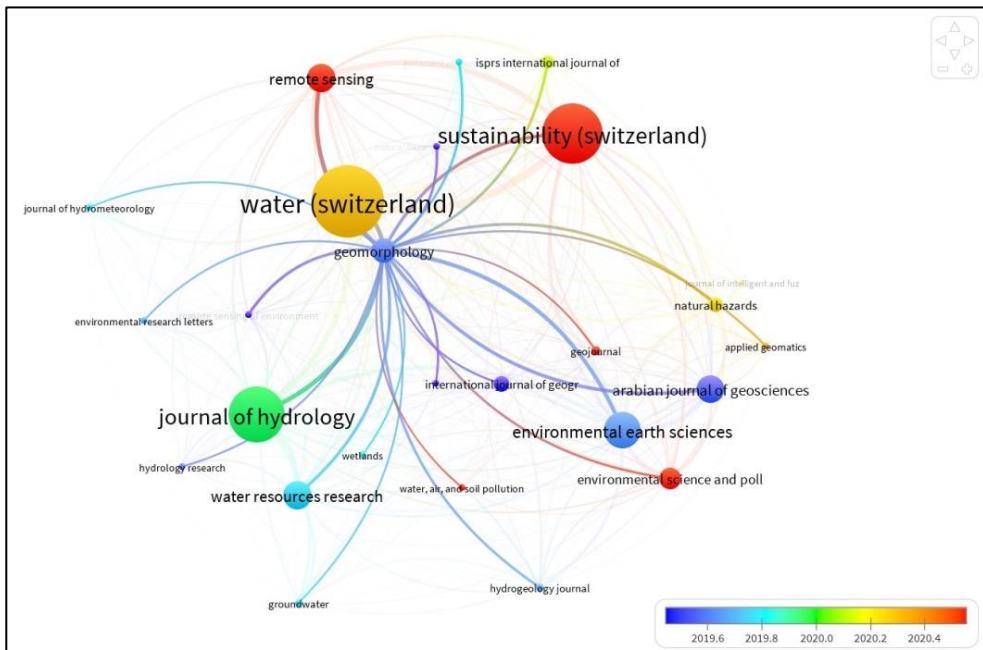
الدولة	عدد الأوراق البحثية	الدولة	عدد الأوراق البحثية	الدولة	عدد الأوراق البحثية
الصين	٢٢٩٢	إسبانيا	٤٨٦	ألمانيا	٢٢٧٢
الولايات المتحدة الأمريكية	١٨٧٩	كوريا الشمالية	٤٨٣	المملكة المتحدة	١٨٧٩
الهند	٦٧٤	مصر	٣٥٥	إيران	٦٧٤
إيطاليا	٦٠٥	السعودية	٣٩١	كندا	٦٠٥
أستراليا	٤٩٤	الليبان	٣٤٧	فرنسا	٤٩٤

المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج VOSviewer.

شكل (٥) الدول الأكثر إسهاماً في نشر أوراق بحثية لموضوعات ذات صلة بموضوع الدراسة

## ٨. الفجوة البحثية:

يقصد بالفجوة البحثية تلك الثغرة البحثية التي يتعين على الباحث سدها من خلال دراسته لموضوع ونطاق بحثه، والتي لم تقم بسدها أو الإجابة عنها أي من الدراسات السابقة التي تناولت ذلك النطاق أو الموضوع، ومن خلال الاطلاع على الأوراق البحثية السالفة الذكرتم تسليط الضوء على الأبحاث المنشورة في مجلة Geomorphology والبالغ عددها ٤٧٥ ورقة بحثية، تم مسحها والاطلاع عليها فتبين أنها ذات ارتباط بعدد ٢٣٦٤ بورقة بحثية نشرت بأربع وعشرين مجلة محكمة كما يوضحها (شكل ٦).



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج VOSviewer.

شكل (٦) المجالات الدولية ذات الأوراق البحثية المشتركة مع مجلة Geomorphology

ومن خلال حصر تلك الأوراق البحثية والاطلاع عليها تم تحديد الفجوة البحثية من خلال تسليط الضوء على وضع كافة المعايير والمؤشرات الهيدروجيوميومورفولوجية المولدة لمكامن المياه الجوفية من مياه المطر، ونمذجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية في ضوء إحدى أهم طرق اتخاذ القرار المتبعة في الأدبيات العالمية لتحديد مكامن المياه الجوفية في الوقت الراهن ونمذجة العلاقات الارتباطية لمطابقة المعايير والمؤشرات

المختارة بناتج النموذج المقترح لتحديد أكثر المعايير مطابقة مكانية بناتج عملية النمذجة وتحليلها تحليلاً إحصائياً مكانياً للتنبؤ بالتغيرات المكانية لمكان تلك المياه من خلال تحليل نتائج الانحدار الموزون جغرافياً والمقارنة بين النتائج التقديرية Estimated ونواتج التنبؤ Predicted.

#### ٩. مصادر الدراسة:

##### ■ الدراسات السابقة:

##### • الدراسات ذات الصلة بموضوع الدراسة:

- تعددت الدراسات السابقة عن الموضوع قيد الدراسة والتي تم الحصول عليها من نتائج التحليل البليومتري ومسح الأبحاث المنشورة بالمجلات العلمية ذات الصلة بمصر والعالم العربي، لعل من أبرزها على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:
- دراسة Krishnamurthy وزملائه (١٩٩٦) وفيها بنوا نموذجاً في بيئة (GIS) لتحديد النطاقات المحتملة للمياه الجوفية في الهند عن طريق تكامل مختلف الخرائط الموضوعية المستنبطة من الصور الفضائية.
  - دراسة Recharts وزملائه (١٩٩٦م) عن إمكانية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في التحليل المكاني وتفسير البيانات الفضائية لتقييم مصادر المياه الجوفية وإنتاج خرائط احتمالية وجود المياه الجوفية في شمال غرب مقاطعة إدارة مياه فلوريدا \_ أمريكا.
  - دراسة (Saraf and Chaudhary, 1996) وشرح فيها فائدة مفهوم تكامل التحسس النائي وGIS كأداة فعالة في الدراسات الهيدروجيولوجية.
  - دراسة (Nath and Shahid, 2000) وتناولت تكامل التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية لإعداد نموذج المياه الجوفية المحتملة في منطقة الصخور الهشة في الهند، وتبعها بعد هذه الفترة العديد من الدراسات التي اهتمت بتحديد مكان المياه الجوفية من خلال دمج سبعة معايير باستخدام نظم المعلومات الجغرافية الخصائص الجيومورفولوجية والصخرية للمنطقة وخصائص التربة وشبكة التصريف المائي وكثافة التصريف المائي وانحدار السطح ومصادر التغذية السطحية.

- دراسة (Srinivasa Rao.Y& D. K. Jugran,2003) وتناولت تحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية ومناطق جودة المياه الجوفية المناسبة للأغراض المنزلية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية بمنطقة شيتور جنوب شرق الهند، واعتمدت الدراسة في ذلك على ثمانية مؤشرات مباشرة وغير مباشرة تمثلت في خصائص التكوينات الجيولوجية والبعد عن الصدوع وانحدار السطح والوحدات الجيومورفولوجية والبعد عن المجاري المائية وعمق الخزان الجوفي وعمق الطبقة الحاوية للماء وسمك الطبقة المشبعة بالماء ومقدار تغذية الآبار بالمياه الجوفية.
- دراسة S. Shahid ورفاقه عام ٢٠١٠م النمذجة المحتملة للمياه الجوفية في منطقة الصخور الناعمة باستخدام نظام المعلومات الجغرافية من خلال سبعة معايير، تمثلت في الخصائص الجيولوجية، والجيومورفولوجية، وخصائص التربة، وصافي التغذية، وكثافة الصرف، وخصائص المنحدرات والمساحات المائية السطحية.
- دراسة (Hosamelewa and Atef Qaddah,2011) وتناولت رسم خرائط إمكانات المياه الجوفية في شبه جزيرة سيناء، مصر، باستخدام الاستشعار عن بعد والنمذجة القائمة على نظام المعلومات الجغرافية لمستجمعات المياه وقد اتخذت الدراسة معايير هطول الأمطار، صافي تغذية المياه الجوفية، الصخور أو الترشيح، كثافة الخط، المنحدر، كثافة الصرف، عمق المياه الجوفية، ونوعية المياه، وأوضحت الدراسة أن شبه جزيرة سيناء تتمتع عموماً بإمكانات مياه جوفية متوسطة، حيث تبلغ مساحة هذا الصنف ٣٣,١٢٠ كيلومتراً مربعاً، وهو ما يمثل ٥٢٪ من إجمالي مساحتها.
- دراسة (سليمان ٢٠١١)، وتناولت الضوابط الهيدرولوجية لمواقع المياه الجوفية في بحوض وادي العريش باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والتي تمثلت في الخصائص الجيولوجية والتضاريسية والأحوال المناخية لحوض الوادي والخصائص المورفومترية لأحواض التصريف الفرعية التي تشكل معاملات متكاملة مع بعضها البعض لتقدير صافي الجريان السطحي بحوض الوادي .
- دراسة Abdalla,F,2012 والتي تناولت رسم خرائط المناطق المحتملة للمياه الجوفية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: دراسة من وسط

شرق الصحراء، مصر، وتوصلت الدراسة إلى هدفها من خلال الاعتماد على عدة معايير تمثلت في انحدار السطح وشبكات التصريف المائي، والكثافة التوزيعية للصدوع، والخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية، وتوصلت إلى أنه ثمة مناطق مختلفة من إمكانات المياه الجوفية المحتملة قسمتها الدراسة لأربعة فئات احتمالية، وهي جيدة جدًا (١٢.٧٩٪)، جيدة (٢٦.٩٥٪)، معتدلة (٣٣.٠٥٪) ومنخفضة (٢٧.٢١٪).

- دراسة الجبوري (٢٠١٥) النمذجة الهيدروجيولوجية لحوض لك باستخدام امتداد AGWA2، وركزت هذه الدراسة على تحليل العوامل والعمليات الهيدروجيولوجية والتي قادت إلى تشكيل وحدات جيومورفولوجية ومنها إبراز نشأة وتطور الحوض من جهة، والتعرف على خصائصه الهيدروجيولوجية المتمثلة بالتصريف والإنتاج الرسوبي من جهة أخرى.

- دراسة (Dhekra Souissi وزملاؤه ٢٠١٨م) وقامت برسم خرائط للمناطق المحتملة لتغذية المياه الجوفية في المنطقة القاحلة باستخدام نهج GIS وLandsat، جنوب شرق تونس، وتوصلت لذلك من خلال نموذج مبني على عدة معايير تمثلت في نسيج التربة وعمق المياه الجوفية وكثافة التصريف المائي وسرعة سريان المياه الجوفية وخصائص التكوينات الجيولوجية واستخدامات الأرض والغطاءات الأرضية والتساقط والخصائص الجيومورفولوجية، ومن خلالها تم تقسيم المنطقة إلى أربع فئات وفقاً للمواضع المحتملة لتغذية المياه الجوفية وهي: جيد جدًا (٤٠٪)، جيد (١٣٪)، متوسط (١٨٪)، ضعيف (٢٩٪) من مساحة المنطقة المدروسة.

- دراسة جاب الله & محمد (٢٠١٩)، وارتكزت على استخدام نمذجة نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أفضل الأماكن لاستخراج المياه الجوفية بحوض وادي عباد بصحراء مصر الشرقية بناءً على عدة طبقات موزونة تمثلت في بيانات الأمطار وشبكة التصريف وملوحة المياه ومنسوب الماء الثابت ونموذج الارتفاعات الرقمية ودرجات واتجاهات الانحدارات وخصائص التكوينات الجيولوجية والقرب من الصدوع واستخدامات الأرض والتربة والطرق.

- دراسات ذات الصلة بمنطقة الدراسة:
- دراسة (Said,1981,P.31): وتناول فيها جيولوجية وادي النيل، وبخاصة رواسب البليستوسين الأوسط بالمنطقة.
- دراسة (Attia, F., 2001, P. 14): وتناولت إرسابات وادي النيل والدلتا.
- دراسة (Moussa, B., Sameeh, S., & Naser, M., 2004, pp.155-176)، وعالجت الطبيعة الصخرية والترسيبية بالمنطقة وما حولها، والتكوين المعدني والكيميائي لرواسب البليوسين الأعلى إلى البليستوسين الأعلى من أجل الوصول إلى مصدر وتاريخ هذه الرواسب.

كما اقتصرت الدراسات الجيومورفولوجية على:

- دراسة (عزب ٢٠٠٧) عن دراسة تطبيقية لسيول وادي قصب باستخدام التقنيات الكارتوجرافية الحديثة والتي قدر فيها حجم الجريان السطحي بحوض الوادي لسيل نوفمبر ١٩٩٤م وتوصل إلى أن حوض الوادي يعد أخطر أحواض المنطقة من حيث كمية المياه المنصرفة منه و نظراً لانحدار سطحه أثر السيل إلى تدمير العديد من القرى والأراضي الزراعية بنطاق تجمع مياه الجريان السطحي عند مصب الوادي وذلك قبل إنشاء التسعة سدود القائمة في الوقت الراهن.
- دراسة (كريم وحجاب ٢٠٠٨م) وتناولت التحليل المورفولوجي لمنحدرات جوانب وادي قصب الصحراء الشرقية، وتوصلت إلى أن المطر والتجوية لا سيما بفعل عمليات الإذابة يعدا أهم العوامل المؤثرة في تشكيل المنحدرات وتكوين ظاهرات جيومورفولوجية دقيقة بحوض الوادي.

■ الخرائط:

- الخرائط الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠٠٠٠٠ لوحة أسيوط ومقياس ١: ٢٥٠ ألف لوحة قنا.



- الخرائط الطبوغرافية لوحتي قصب وشيتون إنتاج هيئة المساحة الجيولوجية عامي ١٩٩١، ١٩٨٩م.

- نموذج DEM 30 تم تحميله من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية.
- الخرائط المعرفة من صور Google Earth Pro.
- Landsat 8 تم تحميلها من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية.
- الدراسة الميدانية:

استغرقت الدراسات الميدانية للوادي قرابة العامين وأربعة أشهر، بدأت منذ شهر فبراير عام ٢٠٢١م، وانتهت في يونيو ٢٠٢٣م، قام فيها الباحث برصد وتصوير الظواهر الجيومورفولوجية والقياسات والتحقق الميدانية لما أظهرته الخرائط من خلال تطبيق المعادلات الرياضية الخاصة بالمؤشرات المدرجة ضمن عملية النمذجة للتأكد من مصداقية النتائج.

#### عناصر البحث:

أولاً: مفهوم النمذجة الهيدروجيومورفولوجية.

ثانياً: المعايير والمؤشرات الدالة على وجود مكامن المياه الجوفية.

ثالثاً: عملية التحليل الهرمي AHP لنمذجة المعايير والمؤشرات.

رابعاً: النتائج ومناقشتها.

خامساً: التوصيات والمقترحات.

سادساً: المصادر والمراجع.

## أولاً: مفهوم النمذجة الهيدروجيوميورفولوجية:

تعرف النماذج بأنها إحدى صور المحاكاة للظواهر الطبيعية، وتتكون من نسيج تركيبى مؤلف من عناصر متوافقة بعلاقات طردية متبادلة، وتعد الخرائط والمنحنيات البيانية نماذجاً لمحاكاة الواقع بصيغة إحصائية تتحول الى تمثيل صوري تكون أكثر إدراكاً، كما أن بناء النماذج قد سهل تصميمها باستخدام البرامج التي منها تبنى نماذج معتمدة على قواعد البيانات المتجهة Vector والخلوية Raster (قربة، ٢٠١٠، ص ٢٠-٣٠)، وتعني الدراسة بالنمذجة الهيدروجيوميورفولوجية هنا عملية بناء نموذج محاكاة من خلال دمج قيم المؤشرات والعوامل المؤثرة في خزن المياه الجوفية والتي تم اتخاذها كمعايير يستدل منها على مكامن المياه الجوفية من خلال عملية التطابق الموزون لهذه المعايير التي تم تجهيزها كنماذج خلوية مصنفة وفقاً للوزن النسبي لكل خلية من خلايا النموذج بهدف التنبؤ بمكامن المياه الجوفية بحوض الوادي قيد الدراسة.

وتنقسم نمذجة الأحواض المائية إلى قسمين رئيسيين وفقاً لعلاقة كل منهم بالعناصر المكانية Spatial Components أولهما النموذج المجمع (المكتل) Lumped Model، وهو النموذج الذي يتعامل مع الأحواض الثانوية كلاً على حدة من الحوض الكلي ولا يأخذ في نظر الاعتبار التغيرات المكانية للأحواض المجاورة الأخرى، وثانيهما النموذج التوزيعي Distributed Model، وهي النماذج التي تعتمد على دراسة الحوض الكلي وتأخذ بنظر الاعتبار جميع التغيرات المكانية المحيطة بالحوض، من خلال حل المعادلات التي تتحكم بكل بكسل في الشبكة، وهذا هو الذي اعتمده الباحث على اعتبار أن أحواض التصريف الثانوية التي يتألف منها حوض وادي قصب تعد وحدة مومورفولوجية متصلة تصب جميعاً في نقطة واحدة (USDA-ARS,p12).

## ثانياً: المؤشرات الدالة على وجود مكامن المياه الجوفية:

تجدر الإشارة هنا إلى أنه تم استخدام العديد من المظاهر السطحية المشاهدة أو المأخوذة من بيانات التحسس النائي كمؤشرات مهمة للكشف عن المياه الجوفية والتي تم تصنيفها كما يلي:

١. المؤشرات الجيومورفولوجية:

أ. المؤشرات الجيولوجية:

تتمثل في طبيعة التكوينات الجيولوجية وكثافة التراكيب الخطية، وترجع أهمية التكوينات الجيولوجية إلى كونها تتحكم في عمليات خزن المياه بشكل كبير، وتفاوت من تكوين لآخر وفقاً لتباين خصائصه الفيزيائية والكيميائية، ويتضح من الشكل (٧) أن التكوينات الجيولوجية السطحية بحوض وادي قصب تتألف من صخور أغلبها رسوبية ورواسب مفككة تتراوح أعمارها بين عصري الباليوسين والهولوسين، أي أنها في أغلبها تكوينات رسوبية ذات نفاذية عالية وقدرة فائقة على خزن مياه المطر، ويمكن دراسة كل من تلك التكوينات من الأقدم للأحدث كما يأتي:

▪ تكوينات الزمن الجيولوجي الثالث:

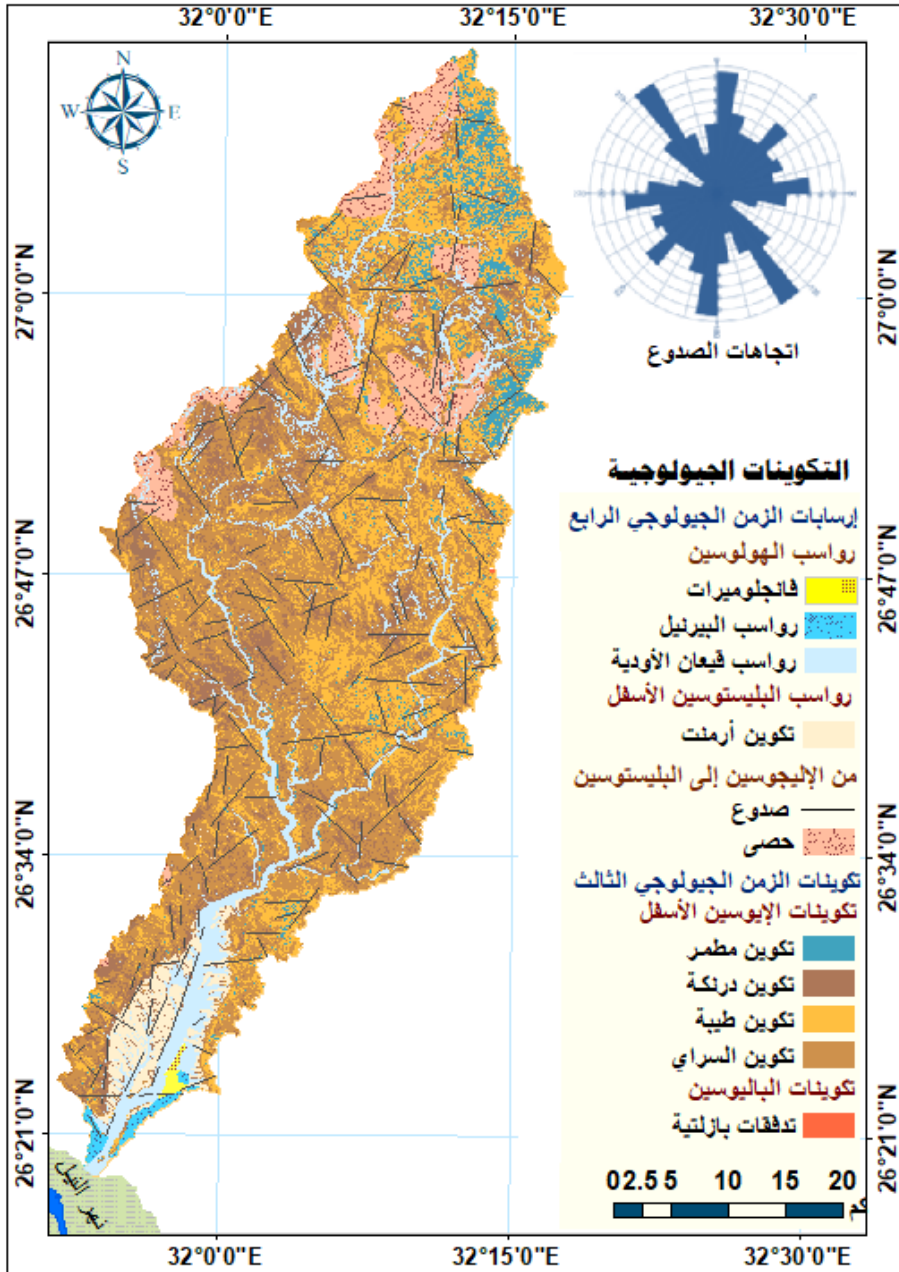
تبدأ تكوينات هذا الزمن بتكوينات عصر الباليوسين، وتظهر في شكل تدفقات بازلتية في القسم الشرقي من وادي أبو سيديا بمساحة لا تتعدى ٠.٠١٪ من مساحة المنطقة.

وتعد تكوينات الإيوسين الأسفل الأكثر انتشاراً بالحوض ويمثلها ما يلي:

- تكوين السراي:

يتألف هذا التكوين من الحجر الجيري الذي تتخلله بعض العقد الصوانية، ويقدر سمكه بنحو ٣٠٠ متراً (Said, R., 1962, p.94)، ويشكل شريطاً متصلاً دون انقطاع على طول امتداد الحافة الجبلية إلى الشرق من أولاد يحيى جنوباً وحتى الأحايوة شمالاً، لذلك تشرف الحافة على مجرى النيل في هذا القطاع بحائط رأسي متصل شديد الانحدار، اللهم إلا عند مخارج الأودية التي تشق مجاريها عبر هذا التكوين، والتي تبدو جوانبها على هيئة حوائط رأسية مرتفعة عارية من المفصلات نتيجة تأثرها بعمليات التعرية المائية، وتتكشف هذه التكوينات أيضاً في الجزء الجنوبي الشرقي من الحوض مما يعطى انطباعاً

عن حدوث حركة رفع تدريجية مع نهاية تلك الفترة أدت إلى تعرضه لعوامل التحات مما أدى إلى اختزال سمك ومساحة هذه التكوينات به (Said, R.1981.,pp.16\_17).



المصدر: الخرائط الجيولوجية مقياس ١ : ٥٠ ألف \_ ١ : ١٠٠ ألف باستخدام برنامج Arc Map10.5، rockworks 17

شكل (٧) التكوينات الجيولوجية بحوض وادي قصب

ويوضح الجدول الآتي مساحات التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة.

جدول (١) مساحات التكوينات الجيولوجية بمنطقة الدراسة

الزمن	العصر	نوع التكوين	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	% من المساحة
الرابع	الهولوسين	فانجلوميرات	٤.١٥	%٠.٢١
		رواسب البيرنيل	١٠.٩٤	%٠.٥٦
		رواسب قيعان الأودية	١٧٣.٤١	%٨.٩٠
	البليستوسين الأسفل	تكوين أرمنت	٥٣.١٢	%٢.٧٣
	الأوليغوسين حتى البليستوسين	حصى	١٣٥.٧٢	%٦.٩٧
الثالث	الإيوسين الأسفل	تكوين مطمر	١٠١.٧٠	%٥.٢٢
		تكوين درنكة	٢٦٠.٢٦	%١٣.٣٦
		تكوين طيبة	٤٩٨.١٤	%٢٥.٥٧
		تكوين سراي	٧١٠.٥٣	%٣٦.٤٧
	الباليوسين	تدفقات بازلتية	٠.١٧	%٠.٠١
		المجموع	١٩٤٨.١٤	%١٠٠

المصدر : من حسابات الباحث وفقاً للشكل السابق.

- تكوين طيبة Formation Thebes:

يتألف هذا التكوين من طبقات سميكة من صخور الحجر الجيري الذي يتخلله الطباشير وقليل من الطفل، ويتخلله أشرطة من الصوان (Attia, F.2001,p14)، بالإضافة إلى وجود تداخلات من كنجلوميرات الحجر الجيري (Philobos & Mansour,1983, p.133)

- تكوين درنكة Drunka Formation:

يظهر هذا التكوين على شكل طبقات من الحجر الجيري الطباشيري المختلط بأشرطة من المارل مع بعض العقد الصوانية شديدة الصلابة بأقطار تصل إلى ١,٢م، ويتسم بلونه الأبيض الثلجي الذي يتغير إلى اللون الأبيض الرمادي المائل إلى الوردي

بفعل الظروف الجوية، وتتسم صخور هذا التكوين بهشاشتها ونسيجها سكري الحبيبات وكثرة الشقوق والفواصل (Abdel Klreem,1972,p.25).

- تكوين مطمر:

يظهر هذا التكوين في القسم الشمالي الشرقي منها في شكل طبقات متتابعة من الحجر الجيري الطيني الغني بالعقد الصوانية، والحجر الجيري النيموليتي، والحجر الجيري الطباشيري المختلط بالمارل فوق تكوينات درنكة، بسمك يقدر في المتوسط بنحو ٦٨ متراً عند مصب الوادي ويتناقص تدريجياً ليصل إلى نحو سبعة أمتار عند منابعه (Mansour H.H.,1966,p.34)، وتتسم صخور هذا التكوين بهشاشتها وضعف مقاومتها مما جعلها أكثر عرضة للتجوية الكيميائية لا سيما تجوية خلايا العسل، والتعرية المائية فتبدو آثار التعرية الجدولية بشكل ملحوظ عند منابع أودية قصب الأعلى وشيتون الأوسط وفهيدي وأبوسيديا وقيسوم.

- من الإليجوسين حتى البليستوسين:

تظهر في الأجزاء العليا منه ورافده الرئيس شيتون بسمك يتراوح بين ١٥ - ٢٠٠ م، على هيئة طبقات متقطعة بفعل الصدوع الناتجة عن عمليات الرفع التي بدأت في عصر الإيوسين واستمرت حتى الأوليجوسين كرد فعل لتكون الأخدود الأفريقي العظيم، تتألف من الحصى والكوارتز والحجر الرملي مع بعض العقد الصوانية شديدة الصلابة نتيجة التحام مكوناتها بالسليكا، وتتسم بلونها البني المائل للسمره (Said, R., 1962, Pp 177-179).

■ رواسب الزمن الجيولوجي الرابع:

- رواسب البليستوسين الأسفل:

يمثل رواسب هذا العصر تكوين أرمنت الذي يتألف من الرمال المختلطة بالعقد الصوانية وشرائح الألباستر، والرمل الحصوية والكنجلوميرات و طبقات من الطين المختلط بعقد جيرية (Moussa et al, 2004,p.16)، وقد أشار مهران إلى أن طبقات الطين بهذا التكوين عبارة عن رواسب مراوح فيضية قديمة ترسبت أجزاء منها في وسط قاري

عند قمم المراوح الفيضية وأجزائها الوسطى، كما ترسبت أجزاء أخرى في بيئة البحيرات المتبقية من تراجع الخليج البليوسين (Mahran 1993, pp7-22).



شكل (٨) استخراج الطين من أسفل المدرجات الفيضية بتكوين أرمنت بحوض قصب الأدنى

- رواسب الهولوسين: وتنقسم هذه التكوينات إلى ثلاث وحدات رئيسة كما يأتي:
  - ✓ رواسب قيعان الأودية: تتألف من مفتتات صخرية غير متجانسة في بطن الوادي من الرمال والسلت والحصباء والحصى المشتق من الصخور الإيوسينية الجيرية على جانبي الوادي، وتجمعت هذه الرواسب بفعل السيول التي حدثت خلال الفترات المطيرة من الهولوسين بسمك يتراوح بين ١٠ : ٢٠ متراً (عقل، ١٩٩٢، ص ٤٣).
  - ✓ رواسب البيرنيل: يطلق عليها الرواسب النيلية القديمة، وتتألف من الحصى والحصباء والرمل النهري الخشنة التي نُقلت من المرتفعات الأثيوبية في أواسط العصر البليستوسيني، وتقع بصورة غير متوافقة أسفل طبقة السلن النيلية (Said, 1981, p.51).

✓ الفانجلوميرات: عبارة عن صخور رسوبية تتكون من شظايا غير متجانسة من البازلت ومبللة بالماء قليلاً بأحجام متباينة، تترسب بأراضي المراوح الغرينية بأحواض الأودية، وتتسم هذه الصخور بمحدودية انتشارها بمنطقة الدراسة، حيث لا تتعدى المساحة التي تغطيها نحو ٠,٢١٪ من المساحة الكلية للحوض .

ب. البنية الجيولوجية:

تعد التراكيب الخطية أكثر عناصر البنية الجيولوجية تأثيراً في خزن مياه المطر ومد الطبقة الحاوية للماء به لكونها تمثل نطاقات ضعف صخري تساعد على تجمع وحركة المياه الجوفية بين التكوينات الجيولوجية المختلفة ، ويوضح الجدول التالي أطوال وأعداد الصدوع حسب اتجاهاتها بمنطقة الدراسة.

جدول (٢) أطوال وأعداد الصدوع

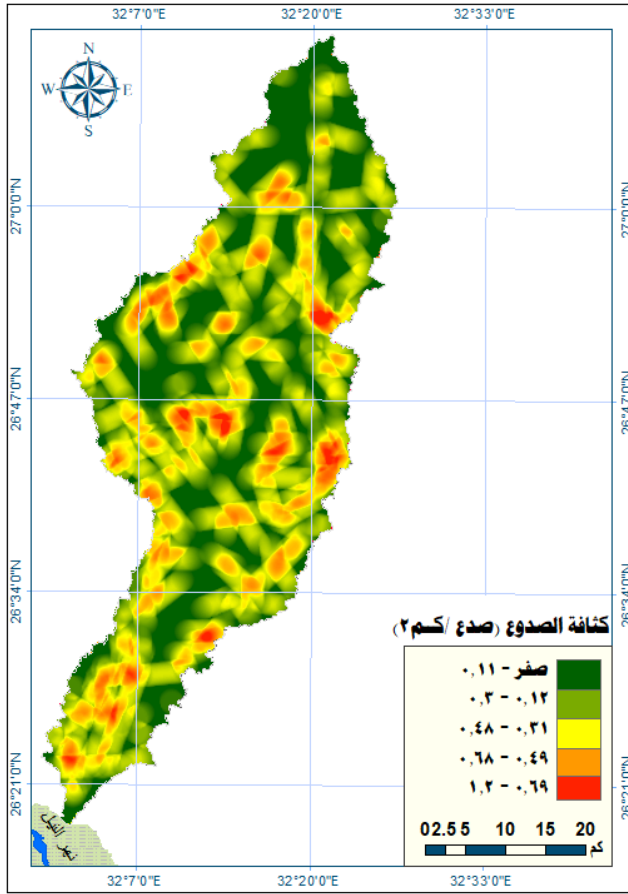
الاتجاهات	أعداد الصدوع	% من أعداد الصدوع	أطوال الصدوع (كم)	% من أطوال الصدوع	متوسط طول الصدع (كم)
شمالي/جنوبي	١٤	٦,٦٤	٢٤,٩١	٤,٠٣	٠,٢٩
شمال الشمال الشرقي/جنوب الجنوب الغربي	٣١	١٤,٦٩	٧٦,١٢	١٢,٣١	٠,٤
شمالي شرقي /جنوبي غربي	٣٩	١٨,٤٨	١٢٥,٥٢	٢٠,٣١	٠,٥٢
شرق الشمال الشرقي / غرب الجنوب الغربي	٤١	١٩,٤٣	١١٦,٧٦	١٨,٨٩	٠,٤٦
شرقي / غربي	١٥	٧,١١	٥٣,٢٩	٨,٦٢	٠,٥٧
شرق الجنوب الشرقي / غرب الشمال الغربي	١٤	٦,٦٤	٣٨,٦٣	٦,٢٥	٠,٤٥
جنوبي شرقي / شمالي غربي	٤٣	٢٠,٣٨	١٣٩,١٨	٢٢,٥٢	٠,٥٢
جنوب الجنوب الشرقي / غرب الشمال الغربي	١٤	٦,٦٤	٤٣,٧١	٧,٠٧	٠,٥١
المجموع	٢١١	%١٠٠	٦١٨,١٢	%١٠٠	

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الشكل (٧).

ومن تحليل بيانات الجدول السابق يتضح أن الاتجاه السائد للصدوع هو الاتجاه الجنوبي الشرقي/الشمالي الغربي بإجمالي ٤٣ صدعاً بما يعادل نحو ٢٠,٣٨٪ من إجمالي عدد الصدوع بمنطقة الدراسة، ونحو ٢٢,٥٢٪ من إجمالي أطوالها بمتوسط طول ٠,٥٢ كم/صدع، تلاه على الترتيب الاتجاهات شرق الشمال الشرقي/غرب الجنوب الغربي، والشمال بالشرقي/الجنوبي الغربي، شمال الشمال الشرقي/جنوب الجنوب الغربي، وتكمن أهمية تحديد



الكثافة الخطية لمنطقة في أنها تشير إلى مواضع اختراق مياه المطر من خلال الصدوع (Sitender, 2010.p.7)، ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر تبين أن كثافة الصدوع تراوحت بين صفر\_٢،١ صدع/كم<sup>٢</sup> كما يوضحه (شكل ٩).



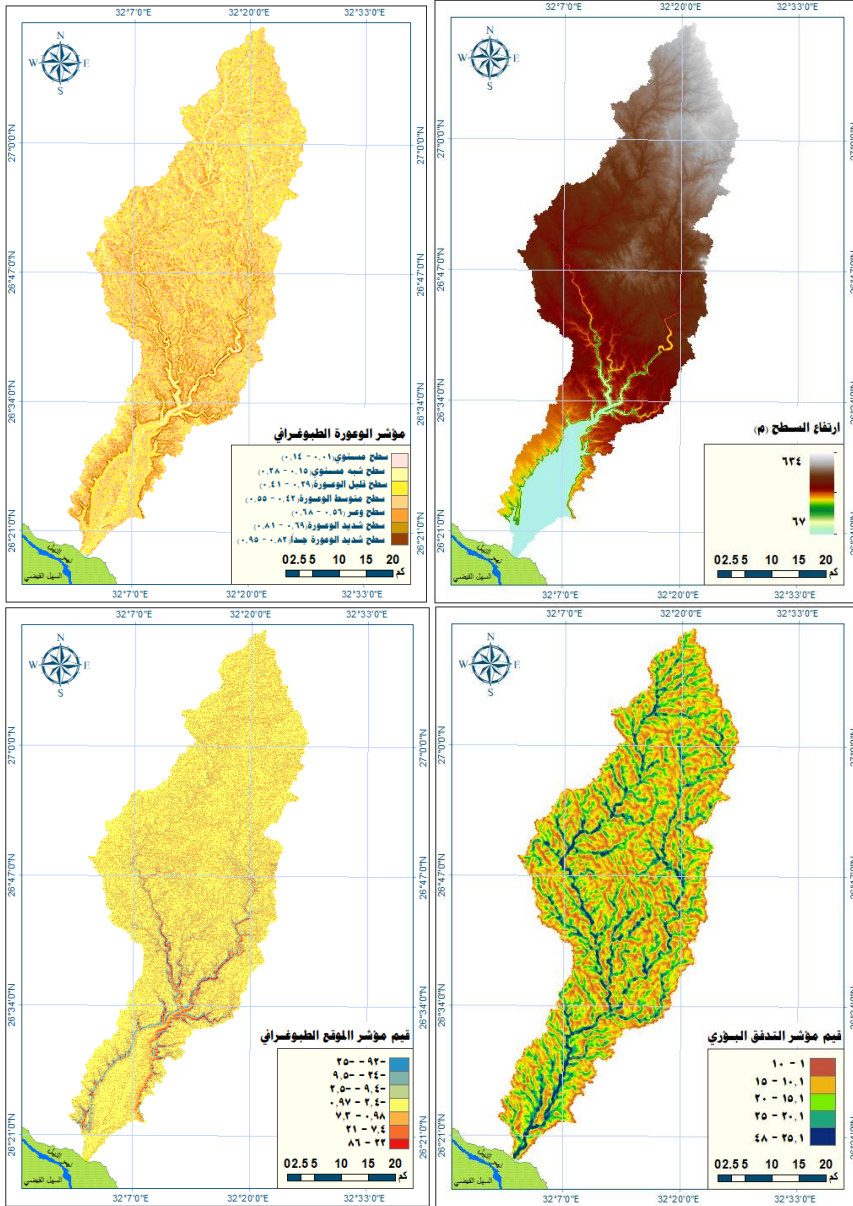
المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arcmap10.5 باستخدام الأمر Line Density

شكل (٩) قيم مؤشر كثافة الصدوع

ويعد هذا المؤشر قوياً يعكس ضعف بنية صخورها وتكوينها الجيولوجي، فقد قدرت المواضع التي تشغلها الصدوع بنحو ٨١,٩٣٪ من إجمالي مساحة المنطقة، في حين خلا من أراضيها ما يوازي ١٨,٠٧٪ من مساحتها الكلية، وقد تبين ثمة علاقة ارتباطية موجبة ضعيفة جداً قدرها (٠,٢٠٩) بين كثافة الصدوع والتصريف المائي، مما يدل على التباين المكاني فيزيد من فرص احتماليات خزن المياه الجوفية بها.

## ٢. المؤشرات المورفولوجية:

تشمل الخصائص والمؤشرات التضاريسية كارتفاع السطح ومؤشر الوعورة الطبوغرافية ومؤشر الموقع الطبوغرافي كما يوضحها (شكل ١٠).



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arcmap10.5.

شكل (١٠) الخصائص والمؤشرات التضاريسية لحوض وادي قصب

## أ. ارتفاع السطح:

يعد ارتفاع السطح أحد أهم المؤشرات السطحية التي تؤثر بشكل مباشر في خزن المياه الجوفية لكونها تحدد مناطق تجمع المياه التي تتحدد من انسياب مياه المطر من المناسيب الأعلى في المناسيب الأقل، ومن الشكل السابق يتضح أن مناسيب السطح بحوض الوادي يتراوح بين ٦٧ عند مصب الوادي جنوباً و٦٤٣م عند منابعه بأقصى شمال شرق الحوض عند خط تقسيم مياهه مع وادي جردي شرقاً ووادي الأسيوطي الأعلى شمالاً ووادي أبو طريفية غرباً، ينحدر منها شبكة تصريف مائي ظلت متصلة من المنبع للمصب حتى وقت قريب إلى أن تم بناء نحو أحد عشر سداً ركامياً ليخفف من حدة الجريان السيلي وآثاره التدميرية بالنجوع الواقعة عند مصب السيل، وهذا إن دل فإنما يدل على أن المياه المتساقطة أقصى شمال الحوض بات الكم الأكبر منها يحتجز خلف هذه السدود مما يزيد من فرص التسرب للخزان الجوفي في الوقت الراهن، وقد ساعد على ذلك أن المواضع المستوية وشبه المستوية بالحوض تتمثل في مجاري الأودية والقسم الشمالي الشرقي من حوض الوادي وهي مواضع تزداد بها فرص التسرب بصورة أكبر من غيرها، بينما يشكل القسم الأكبر من حوض الوادي (٤٢,٠٩٪) مناطق متوسطة الوعورة.

## ب. مؤشر الوعورة الطبوغرافية (Topographic Roughness Index (TRI):

مؤشر الوعورة الطبوغرافية (TRI) هو قياس طوره Riley وآخرون عام ١٩٩٩م للتعبير عن مقدار فرق الارتفاع بين الخلايا المجاورة لشبكة ارتفاع رقمية، ويعبر هذا المؤشر عن الفرق في قيم الارتفاع من خلية مركزية وثمانية خلايا تحيط بها مباشرة، ويحسب من المعادلة التالية:

$$TRI = \sqrt{Abs(\max^2 - \min^2)}$$

(Mohsen Farzin et al, 2021, p.8).

حيث: max و min هما أكبر وأصغر قيم للخلايا في مستطيل به تسع قيم ارتفاع متجاورة.

وتكمن أهمية هذا المؤشر في أنه يوضح قيم التدفق البؤري للمياه بناءً على فروق الارتفاعات، وقد تم تصنيف فئات وعورة السطح وفقاً للحدود التي وضعها (Riley 1999) كما يوضحه جدول (٣).

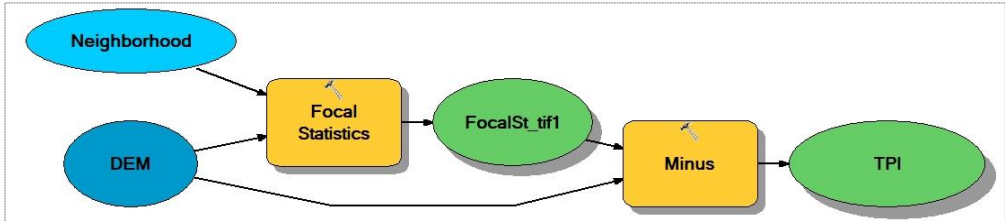
جدول (٣) وصف سطح منطقة الدراسة وفقاً لفئات مؤشر الوعورة الطبوغرافي

الفئات	الرمز	وصف السطح	المساحة	% من المساحة
٠,١٤ - ٠,٠١	LTS	مستوي	٩,٦٦	٠,٥
٠,٢٨ - ٠,١٥	NLS	شبه مستوي	١٥٢,٨٤	٧,٨٥
٠,٤١ - ٠,٢٩	SRS	قليل الوعورة	٥٦٨,٤٦	٢٩,١٨
٠,٥٥ - ٠,٤٢	IRS	متوسط الوعورة	٨١٩,٩٩	٤٢,٠٩
٠,٦٨ - ٠,٥٦	MRS	وعر	٣٤١,٥٤	١٧,٥٣
٠,٨١ - ٠,٦٩	HRS	شديد الوعورة	٥٥,٣٩	٢,٨٤
٠,٩٥ - ٠,٨٢	ERS	شديد الوعورة جداً	٠,٢٦	٠,٠١
			١٩٤٨,١٤	٪١٠٠

المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على الشكل (٦).

ج. مؤشر الموقع الطبوغرافي (TPI) Topographic Position Index:

يساعدنا مؤشر الموقع الطبوغرافي على أتمتة التصنيف الجيومورفولوجي للمناظر الطبيعية وتمييز الأنواع المختلفة من التضاريس في منطقة الدراسة ، مثل التلال وقيعان الوادي والسهول وغيرها ، ويتم حسابه من خلال مقارنة ارتفاع كل الخلايا المحيطة به، ويمكن حسابه من خلال النموذج التالي.



المصدر: من إعداد الباحث.

شكل (١١) نموذج لحساب قيم مؤشر الموقع الطبوغرافي

ومن الجدير بالذكر أن الباحث قام بإعداد النموذج السابق في ضوء المعادلة

التالية:

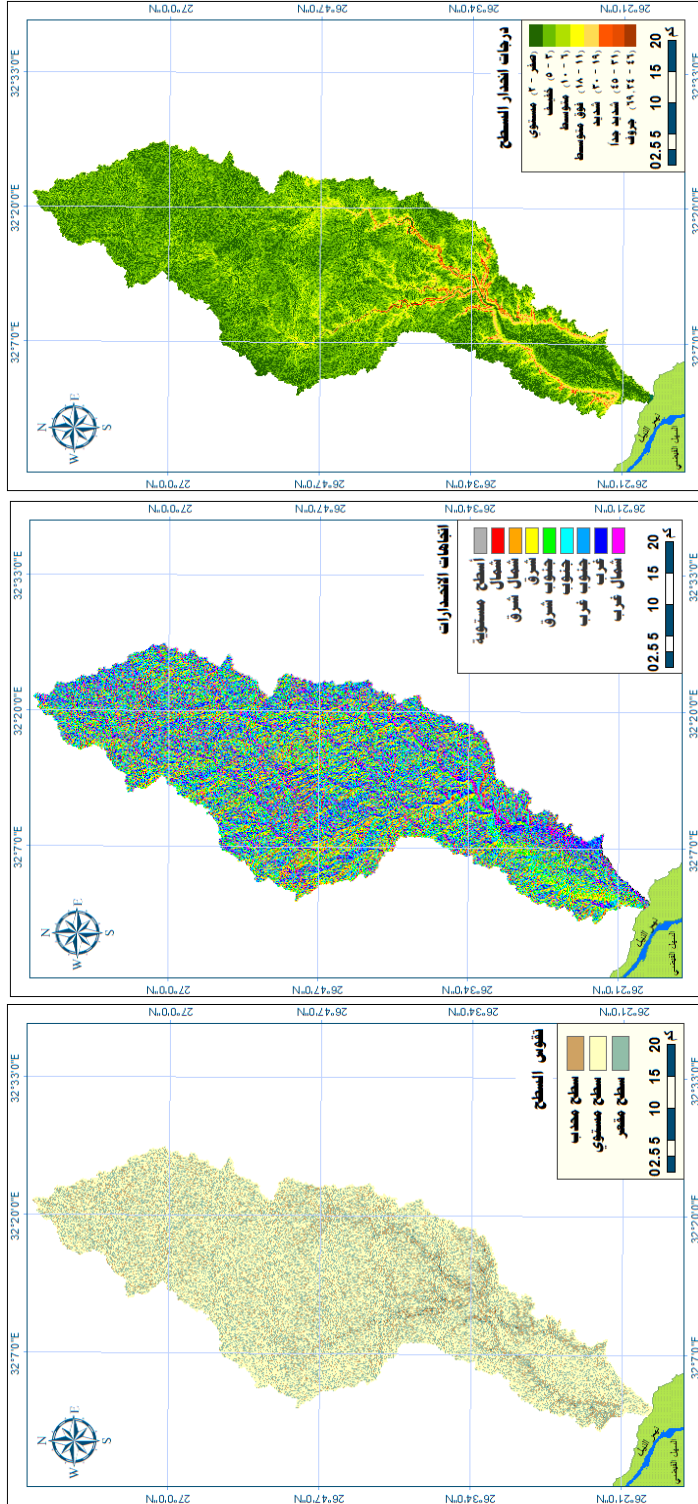
$$TPI = \frac{E_{Pixel}}{E_{Surrounding}}$$

حيث تعني  $E_{Pixel}$  ارتفاع النقطة التي تمثلها الخلية في نموذج الارتفاع الرقمي، كما تعني  $E_{Surrounding}$  متوسط ارتفاع الخلايا المجاورة (Mohsen Farzin et al, 2021, p.8). وتجدر الإشارة هنا إلى أن قيم TPI المنخفضة إلى ميل أقل مما يعزز تسلل المياه داخل مسامات الصخور، بينما تشير القيم المرتفعة إلى ارتفاع المنحدر وانخفاض قيم هذا التسلل (Mohsen Farzin et al, 2021, p.5) وعلى هذا الأساس تم ترتيب القيم داخل النموذج بعد إعادة تصنيفها.

أما عن الخصائص الانحدارية فتتمثل فيما يلي:

- انحدار السطح Slope:

ترجع أهمية هذا العامل إلى كونه يتحكم بصورة مباشرة في تغذية المياه الجوفية لكونه يحدد الزمن المستغرق لحصول الجريان السطحي لمياه الأمطار عند سقوطها عبر مقطع التربة كما يؤثر بشكل مباشر في تجميع مياه الأمطار وزيادة احتمالات تغذية المياه الجوفية، فالأحواض الحادة شديدة الانحدار غالباً ما تكون ذات قمم حادة لمنحنى المياه الجارية (Schumm, 1954)، ومن ثم تصبح أقل قدرة على حبس تلك المياه بمجاريها، وبالتالي تنقصر إلى حد كبير بالمياه الجوفية، بينما تمنح المنحدرات الأقرب للاستواء وقتاً أطول لتدفق مياه الأمطار مما يزيد من فترة بقاء مياه الأمطار على سطوحها فتزيد من فرص تغذية الخزان الجوفي لا سيما إذا ارتفعت معدلات المسامية والنفاذية كما بالصخور الرسوبية التي تمثلها منطقة الدراسة بشكل جيد، ومن بيانات الجدول (٤) يتضح أن ٤٥,٧٤% من مساحة المنطقة أسطحاً ذات انحدارٍ خفيفٍ، و٣٣,٣٧% منها مستوياً مناطق ذات أسطح مستوية، وبشكل عام تقل المساحات تدريجياً كلما زادت شدة الانحدار والتي سجلت أقل مساحات لها بفئة الجروف الرأسية والتي تراوحت بين ٤٥ \_ ٦٩,٣٤ درجة على جوانب منحدرات واديي قصب وشيتون في قسميهما الأدنى كما يوضحه (شكل ١٢).



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نموذج ارتفاع رقمي ٣٠ م

شكل (١٢) الخصائص الانحدارية لمنطقة الواسية

جدول (٤) مساحات فئات الانحدار بحوض وادي قصب

فئة الانحدار	طبيعة الانحدار	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	% من المساحة
صفر_ ٢	مستوي	٦٥٠,١٠	٣٣,٣٧
٣- ٥	خفيف	٨٩١,٠٤	٤٥,٧٤
٦- ١٠	متوسط	٢٨١,٦٧	١٤,٤٦
١١- ١٨	فوق متوسط	٦١,٧٩	٣,١٧
١٩- ٣٠	شديد	٣٨,٩٩	٢
٣١- ٤٥	شديد جداً	١٩,٤٢	١
أكبر من ٤٥	جروف	٥,١١	٠,٢٦
المجموع		١٩٤٨,١٤	٪١٠٠

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الشكل (٨).

#### - اتجاهات الانحدارات Aspects:

يعد هذا العامل من أهم العوامل الجوهرية المؤثرة في تحديد مكامن الجوفية لكونها تمثل الضابط الرئيس في توجيه تدفقات المياه السطحية وتحديد مواضع تجمع مياه المطر، ومن تحليل (شكل ٨) يتضح أن الاتجاهات الجنوبية الغربية، والغربية، والجنوبية تمثل الاتجاهات السائدة للانحدار بالمنطقة بنسب تصل إلى ١٣,٧٣٪، ١٣,٢٤٪، و ١٣,٠٥٪ من مساحة المنطقة على الترتيب تلتها الاتجاهات الجنوبية الشرقية و الشرقية والشمالية الغربية على الترتيب، بينما جاءت الاتجاهات الشمالية الشرقية، والأسطح المستوية التي شكلت نحو ٧,٤٩٪ من إجمالي مساحة المنطقة ثم الاتجاهات الشمالية في المراتب الأخيرة، و لكون الأسطح المستوية هي أكثر المواضع التي تتجمع فيها مياه الأمطار تم إعطائها أعلى درجة تأثير لفئات بيانات هذا العامل ثم الاتجاهات التي تتفق مع الاتجاه العام لانحدار الحوض كما يوضحه جدول (٥).

جدول (٦) مساحات اتجاهات الانحدارات

اتجاهات الانحدارات	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	% من المساحة	درجة التأثير	اتجاهات الانحدارات	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	% من المساحة	درجة التأثير
أسطح مستوية	١٤٥,٨٤	٧,٤٩	٩	جنوب	٢٥٤,٣٣	١٣,٠٥	٦
شمال	١١٥,١٩	٥,٩١	١	جنوب غرب	٢٦٧,٥٤	١٣,٧٣	٨
شمال شرق	٢٠٨,٩٣	١٠,٧٢	٢	غرب	٢٥٧,٨٨	١٣,٢٤	٧
شرق	٢٢٩,٨٣	١١,٨٠	٤	شمال غرب	٢٢٦,٥١	١١,٦٣	٣
جنوب شرق	٢٤٢,١٠	١٢,٤٣	٥	المساحة	١٩٤٨,١٤	٪١٠٠	

المصدر: حسابات الباحث من الشكل (٨).

## - انحناء السطح Curvature:

تكمُن أهمية هذا العامل في أنه يحدد مناطق تجميع مياه المطر ومن ثم يحدد أيها أكثر إسهاماً في تغذية الخزان الجوفي، فالمناطق المقعرة تتركز فيها مياه المطر لفترات أطول من المناطق المحدبة التي تنساب المياه على جوانبها عقب سقوطها مباشرة، كما أن المستوية منها تتوزع فيها مياه المطر على مساحات أفقية أكبر، ومن ثم تصبح أكثر عرضة للفقْد بفعل التبخر، وفي ضوء ذلك تم تصنيف مستويات انحناء السطح حسب قدرتها على تغذية الخزان الجوفي بمياه المطر.

## ٣. الخصائص والمؤشرات الهيدرولوجية:

تتعدد الخصائص والمؤشرات الهيدرولوجية المتكاملة في خزن مياه المطر وتوجيهه داخل أحواض التصريف وسيتم هنا التركيز على أهمها كما يلي:  
أ. شبكة التصريف Drainage Net works:

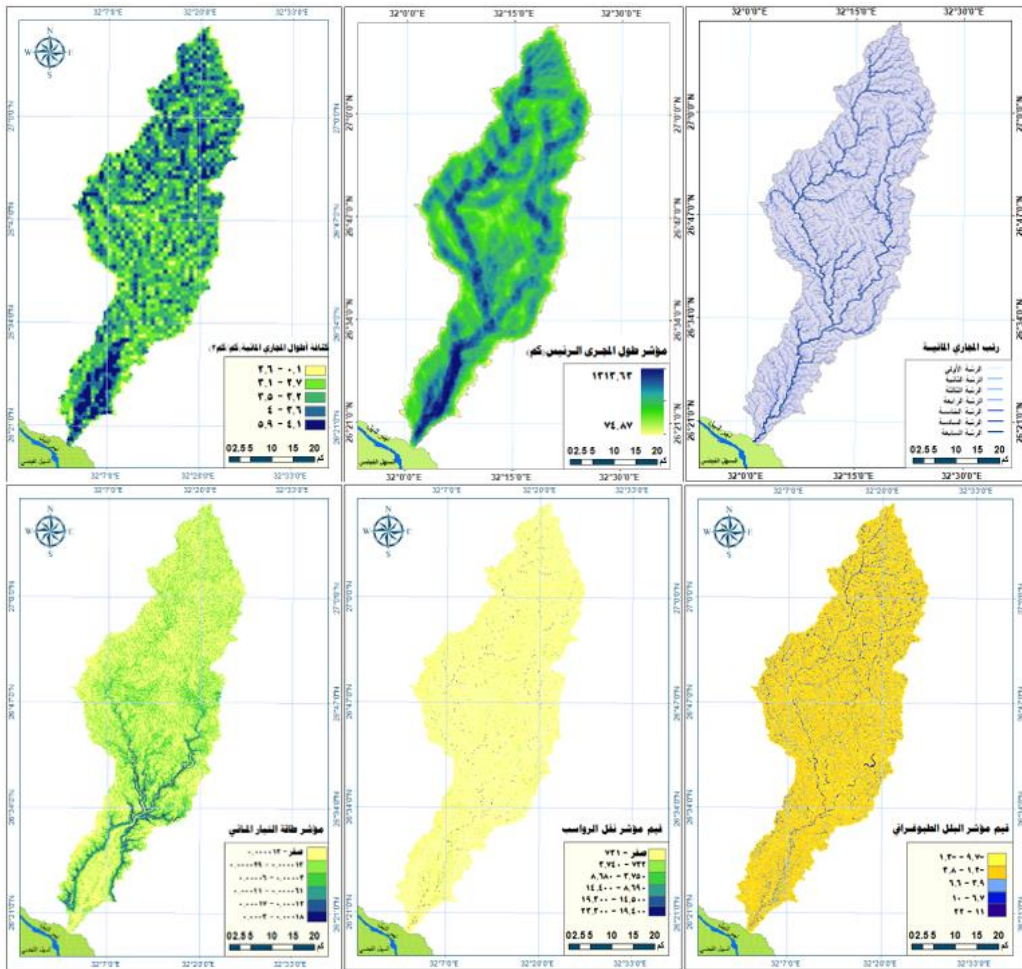
يزداد حجم التصريف المائي للروافد النهرية بزيادة رتبها، كما تزداد فرص حدوث الفيضانات النهرية في الرتب العليا وفي المجرى الرئيس نتيجة لزيادة حجم تصريفها المائي (Weyman,1975,p275)، وينسحب القول على الأودية الجافة حيث تعكس مدى قابلية ترشيح مياه الأمطار لتغذية النطاق المشبع بالماء، فالنسبة العالية تعني ترشيح قليل للمياه بينما النسبة القليلة تعني ترشيح عال، وقد تم تصنيف رتب المجاري المائية هنا وفقاً لطريقة (Strahler,1964,p4:76)، وكما يوضحه الشكل (٩) يتضح أن حوض الوادي يتسم بوجود شبكة التصريف المائي يقدر عدد مجاريها ٢٣٦٨٦ مجرى مائي تصل إلى الرتبة التاسعة.

## ب. مؤشر طول المجاري الرئيسية (كم) LS Length Of Stream:

يعد هذا المؤشر من العوامل بالغة التأثير في حجم ومقدار التغذية السيلية للخزان الجوفي، حيث تتيح المجاري الأطول فرصاً أكبر للتشرب على طول المجرى، وتزداد قدرتها بشكل كبير كلما قل معدل انحدار السطح الذي يقطعه ذلك المجرى المائي، ومن خلال حساب هذا المؤشر تبين أن الرتب الأعلى بوادي قصب وشيتون سجلاً أعلى قيم لهذا المؤشر، وقد وصلت قيمه بهما نحو ١٣١٣,٦٣ كم كما يوضحه الشكل (١٣)، أما عن منطقة



الدراسة بشكل عام فإن قمم معدلات صرف الماء من حوض وادي قصب تزيد كثيرًا عن باقي أحواض التصريف بالصحراء الشرقية، حيث قدر وقت وصول المياه من فتحة الوادي حيث المصب يبدأ بعد حوالي ثلاث ساعات من سقوط الأمطار بمعدل تصريف ٤ م<sup>٣</sup>/ثانية، وبتوالي وصول المياه بمرور الوقت تزداد كمية تصريف المياه عند مصب الوادي حتى يصل إلى أقصى معدل له عند تصرف المياه المتجمعة في مساحة الحوض كله (٤١٢ م<sup>٣</sup>/ثانية) وهذا هو أقصى معدل تصريف لكمية المياه المتجمعة في الحوض (عزب، ٢٠٠٧، ص ٨٤).



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc map 10.5.

شكل (١٣) الخصائص والمؤشرات الهيدرولوجية لحوض وادي قصب

ج. كثافة أطوال المجاري المائية (كم/كم<sup>2</sup>):

دأبت الكتب والبحوث الجيومورفولوجية في استخدام مصطلح كثافة التصريف Drainage Density للدلالة على نصيب كل كيلومتر مربع من مساحة الحوض من إجمالي طول الشبكة النهرية، إلا أن هذا المصطلح لا يتوافق مع مدخلات المعادلة، والتي بنيت على أساس قسمة مجموع أطوال المجاري على مساحة الحوض (الصالح، ١٩٩٢، ص ٧٨)، أما مصطلح كثافة التصريف يعني قسمة كمية المياه التي تمر من المصب أو من نقطة ما من المجرى في زمن محدد على مساحة الحوض، لذلك فإن مصطلح كثافة أطوال المجاري المائية يعد هو الأنسب لاتفاقه مع المدلول الجيومورفولوجي للمعادلة المستخدمة، وتمثل المواضع ذات القيم الأعلى لهذا المعامل مواضع ذات ترشيح عالٍ، وبالتالي ترتفع احتمالات وجود مياه جوفية بها، وعلى هذا الأساس تم ترتيب الوزن النسبي للفئات داخل النموذج بعد تصنيفها.

## د. الجريان المتجمع Flow Accumulation:

عندما تصل مياه الأمطار إلى سطح الأرض، يتدفق جزء منها عبر مسيلات مائية ويتجمع من مجاري مائية تنتقل من رتب أقل لرتب أعلى منها لتشكل جرياناً سطحياً يتجمع في نهايات الرتب الأعلى، وما يتبقى منها يتجمع في مناطق مستوية أو شبه مستوية أو مقعرة في مناطق تعرف باسم مناطق تجميع المطر أو مستجمعات المياه Catchment's area تتسرب لاحقاً عبر مسامات التربة، وتعد هذه المواضع بمثابة مصادر رئيسة لإعادة شحن الخزان الجوفي لاسيما إذا زات مساحاتها وعمقها.

## هـ. مؤشر البلل الطبوغرافي (Topographic Wetness Index (TWI):

يقيس مؤشر البلل الطبوغرافي قدرة وتحكم مظاهر السطح في إمداد المياه إلى نقطة معينة على طول منحدر التل في الحالة المستقرة، وتشير القيم الأعلى لهذا المؤشر إلى القدرة العالية على حبس الماء بصورة أكبر ومن ثم فهي ترتبط بمظاهر السطح الأقرب إلى الاستواء، إذ أنه كلما كان المنحدر أكثر انحداراً، انخفض محتوى الرطوبة

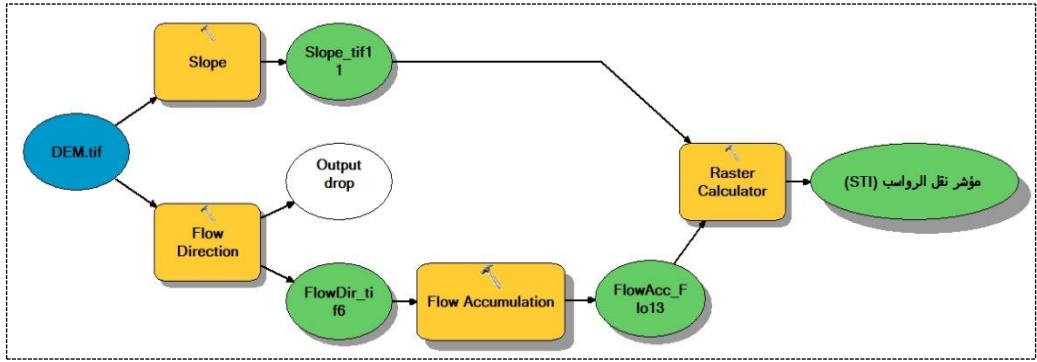
(Mohsen Farzin et al, 2021,p.7)، وكما هو ملاحظ بالشكل (١٣) ترتفع قيم هذا المؤشر (٣) بمجري الأودية وإن كانت تتباين من موضع لأخر حسب سرعة الجريان.

و. مؤشر نقل الرواسب (STI) Sediment Transport Index:

يقيس هذا المؤشر قدرة النهر أو شبكة التصريف المائي على نقل الرواسب، ويتم حسابه من خلال الحاسبة الخلوية Raster Calculator استناداً إلى المعادلة التالية:

$$STI = \text{Power}(\text{FlowAccumulation} / 22.13, 0.6) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{Slope}) / 0.0896, 1.3)$$

وقد وضع الباحث هذا النموذج المبسط لحساب قيم هذا المؤشر بشكل مباشر.



المصدر: من إعداد الباحث.

شكل (١٤) نموذج لحساب مؤشر نقل الرواسب

<sup>٣</sup> - يحسب من المعادلة التالية:

$$TWI = \ln (As/S)$$

حيث As هي منطقة مستجمعات المياه و S هي نسبة الانحدار (Mohsen Farzin et al, 2021,p.8) وقد تم حساب قيمة هذا المؤشر باستخدام الحاسبة الخلوية ببرنامج Arc map 10.5 من المعادلة التالية:

$$TWI = \ln(\text{Flow Accumulation Scaled} / \text{Tan}(\text{Slope}))$$

حيث:

$$Fa - \text{Scaled} = (Fa + 1) * \text{Cell Size}$$

$$Fa = \text{Flow Accumulation}$$

$$\text{Cell Size} = \text{Scaled} = 0,00027777778 \text{ كم} (\approx 0,28 \text{ م تقريباً})$$

Tan Slope تحسب من العلاقة التالية:

$$\text{Tan Slope} = \text{Con} (\text{Slope} > 0, \text{Tan} (\text{Slope}), 0,001)$$

ويحسب الانحدار Slope في المعادلة من العلاقة:

$$\text{Slope} = \text{Slope Degrees} \times 1.570796/90$$

ويتم الحصول على Slope Degrees من نموذج الارتفاع الرقمي للمنطقة والأرقام قيم ثابتة.

ز. مؤشر طاقة التيار المائي (Stream Power Index (SPI):

يعرف بمؤشر قوة أو طاقة التيار المائي لكونه يصف طاقة التدفق المائي، والتي بدورها تتباين من موضع لآخر حسب تفاوت درجات انحدار السطح، ومنه يستدل على المواضع الأوفر حظاً في تجميع مياه المطر والتي تبدو جلياً في المواضع المستوية وشبه المستوية التي نقل بها قيم هذا المؤشر، ويتم حسابه من خلال الأمر Raster Calculator اعتماداً على المعادلة:

$$SPI = \text{Flow accumulation} \times \text{Cell Size} \times \tan(\text{Slope} \times 0.017453)$$

حيث Cell Size Of DEM = ٠,٠٠٠٢٧٧٧٧٧٧٨ \_ ٠,٠٠١٧٤٥٣ ثابت.

ح. صافي الجريان السطحي:

تم الاعتماد هنا على طريقة نموذج (SCS-CN)، وهي إحدى الطرق التي طورتها إدارة صيانة التربة التابعة لوزارة الزراعة بالولايات المتحدة الأمريكية (Soil Conservation Service) عام ١٩٧٠م، ووضعت صيغتها المشهورة عام ١٩٨٦م، وتنص المعادلة المعتمدة لقياس منحني الجريان حسب (USDA) على ما يلي:

$$Q = \frac{(P - la)^2}{(P - la) + S}$$

(USDA,1936,P.2,3)

Q = عمق الجريان السطحي (بوصة)

P = الأمطار المتساقطة لأعلى عاصفة مطرية مستمرة خلال ساعات أو عدة أيام (بوصة)

La = الاعتراض الأولي قبل بدء عملية الجريان السطحي (الترب، والاستقبال من قبل النبات والتبخر) بوصة، وتحسب من العلاقة:

$$la = 0.2S$$

وتدل القيم القريبة من الصفر على قلة الاعتراض وزيادة فرص حدوث جريان سيلبي.

S = الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي Potential Maximum Retention After Runoff مقاساً بالبوصة، وتدل القيم القريبة من الصفر إلى ضعف إمكانية الاحتفاظ بالماء وبذلك يرتفع الجريان السطحي، ويتم احتسابها من المعادلة الرياضية التالية:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

ولتحويل مدخلات البيانات إلى المقياس المتري تم ضرب أرقام المعادلة في ٢٥,٤  
لتحويل القيم من البوصة إلى ملليمتر فتصبح صيغة المعادلة كالتالي:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

ولإعداد الطبقات (S,Q, Ia) تم تطبيق المعادلات السابقة من خلال الحاسبة الخلوية  
Raster Calculator ضمن وظائف التحليل المكاني لحساب حجم الجريان السطحي  
(Torrent Flow Volume) من خلال المعادلة الآتية:

$$QV = Q * \frac{A}{1000}$$

حيث:

$$QV = \text{حجم الجريان السطحي السنوي (م}^3\text{)}$$

$$Q = \text{عمق الجريان السطحي السنوي (مم)}$$

$$A = \text{مساحة الحوض (م}^2\text{)}$$

$$1000 = \text{معامل تحويل عمق الجريان من (مم) إلى (م)}$$

ط. المجموعات الهيدرولوجية للتربة:

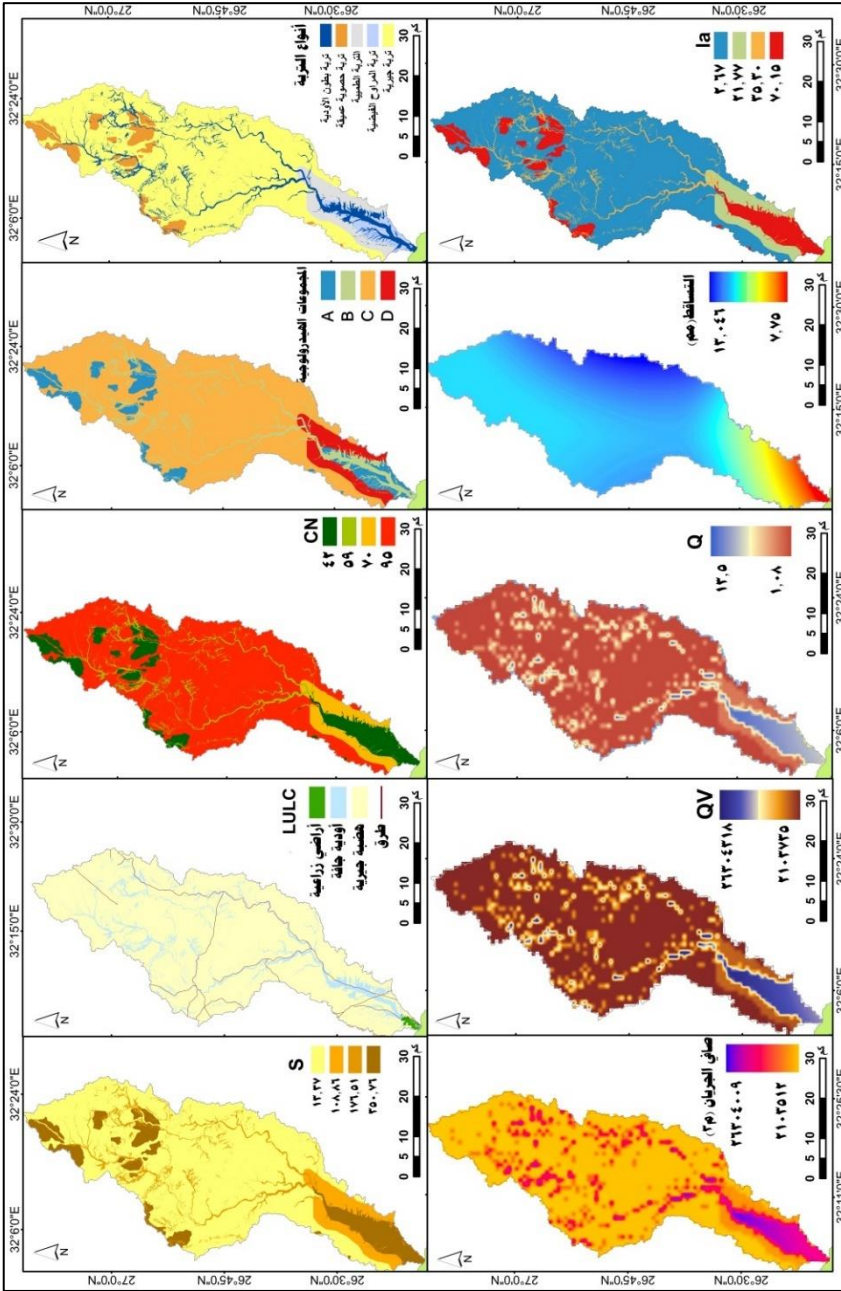
صنفت هيئة حماية التربة الأمريكية (HSG) Hydrologic Soil Group التربة إلى أربع مجموعات هيدرولوجية حسب سرعة انتقال المياه خلالها تبعًا لتأثير نسيج التربة على الجريان السطحي، وتأخذ كل مجموعة قيم منحنى عددي خاص بها، هذا بالإضافة إلى قيم المنحنى العددي الخاص بنوع الغطاء الأرضي، وتتراوح قيم المنحنى العددي CN بين (صفر - ١٠٠)، وتوجد علاقة عكسية بين النفاذية وقيم المنحنى العددي، حيث إن الأسطح غير المنفذة للمياه أو قليلة النفاذية تأخذ قيمًا منحنى عدديًا مرتفعة وهي أسطح قادرة على توليد الجريان السطحي، أما الأسطح المنفذة للمياه أو المرتفعة النفاذية فتأخذ قيم منحنى عددي منخفضة، حيث تتسرب المياه خلالها، وبالتالي فهي ذات قدرة منخفضة على توليد الجريان السطحي (USDA, 1986, P.2)، ولكون التربة تلعب دورًا حيويًا داعمًا في إعادة تغذية المياه الجوفية في منطقة الدراسة تم الاعتماد عليها كأحد المعايير الرئيسية

المؤثرة في تغذية الخزان الجوفي، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم إعداد خريطة التربة بالاعتماد على خريطة التربة المصرية التي أعدها معهد مسح التربة الهولندي مقياس ١:٤٠٠ ألف للتعرف على طبيعة قوام التربات المختلفة بحوض الوادي، ونظراً لما تتسم به من التعميم وعدم استيفاء كافة أنواع التربات بحوض الوادي تم استكمالها من خلال مقارنة التربات التي تم مشاهدتها ميدانياً ومطابقتها بالخريطة الجيولوجية، ويوضح الشكل (١٥) أنواع هذه التربات وتم حساب مساحاتها كما يوضحه الجدول الآتي.

جدول (٦) المجموعات الهيدرولوجية للتربة وفقاً لخصائصها وقيمة المنحني العددي (CN) بحوض وادي قصب

أنواع التربة والغطاء الأرضي	صفة التربة	المجموعة الهيدرولوجية	معدل انتقال المياه (سم/ساعة)	درجة الخزن المائي وفقاً لخصائص التربة	رقم المنحني العددي (CN)	المساحة (م <sup>٢</sup> )	% من المساحة
تربة حصوية	حصى بعمق يتراوح بين ١٥٠-٢٠٠ م	A	أكبر من ٠,٧٦	١	٤٢	١٤٦,٥٨	٧,٥٢%
تربة المراوح الفيضية	تربة حصوية رملية مغطاة من الطبقة المنقول من جوانب الوادي			٢	٤٢	٢٤٢,٢٤	١٢,٤٣%
تربة بطون الأودية	رواسب حصوية خشنة مع مفتتات صخرية في القطاعات العليا			٣	٤٢	١٢٦,٧١	٦,٥٠%
تربة بطون الأودية	رواسب حصوية ناعمة مختاططة برممال في القطاعات الدنيا	B	٠,٣٨-٠,٧٦	٤	٥٩	٦١,٠٥	٣,١٣%
تربة جيرية	حجر جيري يتخلله عقد صوانية وطباشيرية	C	٠,١٣ - ٠,٣٨	٥	٧٠	١٢٢٦,٦	٦٢,٩٦%
التربة الطميية	تتابع طباق من الطمي والصلصال	D	صفر - ٠,١٣	٦	٩٥	١٤٤,٩٤	٧,٤٤%
المجموع						١٩٤٨,١	١٠٠%

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على تطبيق معادلات CN-SCS على حوض الوادي، (Maidment, 1993, )



المصدر: قام الباحث برسم خريطة التربة باستخدام برنامج Arc map 10.5 اعتماداً على خريطة التربة (مشروع المسح الهولندي ١٩٧٥م)، كما تم حساب رقم المنحني من خلال دمج خريطة استعمالات الأرض والغطاءات الأرضية LULC مع خريطة أنواع التربة الهيدرولوجية بواسطة الأمر Combine ومطابقة النتائج مع جداول أرقام المنحني التي وضعتها هيئة حماية التربة الأمريكية 1-13 (Hydrologic Soil-Cover Complexes - USDA, July, 2004). كما تم حساب قيم S و La من خلال تطبيق المعادلتين شكل (١٥) قيم الحدود المستخدمة لحساب صافي الجريان باستخدام نموذج (SCS-

وتم تصنيف المجموعات الهيدرولوجية للتربة وفقاً لخصائصها كما يلي:

■ المجموعة الهيدرولوجية A:

يمثل هذه المجموعة التربات جيدة الصرف ذات النسيج الحصوي في أقصى شمال غرب الحوض (شكل ١١)، والحصوي الرملي بمروحة الوادي أسفل الطبقة السطحية المغطاة بطبقة الطمي المنقولة من جوانب الوادي، وكلاهما يتسم بانخفاض معدلات الجريان السطحي، ومن ثمّ تعدا مكامناً جيدة لخرن المياه الجوفية.

■ المجموعة الهيدرولوجية B:

تتسم تربات هذا النوع بمعدل تسرب عالي نسبياً، وجريان سطحي منخفض نسبياً، وتوجد في التربات ذات النسيج الناعم إلى متوسط الخشونة (Maidment, 1993, p. 5:25, 9:22)، كما هو الحال في تربة بطون الأودية.

■ المجموعة الهيدرولوجية C:

تتسم تربة هذه المجموعة بمعدل تسرب منخفض نسبياً، وجريان سطحي مرتفع إلى حد ما، وتوجد في التربات ذات النسيج المتوسط النعومة إلى الناعم (Maidment, 1993, p. 5:25, 9:22)، ويمثل هذا النوع التربة الجيرية التي تغطي معظم أجزاء الوادي.

■ المجموعة الهيدرولوجية D:

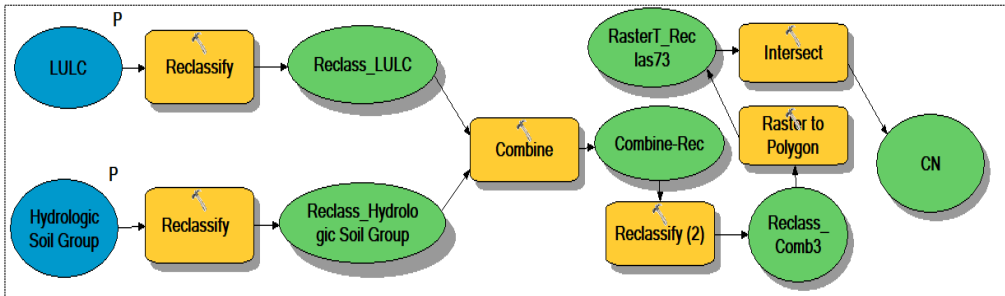
تضم المناطق التي تتسم بأقل معدل تسرب وأعلى جريان سطحي، ويظهر هذا النوع في المناطق ذات النسيج الناعم غير المنفذة للمياه (Maidment, 1993, p. 5:25, 9:22)، ويمثله التربة الطينية على جوانب المروحة الفيضية لحوض الوادي.

■ رقم منحني الجريان السطحي (Runoff curve number (CN):

تعتمد قيمة منحني الجريان السطحي بشكل رئيس على معدل تسرب المياه عبر مسام التربة، والذي يختلف بدوره من نوع تربة لآخر حسب درجة مساميتها، فكلما قلت مسامية التربة كلما زادت قيم منحني الجريان السطحي ومن ثم تزداد فرص تولد الجريان السطحي، و نظراً لما يتطلبه نموذج (SCS-CN) من تحديد لأنواع الغطاءات الأرضية لتقدير حجم الجريان السطحي، لما لنوع الغطاءات الأرضية من تأثير على كمية الفواقد،



وبالتالي كمية السيول تم تصنيف الغطاءات الأرضية اعتماداً على المرئية الفضائية 2-Sentinel بتاريخ ١١ نوفمبر ٢٠١٧م، وذلك من خلال تطبيق التصنيف الموجه باستخدام طريقة Maximum Likelihood Classifier، وتم تعريف فئات الغطاء الأرضي اعتماداً على الخريطة الجيولوجية (١: ٢٥٠ ألف) والطبوغرافية (١: ٥٠ ألف) للوادي ومن خلال الدراسة الميدانية، وصور Google Earth، ونظراً لكون الوادي غير مأهول بالسكان تمثلت الغطاءات الأرضية في ثلاثة أنواع فقط شغل الغطاء الصخري الجيري المتمثل في هضبة المعازة الجيرية القسم الأكبر منها بمساحة قدرت نحو ١٧٥٨,٨٥ كم<sup>٢</sup> أي ما يعادل ٩٠,٢٨٪ من إجمالي مساحة الحوض، في حين شغلت بطون الأودية الجافة نحو ١٨١,٨٢ كم<sup>٢</sup> من مساحة الحوض بما يعادل ٩,٣٣٪ من تلك المساحة، ولضعف عمليات الاستصلاح الزراعي حتى الوقت الراهن جاءت الأراضي الزراعية بالمروحة الفيضية للوادي في المرتبة الثالثة بمساحة قدرت بنحو ٧,٤٧ كم<sup>٢</sup> أي ما يوازي ٠,٣٨٪ من المساحة الإجمالية للحوض، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم حساب رقم منحنى الجريان السطحي من خلال بناء النموذج (شكل ١٦) الذي استند على دمج طبقتي المجموعات الهيدرولوجية للتربة والغطاءات الأرضية ومطابقة نتائجه مع جداول أرقام المنحنى التي وضعتها هيئة حماية التربة الأمريكية - Hydrologic Soil-Cover Complexes (USDA, July, 2004, p.1-13).



المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على المنهجية التي وضعها (Venkatesh Merwade, February 2019).  
شكل (١٦) نموذج لحساب رقم منحنى الجريان السطحي من خلال خريطتي الغطاءات الأرضية (LC) والمجموعات الهيدرولوجية للتربة (HSG)

ومن خلال حساب رقم منحني الجريان السطحي لحوض الوادي وفقاً للنموذج السابق تبين أنها قيمه تراوحت بين ٤٢: ٥٩ بالتربيات الحصوية أقصى شمال غرب الحوض وببطن الوادي في أجزاءه الدنيا وأعلى مروحة الفيضية والأجزاء العليا من بطون الأودية، و ٧٠: ٩٥ بالتربيات الجيرية التي تمثلها هضبة المعازة الجيرية، والطينية بالقسم الأدنى من الحوض على جانبي المروحة الفيضية، وكلاهما تربيات جيدة لتوليد جريان سطحي بشكل كبير.

■ الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان (S):

يصف هذا المعامل حالة التربة المشبعة تماماً بالماء بعد الجريان السطحي، أي بعد عملية التسرب، وتتباين قيمه من موضع لآخر وفقاً لتباين استخدامات الأرض ونوع التربة وسمكها ومدى قابليتها لامتصاص أكبر قدر من الماء أثناء موجة المطر، إذ تشير القيم المرتفعة لهذا المعامل إلى القابلية العالية للتربة على امتصاص الماء والاحتفاظ به، ومن ثم انخفاض كمية الجريان السطحي، في حين تدل القيم القريبة من الصفر على تدني إمكانية التربة على امتصاص الماء والاحتفاظ به، مما ينعكس بدوره ضخامة حجم الجريان السطحي، ومن خلال حساب هذا المعامل بالحاسبة الخلوية Calculator Rater تبين أن قيمه تتراوح بين ١٣,٢٧ تقريباً في التربة الجيرية، ٣٥٠,٧٦ في التربة الحصوية أقصى شمال غرب الحوض وعند مصب الحوض، ويرجع هذا إلى مظاهر الضعف الصخري في تلك المنطقة مما يسمح بترشيح المياه فضلاً عن أنها الأكثر نفاذية والأقل قدرة على توليد الجريان السطحي.

■ تقدير قيم (La):

يعبر هذا المعامل عن كمية الأمطار التي تفقد قبل بداية الجريان السطحي عن طريق النباتات التي تعترض هذه الأمطار وعن طريق التبخر والتسرب بتأثير مسامية التربة والغطاء النباتي، وتدل قيم (La) المنخفضة على قلة المياه المفقودة قبل بداية الجريان السطحي وارتفاع القيم يدل على ارتفاع كمية مياه المطر المفقودة وبالتالي قلة

الجريان السطحي، ولاستخراج قيم (Ia) تم تطبيق المعادلة السابقة الذكر باستخدام الحاسبة الخلوية Raster Calculator للحصول على خريطة أماكن هذه القيم وحساب نسبها ومساحتها وتراوحت القيم في المنطقة ما بين (٢,٦٧-٧٠,١٥) كما يوضحه الشكل (١١) ومنه يتضح أن أكثر المواضع تسجيلاً لقيم هذا المعامل مواضع تركز الحصى والقسم الأدنى من حوض الوادي، وتعد هذه المواضع أكثر المواضع خزناً لمياه الجريان السطحي تلتها مباشرة مجاري الأودية الفرعية لحوض الوادي ثم النطاق الذي شغلته التربة الطينية الطميية، بينما شكلت التربات الجيرية أدنى قيم لهذا المعامل، ومن شكلت مواضع أقل خزناً لمياه الأمطار، وقد يرجع ذلك إلى شدة انحدارها وارتفاع سطحها عن باقي أجزاء الحوض وبالتالي أصبحت مواضع مد لمياه الأمطار نحو المواضع الأكثر انخفاضاً وانحداراً.

#### ■ عمق الجريان السطحي (Q):

يعبر عن هذا العامل بمقدار ارتفاع المياه الجارية على السطح الناتجة عن عاصفة مطرية والتي تعد أحد المكونات الأساسية لتقدير عمق الجريان السطحي فضلاً عن المعطيات الطبيعية المتمثلة بقيم المعاملات (Ia و S) حيث تم احتساب عمق الجريان اعتماداً على أعلى كمية للشدة المطرية في محطات الرصد القريبة من منطقة الدراسة، ويرتبط حجم الإيراد المائي الذي يغذي الخزان الجوفي بكثافة التساقط والقيمة الفعلية للمطر، ويحدد ذلك عدة عوامل تأتي في مقدمتها النفاذية الفعلية للتكوينات الصخرية ومقدار الجاذبية الأرضية التي يحددها عملي ارتفاع وانحدار السطح، ومن أجل الحصول على الطبقة الخاصة بأعماق الجريان السطحي السنوي (مم) بحوض الوادي تم الاعتماد على عملية جبر الخرائط (Map Algebra) باستخدام الأمر Raster Calculator ضمن وظائف المحلل المكاني Spatial Analyst داخل بيئة برمجيات (ArcGis10.5)، ومن ثم إدخال صيغة المعادلة الرياضية السالف ذكرها في ضوء كميات التساقط الناتج عن العاصفة المطرية التي اجتاحت منطقة الدراسة يوم السبت ٢٧ مايو ٢٠٢٣م كما يوضحها جدول (٧).

■ تقدير حجم الجريان السطحي (QV):

يعبر حجم الجريان السطحي Runoff Volume عن مجموع الجريان السطحي إلى مساحة الحوض، إذ يساعد في التعرف على الأماكن الأكثر عرضة لغمر المياه، ووفقاً لحسابات عمق الجريان السطحي يمكن تقدير حجم الجريان في أحواض المنطقة من خلال تحويل طبقة عمق الجريان المستخرجة اعتماداً على مجموع كمية الأمطار السنوية وكذلك المستخرجة على أساس أعلى شدة مطرية ساقطة في المنطقة، وذلك من خلال وظيفة (Raster Calculator) داخل بيئة (ArcGis10.5) إلى طبقة أخرى تحتوي على قيم حجم الجريان السطحي لكل خلية في الحوض من خلال تطبيق المعادلة الآتية:

$$QV = Q * \frac{A}{1000}$$

(عويد، انتصار مزر، ٢٠٢١، ص ٢٣٣)

حيث:

$$QV = \text{حجم الجريان السطحي م}^3$$

$$Q = \text{عمق الجريان السطحي (مم)}$$

$$A = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)}$$

$$1000 = \text{معامل التحويل لتكون النتائج النهائية بالمتري المكعب}$$

ويعد التعرف على خصائص العاصفة المطرية الأساس في الدراسات الهيدرولوجية وفولجية وذلك للتعرف على مواضع الخزن المائي وتغذية الخزان الجوفي فضلاً عن اعتماد المواضع المثلى لإقامة مشاريع حصاد المياه الجوفية عليها وكذلك تصميم المنشآت الهندسية والهيدروليكية، ويعد تقدير حجم الجريان السطحي هو الهدف الرئيس والمحصلة النهائية لأكثر الدراسات الهيدرولوجية والتي يركز عليها صناعة القرار في كافة الأصعدة، ومن خلال تتبع البيانات المناخية للوقوف على أكبر كمية مطر سقطت على الحوض خلال الخمسين سنة الأخيرة تبين أن يوم ٢٧ مايو ٢٠٢٣ م هو اليوم الأكثر حظاً في تسجيل أكبر كمية مطر سقطت على الحوض

خلال يوم واحد، وإن كان القسمين الشرقي والشمالي الغربي هما الأكثر نصيباً في استقبال كميات أكبر من مياه المطر لقربيهما من محطات وادي قنا في الشرق وسوهاج وأسيوط في الشمال الغربي كما يوضحه جدول (٨).

جدول (٧) البيانات المناخية للعاصفة المطرية (٢٧ مايو ٢٠٢٣م)

المحطة	أسيوط	سوهاج	قنا	وادي قنا
مح التساقطات (مم)	١٢,٧	١٣	٠,٩٤	١٩,٤
معدل التساقط (مم / ساعة)	١,٠٥٨	١,٠٨	٠,٣١٣	١,٦٢
المتوسط اليومي لدرجة الحرارة (ف)	٨٣,٣	٨٤,٥٦	٨٩,٠٦	٨٠,٩٦
متوسط درجة الحرارة (درجة مئوية)	٢٨,٥	٢٩,٢	٣١,٧	٢٧,٢
قيم الإشعاع الشمسي (كالوري /سم <sup>٢</sup> )	٣١٥,١٤	٣١٨,٦٥	٣١٩,٧٥	٣٤٣,٥٥
الرطوبة النسبية %	٪٤٢,٢	٪٤٢,٢	٪٣٤,٥	٪٤٦,١
سرعة الرياح (ميل /يوم)	٢٣٦,٢٢	٢٦٨,٤٤	٣٣٨,٢٣	٣٥٤,٣٥
نقطة الندى (درجة مئوية) (٤)	١٦,٩٤	١٧,٦٤	١٨,٦	١٦,٤٢
نقطة الندى (ف)	٦٢,٤٩	٦٣,٧٥	٦٥,٤٨	٦١,٥٦
معدل التبخر نتح (بوصة/يوم)	٠,٢١	٠,٢٢	٠,٢٢	٠,١٩
معدل التبخر نتح (بوصة / ساعة)	٠,٠٠٨٨	٠,٠٠٩٢	٠,٠٠٩٢	٠,٠٠٧٩٢
معدل التبخر نتح(مم/ساعة)	٠,٢٢٣٥٢	٠,٢٣٣٦٨	٠,٢٣٣٦٨	٠,٢٠١١٦٨

المصدر: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> RET Screen Expert &Data. وتم استخراج كميات التبخر نتح (بوصة /يوم) من منحنيات النجومجراف وتحويل القيم من (بوصة/يوم) إلى (مم/ساعة).

٤- يتم تعريف درجة حرارة نقطة الندى (T dew) على أنها درجة الحرارة (عند ضغط ثابت) التي يتكثف بخار الماء الموجود في الهواء إلى ماء سائل، وتحسب من المعادلة الآتية:

$$Tdew(c) = \left[ \left( \frac{r}{100} \right)^{0.125} \times (12 + (0.9 \times T)) \right] + [(0.1 \times T) - 112]$$

حيث :

Td = درجة حرارة نقطة الندى (درجة مئوية)

r = الرطوبة النسبية (%)

T = درجة الحرارة (درجة مئوية)

(السيد، ٢٠١٤، ص ٤٧٣)

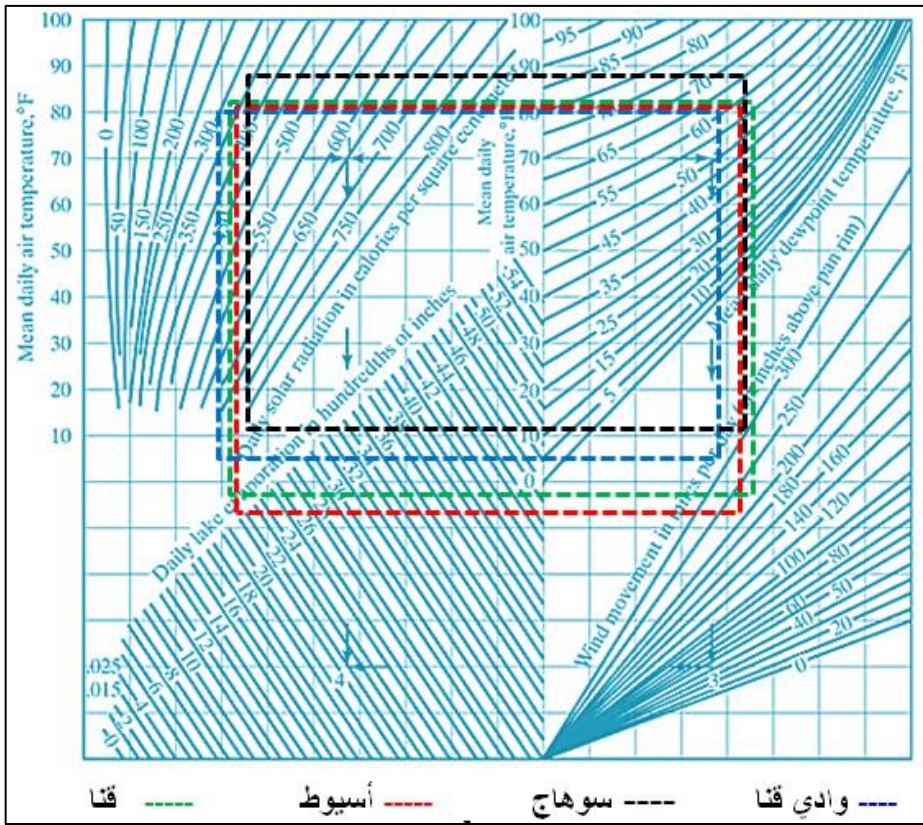
و تم التحويل من سيلزيوس لفهرنهايت من المعادلة التالية:

$$T(F) = T(C) \times \left( \frac{9}{5} + 32 \right)$$

ويمكن التحويل مباشرة من الرابط التالي:

<https://www.rapidtables.com/convert/temperature/celsius-to-fahrenheit.html?x=45>

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم حساب قيم التبخر نتح لتقدير صافي الجريان السطحي من خلال منحنيات النوموجراف من خلال تقاطع القيم التي تسجلها عدة متغيرات مناخية تتمثل في المتوسط اليومي لدرجة حرارة الهواء (فهرنهايت)، قيم الإشعاع الشمسي اليومي (كالوري/سم<sup>2</sup>)، والمتوسط اليومي لدرجة حرارة نقطة الندى (فهرنهايت)، وسرعة الرياح (م/يوم) كما يوضحها الشكل (١٧)، وبعد تطبيق المعادلة تبين أن حجم الجريان السطحي لحوض الوادي ككل قدر بنحو ٣,١٥,٨٦٢,٥٧٣ م<sup>٣</sup>، ومن خلال تطبيق النموذج تبين أنه تجاهل قيم التبخر نتح المفقودة أثناء العاصفة المطرية وإن كانت معدلاتها ضئيلة إلا أن الباحث يرى ضرورة إدخالها ضمن النموذج وبعد طرح قيمها التي قدرت بنحو ٣م<sup>٣</sup>٤٣٩ تبين أن صافي الجريان السطحي قدر بنحو ٣,١٥,٨٦٢,١٣٤ م<sup>٣</sup>.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على قالب جاهز لمنحنى النوموجراف.

شكل (١٧) قيم التبخر نتح لمحطات منطقة الدراسة من منحنى النوموجراف

ومن الشكل (١٥) السابق تبين أن المروحة الفيضية لحوض الوادي والقسم الأدنى من حوض قصب الأدنى هي الأوفر حظاً من الجريان السطحي، تلاهما القسم الأعلى من حوض قصب الأدنى والمواقع المقعرة بمجاري الأودية ممثلة في مواضع الآبار والحفر والأخاديد الكارستية، بينما شغلت المناطق المرتفعة من الهضبة والمدرجات الفيضية على جانبي مروحة الوادي كميات أقل من مياه الجريان السطحي، ويوضح الجدول التالي حجم وصابي الجريان<sup>(٥)</sup> بحوض الوادي كما سلف ذكره.

جدول (٨) حجم الجريان السطحي بحوض وادي قصب قبل وبعد طرح قيم التبخر نتج

حجم الجريان السيلي (م <sup>٣</sup> )	متوسط الفنة	الحد الأعلى للفنة	الحد الأدنى للفنة	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	الفئات
<b>حجم الجريان المائي وفقاً لقيم QV</b>					
٤٨٥٣٥٤,١	٣٤٧٨,٩٠٤	٤٨٥٥,٠٧٣	٢١٠٢,٧٣٦	١٣٩,٥١٣٥	٤,٨٥٥,٠٧٢٧ - ٢,١٠٢,٧٣٥٨
١٠٨٨٣١٠,٥	٦٨٤٨,١٤٤	٨٨٤١,٢١٦	٤٨٥٥,٠٧٣	١٥٨٩,٢٠٥	٨,٨٤١,٢١٥٧ - ٤,٨٥٥,٠٧٢٨
١٩٠٩٢٢٢	١٦٣٨٦,٤١	٢٣٩٣١,٦١	٨٨٤١,٢١٦	١١٦,٥١٢٥	٢٣,٩٣١,٦١٤ - ٨,٨٤١,٢١٥٨
٢٥٨٤٨٩٢	٢٥١١٧,٩٧	٢٦٣٠,٤,٣٢	٢٣٩٣١,٦٢	١٠٢,٩١٠,١	٢٦,٣٠٤,٣١٨ - ٢٣,٩٣١,٦١٥
١٥٨٦٢٥٧٣				١٩٤٨,١٤١	مج
<b>صافي الجريان المائي (م<sup>٣</sup>) بعد طرح قيم التبخر نتج</b>					
٤٨٥٣٢٢,٨	٣٤٧٨,٦٨	٤٨٥٤,٨٤٨	٢١٠٢,٥١٢	١٣٩,٥١٣٥	٤,٨٥٤,٨٤٨٣ - ٢,١٠٢,٥١٢
١٠٨٨٢٧٤٧	٦٨٤٧,٩١٩	٨٨٤٠,٩٩١	٤٨٥٤,٨٤٨	١٥٨٩,٢٠٥	٨,٨٤٠,٩٩٠٥ - ٤,٨٥٤,٨٤٨٤
١٩٠٩١٩٥	١٦٣٨٦,١٩	٢٣٩٣١,٣٩	٨٨٤٠,٩٩١	١١٦,٥١٢٥	٢٣,٩٣١,٣٨٦ - ٨,٨٤٠,٩٩٠٦
٢٥٨٤٨٦٨	٢٥١١٧,٧٤	٢٦٣٠,٤,٠٩	٢٣٩٣١,٣٩	١٠٢,٩١٠,١	٢٦,٣٠٤,٠٩ - ٢٣,٩٣١,٣٨٧
١٥٨٦٢١٣٤				١٩٤٨,١٤١	مج
٤٣٩					إجمالي كميات التبخر (م <sup>٣</sup> )

المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على خريطتي حجم الجريان السطحي وصابي الجريان بالشكل (١١).

#### ٤. المؤشرات الهيدروليكية:

تتمثل المؤشرات الهيدروليكية فيما يلي:

#### ■ الموصلية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity:

يقصد بها نسبة تدفق الحجم إلى التدرج الهيدروليكي مما ينتج عنه مقياس كمي لقدرة التربة المشبعة على نقل المياه عند تعرضها للتدرج الهيدروليكي، ومن ثم فهي خاصة للمواد المسامية والتربة والصخور تصف السهولة التي يمكن أن يتحرك بها السائل

<sup>(٥)</sup> - صافي الجريان = مجموع كمية الأمطار المتساقطة - قيمة الفاقد (سليمان، ٢٠١١، ص ٣٩٩).

(عادة الماء) عبر مساحة المسام، أو شبكة الكسور، ويعتمد ذلك بشكل رئيس على النفاذية الجوهرية للمادة، ودرجة التشبع، وكثافة ولزوجة المائع، ويوضح الشكل (١٤) قيم الموصلية الهيدروليكية لصخور المنطقة والتي تم الحصول عليها من بيانات ArcGIS10.5 Help والتي تبين أن قيمها تتراوح بين ١٠ - ٣ : ١٠ - ١٣، وعليه تم تقسيم درجات تأثير هذا العامل داخل النموذج وفقاً لهذه القيم.

#### ■ عمق المياه الجوفية:

يعد هذا المتغير من المتغيرات ذات الأهمية في بناء النموذج نظراً لتأثير سمك الطبقة غير المشبعة (Vadose Zone) في تحديد كمية وسرعة انتقال المياه من السطح لتغذية المياه الجوفية Ground water recharge من خلال جريان المياه للأسفل وصولاً إلى منسوب المياه، مكونة زيادة في الخزان الجوفي (Lerner et al.,1990) عبر التغذية المباشرة (الترشيح العمودي من الأمطار عند سقوطها على الأرض)، وغير المباشرة هو ترشيح الجريان السطحي (السيول)، ويوضح الشكل (١٤) أعماق المياه الجوفية.

#### ■ المسامية الكلية Total porosity:

تُعرّف المسامية الكلية بأنها نسبة حجم الفراغات (VV) إلى الحجم الكلي للعينة الصخرية (VT)، وتبدو على هيئة فراغات بين الجسيمات في الصخور الرسوبية، وشقوق وصدوع وفجوات في الصخور البركانية، ويتم حسابها من المعادلة الآتية:

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

حيث :

$n$  = المسامية الكلية (بلا أبعاد) ،  $V_V$  = حجم الفراغ في عينة (L3)

$V_T$  = الحجم الكلي للعينة (L3)

وقد تم استخلاص قيم المسامية الكلية وفقاً للحدود التي وضعها William & Eileen (2020)، كما يوضحه الجدول (١٠)، ومن خلال حسابها تبين أن قيمها بمنطقة الدراسة



تتراوح بين صفر للتكوينات البازلتية و ٧٠٪ للتكوينات الطميية الطينية في الأجزاء الجنوبية من حوض الوادي كما يوضحه الشكل (١٤).

■ المسامية الفعالة Effective porosity:

تعتمد حركة المياه في طبقات المياه الجوفية بشكل كبير على نفاذية الصخور التي تغطي الخزان الجوفي، إذ تحتوي المواد القابلة للنفاذية على شقوق مترابطة أو فراغات عديدة وكبيرة تسمح للمياه الجوفية أن تتحرك بشكل أسرع في بعض المواد القابلة للاختراق، بينما تتحرك ببطء شديد عبر مواد غير منفذة نسبياً مثل الطين، وعليها قدرة الخزان الجوفي على نقل المياه، وتمثل المسامية الفعالة مساحة المسام التي تحتوي على هيدروكربون وماء غير طيني، وتعد الأكثر شيوعاً لتمثيل مسامية الصخور أو الرواسب للمساهمة في تدفق السوائل عبر مساماتها، ومن ثم فهي ذات أهمية قصوى عند النظر إلى ملاءمة الصخور أو الرواسب كخزانات للمياه الجوفية، ويمكن حسابها من المعادلة:

$$ne = \frac{V_i}{V_T}$$

(William W. Woessner and Eileen P. Poeter.2020, PP.11,12)

حيث:

$ne =$  النفاذية الفعالة،  $V_i =$  حجم مساحة المسام المترابطة. وتمثل كمية المياه المضافة لحجم العينة ( $V_T$ ) لتحويلها من الحالة الجافة إلى الحالة الرطبة،  $V_T =$  حجم العينة، ويتم حسابه من خلال معرفة طول قطر العينة ونصف قطر الأسطوانة، ويمكن تحديد المسامية الفعالة على نطاق المختبر عند الرواسب والصخور يتم تجفيف عينات من حجم معين ثم ملء الفراغات المسامية بالماء، فيفترض أن حجم الماء الذي يملأ الفراغات يمثل الحجم المتاح للمياه الجوفية المتدفقة ( $V_i$ )، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم تقسيم مسامية التكوينات الصخرية بمنطقة الدراسة وفقاً للحدود التي وضعها كل من William W. Woessner and Eileen P. Poeter.2020) كما يوضحها جدول (٩).

جدول (٩) قيم المسامية الفعالة والكلية وفقاً للحدود التي وضعها William & Eileen 2020

قيم المسامية الفعالة	قيم المسامية الكلية	نوع التكوين الصخري
٠.٤٤_٠.١٣	٠.٤٤_٠.٢٥	حصى
٠.٤٣_٠.١٨	٠.٤٦_٠.٣١	رمال خشنة
٠.٤٦_٠.١٦	٠.٤٦_٠.١٦	رمال متوسطة الخشونة
٠.٤٦_٠.٠١	٠.٥٣_٠.٢٥	رمال ناعمة
٠.٣٩_٠.٠١	٠.٥٠_٠.٣٥	سلت
٠.١٨_٠.٠١	٠.٧٠_٠.٤٠	صلصال
٠.٥٠_٠.٠٥	٠.٥٠_٠.٠٥	صخور جيرية كارستية
٠.٢٤_٠.١	٠.٢٠_٠	صخور جيرية ودولوميت
٠.٣٠_٠.١٠	٠.٣٠_٠.٠٥	حجر رملي
٠.٤٠_٠.٢١	٠.٤٠_٠.٢١	غرين
٠.٥٠_٠.٠٥	٠.٥٠_٠.٠٥	بازلت
٠.١٠_٠.٠٠	٠.١٠_٠.٠٠	صخور بلورية متكسرة

المصدر: William & Eileen 2020, p.577.

#### ■ النفاذية Transmissivity:

تشير النفاذية إلى معدل تدفق المياه الجوفية أفقياً عبر طبقة المياه الجوفية، وترجع أهمية هذا العامل إلى كونه يحدد كمية المياه الجوفية المتوغلّة خلال الخزان الجوفي، إذ تعني النفاذية العالية للخزان، زيادة كمية المياه المتحركة خلاله، ويعد تأثير هذا المتغير مهماً جداً للنموذج الحالي كونه يحدد أماكن وجود المياه الجوفية وقابلية صخور المكن على تعويض نقص المياه نتيجة لعمليات الضخ، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه تم استخراج قيم النفاذية للتكوينات الصخرية من خلال الجدول الملحقة ببرنامج ArcGIS help 10.5، كما يوضحها الشكل (١٨)، ومنه يتضح أن قيم النفاذية لصخور المنطقة تتراوح بين صفر مم/ ساعة

للتكوينات البازلتية عديمة النفاذية، و٠.٧٠ م/ساعة للتكوينات الطينية الطميية المشكلة للمدرجات الفيضية في القسم الجنوبي من حوض الوادي.

■ سمك الطبقة الحاوية للماء Saturated thickness:

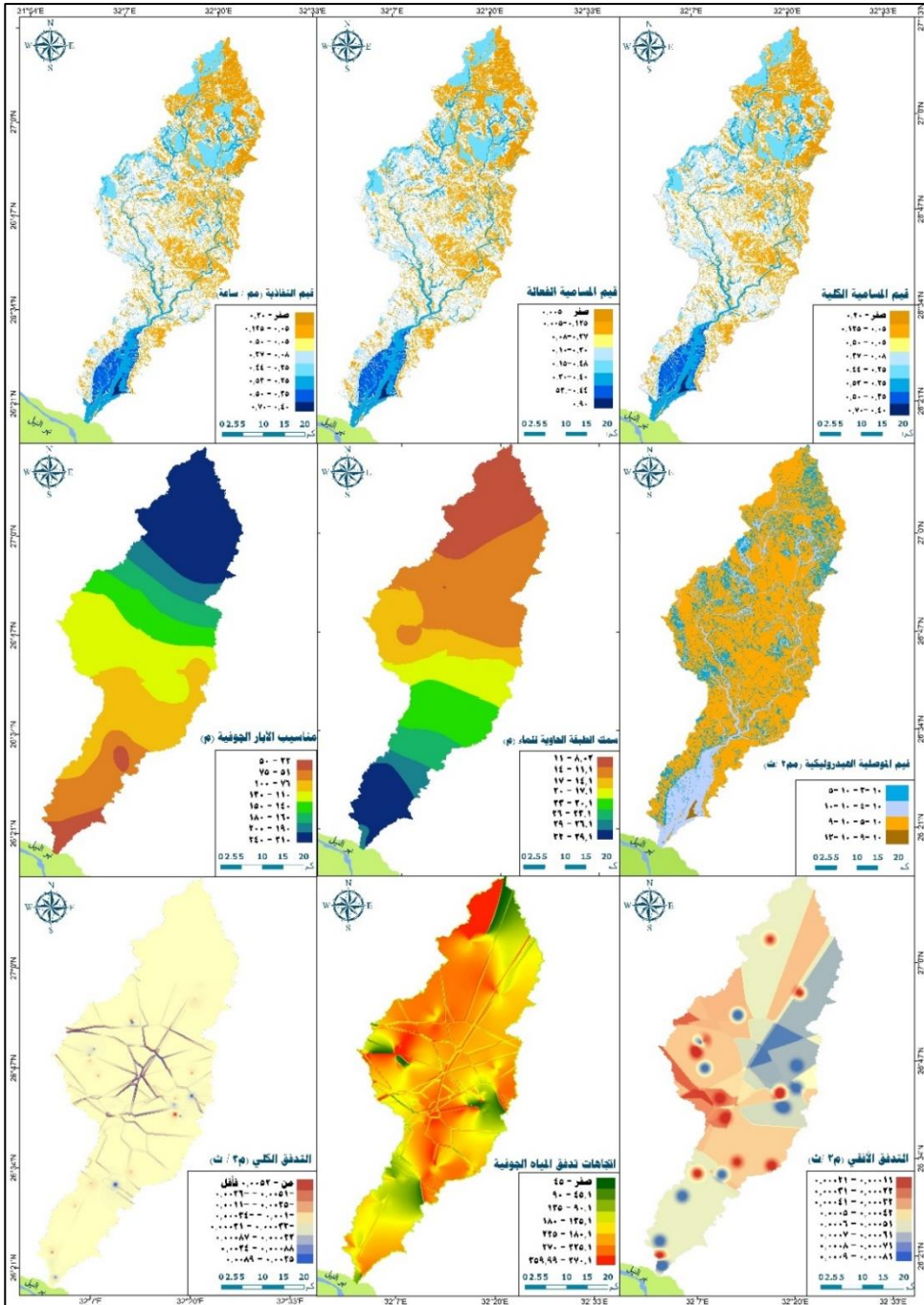
تم حسابها من خلال برنامج Mod flow3 SWATARC استناداً إلى البيانات الحقلية للآبار المحفورة بمنطقة الدراسة، ومن الشكل (١٤) يتضح أن سمك الطبقة الحاوية للماء يختلف من موضع لآخر إلا أن السمة العامة لها أنها تزداد بوضوح في القسم الأدنى من حوض الوادي ليصل هذا السمك إلى ٣٢م، ومن خلال تتبع عمق الآبار الجوفية بهذا القسم الذي يعد أكثر المواضع استغلالاً تبين وجود نهرين جوفيين أحدهما يقع على عمق ٢٥م، والآخر يقع على عمق يصل إلى ٥٧م.

■ مناسيب الآبار الجوفية:

يعد هذا العامل من العوامل ذات الأهمية في تحديد مكامن المياه الجوفية، وقد تم تحديد أعماق هذه الآبار من الدراسة الحقلية، ويوضح الشكل (١٤) مناسيب تلك الآبار بحوض الوادي والتي تراوحت بين ٢٢\_١٠٠م بآبار حوضي الجهلانية ووادي قصب الأدنى، ٢١٠\_٢٤٠م بآبار وادي الفقي وقيسوم أقصى شمال الحوض.

■ التدفق الأفقي:

في علم المياه يحدث التدفق تحت الأرضي Subsurface flow بشكل أفقي مع ميل الطبقات وتتسرب في نهاية المطاف إلى المسطحات المائية المفتوحة القريبة منها توافقاً مع طبيعة انحدار السطح، وترجع أهمية هذا العامل إلى معرفة مواضع الشحن وهي التي تمثلها المواضع التي سجلت قيماً أعلى لهذا العامل كما يوضحه الشكل السابق، ومنه يتضح أن القيم الأكبر تتجه صوب أودية فهدي وأبو سيديا وقصب الأعلى والفقي وأم نقبة وآبار رميل وطلعة الجير وطلعة المقابلة القبلية وشيتون.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc MAP 10.5>Arc toolbox >Spatial Analysis Tools >Groundwater

شكل (١٨) المؤشرات الهيدروليكية للمياه الجوفية بحوض وادي قصب

■ اتجاهات تدفق المياه الجوفية:

من تحليل الشكل السابق يتضح أن اتجاه الجنوب هو الاتجاه السائد لتدفق المياه الجوفية بمنطقة الدراسة، ويشغل نحو ٣٨.٨٪ من إجمالي مساحة المنطقة يليه اتجاه الجنوب الغربي بما يعادل ٢٨.٠٦٪ من مساحة المنطقة كما يوضحه جدول (١٠).

جدول (١٠) اتجاهات تدفق المياه الجوفية بحوض وادي قصب

اتجاهات التدفق	المساحة(م <sup>٢</sup> )	المساحة %	اتجاهات التدفق	المساحة (م <sup>٢</sup> )	المساحة %
شمال	٦٨.٤٠	٣.٥١	جنوب	٤٦٣.٦٤	٢٣.٨٠
شمال شرق	١١٠.٣٣	٥.٦٦	جنوب غرب	٥٤٦.٧٣	٢٨.٠٦
شرق	١٩٦.٧١	١٠.١٠	غرب	١٠١.٧٢	٥.٢٢
جنوب شرق	٣٥٨.١٠	١٨.٣٨	شمال غرب	١٠٢.٥١	٥.٢٦

المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على الشكل (١٤).

■ التدفق الكلي Darcy flow:

تكمن أهمية هذا العامل في أنه يحسب المتبقي من حجم المياه الجوفية والمخرجات الأخرى للتدفق الثابت في الخزان الجوفي، ويمكن حساب قيمه من المعادلة التالية:

$$Q = \frac{-KA(P_b - P_a)}{\mu L}$$

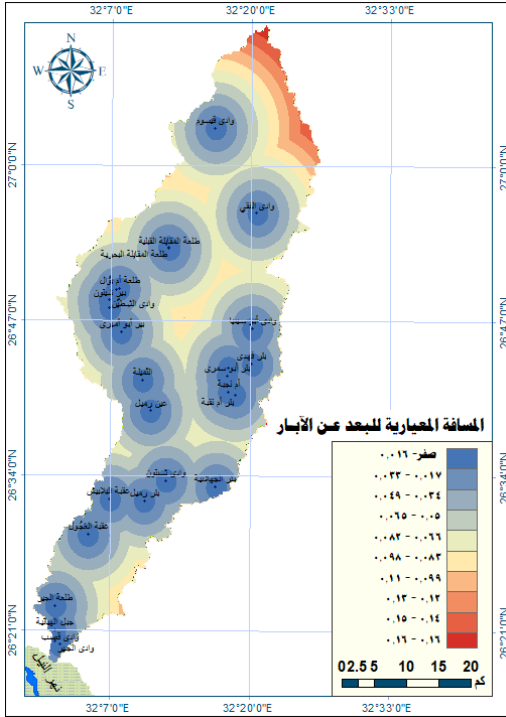
حيث:

$Q$  = التدفق الكلي (م<sup>٣</sup>/ث)،  $K$  = معامل نفاذية التربة في متر مربع،  $A$  = مساحة المقطع العرضي للتدفق بالمتر المربع،  $P_b$  = الضغط الأولي في  $P_a$ ،  $P_a$  = الضغط النهائي في  $P_a$ ،  $\mu$  = اللزوجة في  $P_a$ ،  $L$  = الطول (م)

وقد أمكن حساب قيم التدفق الكلي باستخدام الأمر Darcy Flow، حيث تمثل كل خلية منها قيمة التصرف الداخل والخارج من الخلية، وتجدر الإشارة إلى أنه يجب أن تكون قيم هذا المعامل أقل أو أقرب ما تكون من الصفر، حيث تشير القيم الموجبة إلى زيادة كمية المياه في الخلية والقيم السالبة تشير إلى

عجز في كميات المياه المتبقية في الخلية، ومن الشكل (١٤) يتضح أن أكثر المواضع التي تحتفظ فيها الخلايا بالمياه تتمثل في مواضع الآبار الإنتاجية كأبار فهدى ورميل وشيتون والمقابلتين القبليّة والبحريّة ووادي قيسوم، بينما تمثل مواضع العجز والتصريف المستمر معظم منطقة الدراسة تتفق مع اتجاهات تدفق المياه الجوفية صوب الجنوب والجنوب الغربي والشرقي والغرب والشمال الغربي، ومن خلال حساب حجم المياه الجوفية المارة سنوياً بحوض الوادي تبين أنها تتراوح بين ٣٠٦١,١٤ - ٣٢٤٨٠,٨٥٨٢,٨ م<sup>٦</sup>.(٦)

#### ■ البعد عن الآبار:



تعد الآبار من أهم المؤشرات الدالة على تواجد مكان للمياه الجوفية في المواضع المحفورة بها، كما تعد مصدر إمداد لها في موسم المطر لكونها تشكل مستودعات طبيعية لتجمع مياه المطر بطبيعة عمقها، ومن خلال عمليات المسح الميداني والقياسات الحقلية تم رفع كافة الآبار الموجودة بحوض الوادي سواء كانت آباراً إنتاجية أم معطلة، وتم حساب المسافة المعيارية باستخدام الأمر Euclidean distance، كما يوضحه الشكل (١٩) وتم ترتيب الفئات وفقاً لمدى قربها من مواضع تلك الآبار.

المصدر: من إعداد الباحث باستخدام الأمر Euclidean Distance.

شكل (١٩) المسافة المعيارية للبعد عن الآبار بحوض وادي قصب

<sup>٦</sup> - من حسابات الباحث اعتماداً على قيم Magnitude Discharge باستخدام برنامج Arc Map 10.5 استناداً إلى الأمر Block Statistics.

■ مؤشر رطوبة التربة (Soil Moisture Index (SMI):

يعد من المؤشرات ذات الأهمية في التنبؤ بمكامن المياه الجوفية، حيث تشير القيم المرتفعة إلى زيادة نسب احتمالية تواجد مياه جوفية بها لكونها تقوم بخزن مياه المطر وحفظه بين مسام التربة دون غيرها، ويتم حساب هذا المؤشر من المعادلة الآتية:

$$SMI = (LST_{max} - LST) / (LST_{max} - LST_{min})$$

حيث:

SMI = مؤشر رطوبة التربة

LST = حرارة التربة

LST<sub>min</sub> = درجة الحرارة الدنيا

LST<sub>max</sub> = درجة الحرارة القصوى (Arnab Saha et al, 2018, P.3).

ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر تبين أن قيم هذا المؤشر تراوحت بين ٠.٦٥ - ١,٢٨ كما يوضحه الشكل (٢٠)، وتباينت من موضع لآخر في مواضع انتشار تكويني مطمر وأرمنت حيث تزداد نسب الطين في قوام التربة بهذين التكوينين بشكل ملحوظ، بينما سجلت المناطق الأكثر ارتفاعاً وانحداراً قيماً أقل من غيرها.

■ مؤشر الغطاء النباتي (NDVI):

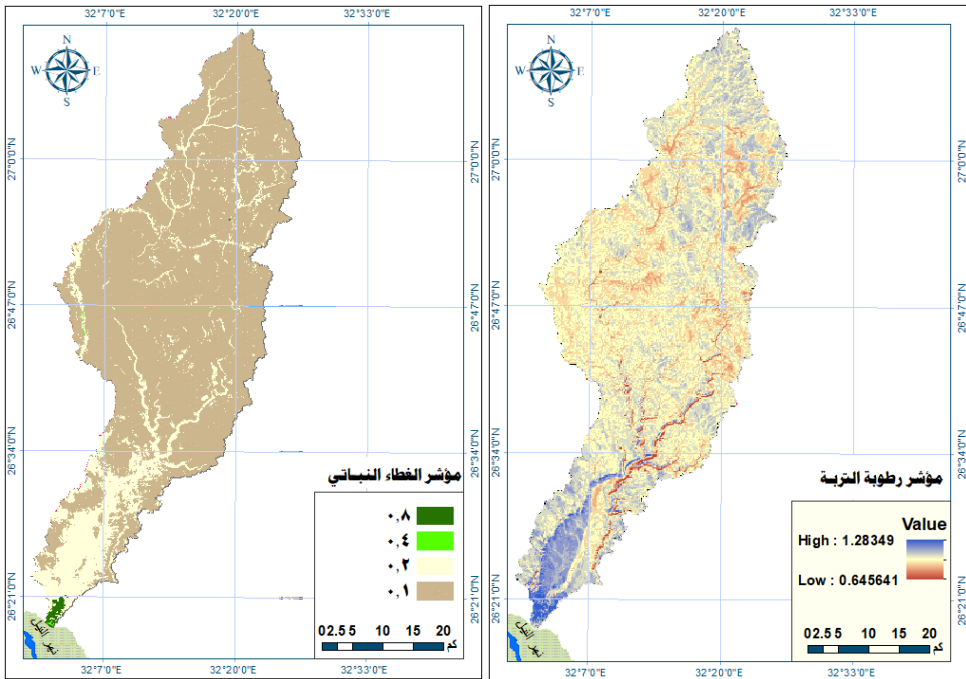
يعد مؤشر الغطاء النباتي من المؤشرات المهمة التي يستدل من خلالها على مكامن المياه الجوفية، ويعني الفرق الطبيعي بين النطاقيين الأحمر والأشعة تحت الحمراء، يحسب باستخدام الحاسبة الخلوية اعتماداً على المعادلة التالية:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

(P. D, Allestr and C. Parente, 2015, P.42101)

ومن خلال حساب هذا المؤشر تبين أن مؤشر الاخضرار بمنطقة الدراسة يقتصر على القسم الأدنى من حوض الوادي عند مروحته الفيضية بمساحة قدرت بنحو

٤.٣٤ كم<sup>٢</sup> أي ما يعادل ٠.٢٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وهذا إن دل فإنما يدل على أن حوض الوادي من المناطق الواعدة لمحاور التنمية المستدامة لمركز دار السلام وللمحافظة ككل ، مما يستدعي البحث والتنقيب عن مقوماتها خلال الفترة القادمة، إذ أنه من المتوقع أن يتم إنشاء مركز دار السلام الجديد في القسم الأدنى من الوادي مع الأخذ في الاعتبار كافة الاحتياطات والتجهيزات لتفادي الأخطار الجيومورفولوجية المحتملة.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على المعادلة السابقة.

شكل (٢٠) قيم مؤشري رطوبة التربة والغطاء النباتي

#### ٥. المؤشرات المورفوديناميكية Morphodynamic Indicators:

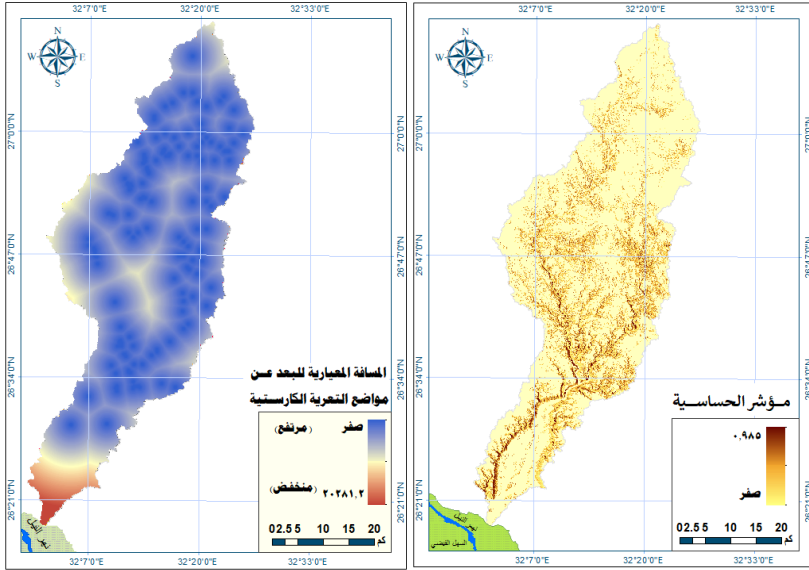
ترجع أهمية هذه المؤشرات إلى كونها تفسح مجالاً لمياه المطر للتوغل داخل مسامات التربة، وقد ركزت الدراسة هنا على المؤشرين الأكثر أهمية وهما:

- مؤشر حساسية المنحدرات للانزيارات الأرضية INSAR:

تتمثل أهمية هذا المؤشر في كونه يرصد التشوهات المورفولوجية التي تتعرض لها المنحدرات رسداً زمنياً مكانياً بواسطة الأقمار الصناعية مما يسمح بالكشف المبكر عن



التشوه المتسارع الذي يسبق حدوث الانهيارات الأرضية، وتتراوح قيم هذا المؤشر بين صفر\_١، حيث تشير القيم الأقرب للواحد الصحيح إلى احتماليات أعلى لحدوث انهيارات أرضية، ومن خلال تحميل النموذج الخلوي الخاص بمنطقة الدراسة لهذا المؤشر تبين أن قيمه تراوحت بين الصفر في المواضع ذات الانحدارات الأقل في حين سجلت منحدرات جوانب الأودية قيماً وصلت إلى ٠,٩٨٥، كما يوضحها الشكل (٢١)، مما يدل على حساسيتها المرتفعة للانهيارات الأرضية، وبالتالي تعد مؤشراً واضحاً على الضعف الصخري والبنوي لتلك المنحدرات مما جعلها عرضة لتلك الانهيارات بفعل التفكك الميكانيكي والسقوط الصخري و التقويض السفلي .



Source 1: [https://data.4tu.nl/articles/dataset/World-wide\\_InSAR\\_sensitivity\\_index\\_data\\_set\\_for\\_landslide\\_deformatio\\_tracking/14095777](https://data.4tu.nl/articles/dataset/World-wide_InSAR_sensitivity_index_data_set_for_landslide_deformatio_tracking/14095777).

مصدر الشكل الأيسر : نتائج الرصد الميداني لمواضع التعرية الكارستية وتطبيق الأمر Euclidean Distance  
شكل (٢١) قيم مؤشري حساسية المنحدرات للانهيارات الأرضية والقرب من مواضع التعرية الكارستية

#### ■ مؤشر القرب من مواضع التعرية الكارستية:

يعد هذا المؤشر من المؤشرات ذات الأهمية في تحديد مكامن المياه الجوفية، وقد تم وضع هذا المؤشر في الاعتبار عند بناء النموذج نظراً لسيادة التكوينات الجيرية التي

تتسم بنشاط عمليات التعرية الكارستية التي تعد انعكاساً واضحاً لنشاط عمليات الإذابة بفعل المياه الجوفية، وقد أسفرت الدراسة الميدانية عن وجود العديد من مظاهرها بحوض الوادي والتي تمثلت في الكهوف الجيرية التي تظهر بوضوح على منحدرات جوانب الأودية، وبالوعات الإذابة Solution Sink Holes، والأسطح الجيرية المضرسة والحفر الطولية كبيرة الحجم التي ظهرت بوضوح في قيعان وادي قصب الأوسط وشيتون الأوسط، مما دفع الباحث إلى رصد مواضع تلك الأشكال واتخاذها كإحدى المؤشرات التي أخذت بعين الاعتبار عند بناء النموذج لتحديد مكامن المياه الجوفية وفقاً لمواضع نشاط التعرية الكارستية بفعل الإذابة والعمليات المرتبطة بها قد لعبت دوراً بارزاً في نشأة وتعميق العديد من قطاعات الوادي في مناطق الحجر الجيري، حيث ظهرت العديد من المجاري الجوفية وما يرتبط بها من بالوعات إذابة في قيعان الروافد والمجاري الرئيسية ثم انهيار أسقفها، ويؤدي تكرارية حدوث هذه العملية إلى تعميق القاع بشكل متتالٍ كما تظهر العديد من ينابيع الكارست التي تتسم مياهها بعدم صلاحيتها للاستغلال البشري كما هو الحال في بير شيتون كما يوضحها شكل (٢٢)، فضلاً عن ظهور الخوانق وعقد البطيخ Melon Concretions، والكهوف الكارستية التي ظهرت بوضوح على جوانب بعض الأودية الفرعية وبخاصة في القسم الأوسط من منطقة الدراسة.



الموقع: وادي شيتون الأوسط (N 26° 48' 40" \_ E 32° 6' 49")

اتجاه الناظر: صوب الشرق تاريخ التصوير: ٢٣ مايو ٢٠٢٣ م

الموقع: وادي شيتون الأوسط (N 26° 48' 40" \_ E 32° 6' 49")

اتجاه الناظر: صوب الشمال الشرقي تاريخ التصوير: ٣ ديسمبر ٢٠٢١ م

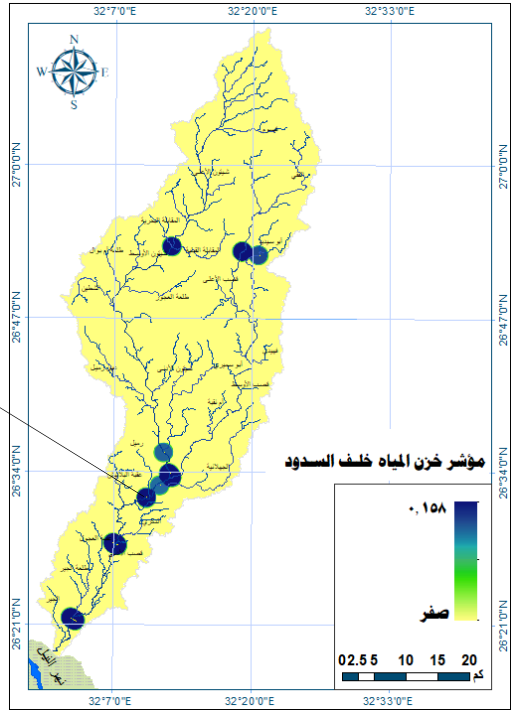
شكل (٢٢) أحد المجاري الجوفية (A) وينابيع الكارست (B) بحوض وادي شيتون الأوسط

■ مؤشر الخزن خلف السدود:

يعد هذا المؤشر من أبرز المؤشرات التي يمكنها تحديد مواضع تغذية المياه الجوفية في المناطق التي تقع خلف السدود من خلال الكثافة التجميعية لمياه المطر وفقاً لأفضل الممارسات ولتحقيق الاستفادة القصوى من حصاد مياه الأمطار والسيول في تغذية الخزان الجوفي، وقد تم اتخاذ هذا المؤشر من ضمن مدخلات النموذج من خلال تحديد مواقع السدود التسعة المقامة على مجاري الأودية الفرعية لحوض وادي قصب كما يوضحه شكل (٢٣).



الموقع: الجانب الأيمن لادي الكركي (N 26° 01' 09" \_ E 32° 59' 13")  
اتجاه الناظر: صوب الشمالي الشرقي تاريخ التصوير: ٢٨ مايو ٢٠٢٣م



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc map10.5

شكل (٢٣) مؤشر الخزن خلف السدود بحوض وادي قصب

ثالثاً: التحليل الهرمي لنمذجة المعايير:

اعتمدت عملية التحليل الهرمي AHP لنمذجة المعايير بناءً على تقارير خمسة من ذوي الخبرة بالدراسات الهيدرولوجية من كليتي العلوم والهندسة وتقرير للباحث تم وضعها

في ضوء ما حددته الطريقة التي وضعها ساعاتي كما يوضحه الجدول (١١) لتشير إلى الأهمية النسبية للرقم الذي يتم وضعه لبناء مصفوفة المقارنات الزوجية.

جدول (١١) مقياس المقارنة الزوجية وفقاً للحدود التي وضعها ساعاتي ٢٠٠٨م

الأهمية النسبية	الوصف	الأهمية النسبية	الوصف
١	أهمية متساوية	٦	من قوي إلى قوي للغاية
٢	أهمية متساوية لمعتدلة	٧	أهمية قوية جداً
٣	أهمية معتدلة	٨	من قوي جداً إلى شديد الأهمية بأهمية بالغة جداً
٤	متوسطة إلى قوية	٩	أهمية متساوية
٥	أهمية قوية		

المصدر: Xinyi Dai, 2016, p.8.

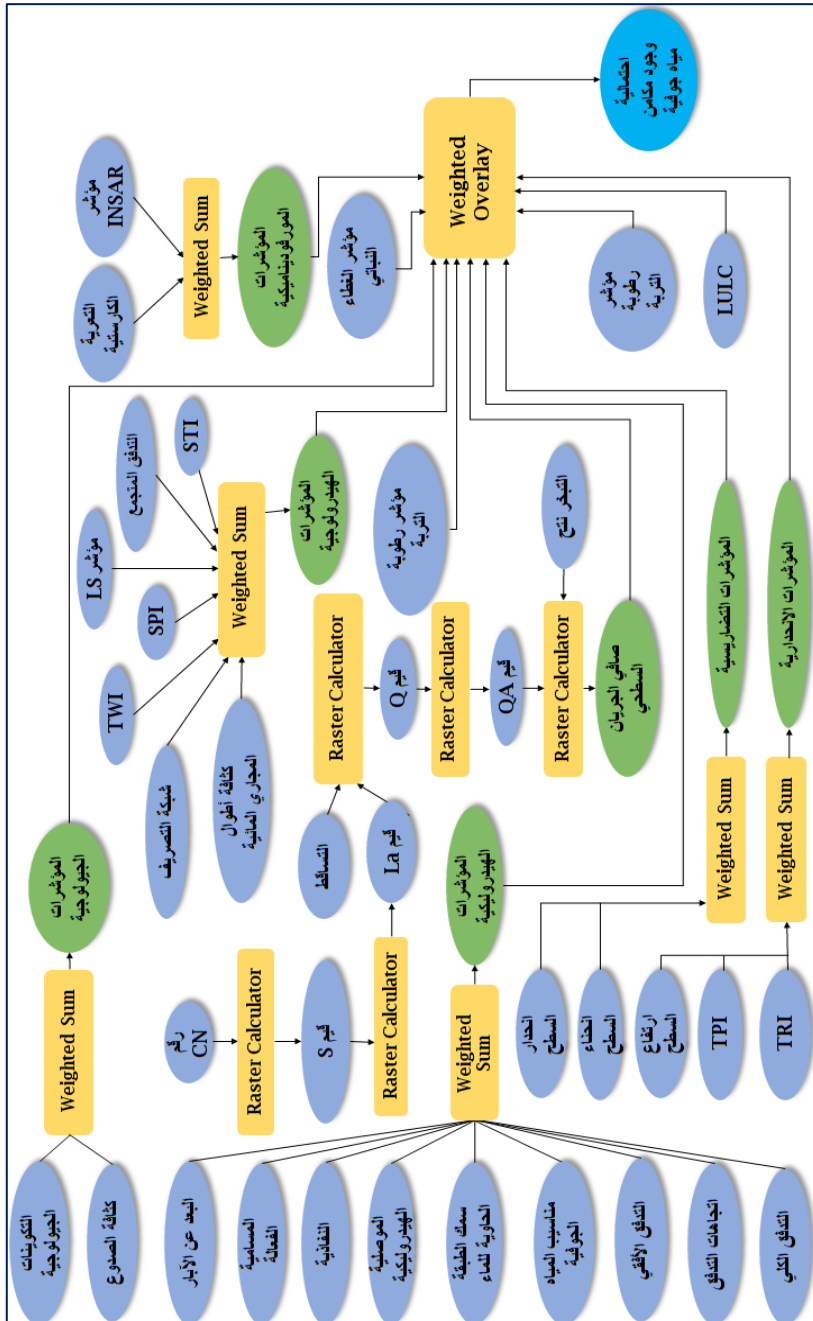
وفي ضوء ذلك تم عمل تقارير الخبراء وتفرغها في جدول المصفوفة الزوجية ببرنامج extAhp20 كما يوضحه الشكل التالي.

The screenshot shows the 'Set weights' window of the extAhp20 software. On the left, a 'Criteria hierarchy' tree is visible, starting with 'Objective' and listing various criteria with their respective weights. On the right, a 'Preference matrix' is displayed, showing a comparison between criteria. The matrix is a 10x10 grid where the diagonal elements are 1, and the off-diagonal elements represent the preference values between criteria. Below the matrix, the 'Ahp results' section shows the calculated CR value of 0.467 and a 'Compute' button. The 'Create map' and 'create file?' options are also visible.

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على تقارير الخبراء باستخدام برنامج extAhp20 باستخدام الأمر Compute.

شكل (٢٤) حساب الأوزان النسبية للمعايير من تقارير الخبراء باستخدام برنامج extAhp20

ويوضح الشكل التالي نموذج محاكاة احتمالية تواجد مكامن المياه الجوفية بمنطقة الدراسة وفقاً للمعايير التي بنيت عليها المنهجية المتبعة في الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc map 10.5

شكل (٢٥) نموذج محاكاة احتمالية تواجد مكامن المياه الجوفية بحوض وادي قصب

## النتائج Results:

من خلال تطبيق النموذج السابق تم الحصول على الشكل (٢٦) الذي يوضح فئات احتمالية تواجد كميات مياه جوفية بحوض وادي قصب والذي تباينت فيه احتمالات تواجد كميات المياه الجوفية كما يلي:

### ■ مواضع ذات احتمالية عالية جداً:

تشغل هذه الفئة نحو ١١,٦٨٪ من مساحة الحوض ويمثلها معظم أراضي حوض وادي قصب الأدنى باستثناء الأجزاء الشرقية منها والأجزاء الدنيا لأودية الجير وعقبة العجول وطلعة الجير والمجري والقابلة القبلية والمقابلة البحرية وفهيدى، والمجرى الرئيس لوادي قصب الأوسط والقسمين الأعلى والأدنى من المجرى الرئيس لوادي شيتون الأوسط والقسمين الأوسط والأدنى من حوض شيتون الأعلى والأجزاء الوسطى لأراضي حوض قصب الأعلى والجانب الغربي لحوض وادي أبو سيديا.

### ■ مواضع ذات احتمالية عالية:

تشغل هذه الفئة نحو ٢٣,١٣٪ من مساحة المنطقة و تمثلها الأجزاء الوسطى لأحواض الجير وطلعة الجير وعقبة العجول وأبوسيديا وفهيدى وشيتون الأعلى وأم بوال وبعض المواضع في القسم الشرقي لحوض قصب الأدنى، ومعظم أراضي أحوض قصب الأعلى وأبو سيديا والفقي.

### ■ مواضع ذات احتمالية متوسطة:

تمثل هذه الفئة المساحة الأكبر بين فئات الاحتمالية كما يوضحه الشكل (٢٢)، حيث تشغل ٣٠,٠٥٪ من مساحة المنطقة، وتمثلها الأجزاء العليا لأحواض الجير، وعقبة العجول، وشيتون الأدنى، وشيتون الأوسط، وفهيدى، وطلعة العجوز، والفقي، والمقابلة القبلية، والمقابلة البحرية، وشيتون الأعلى، والأجزاء الوسطى لحوض طلعة الجير والدكري، والدنيا من حوضي الجهلانية وشيتون الأدنى ومعظم أراضي حوض أم بوال.



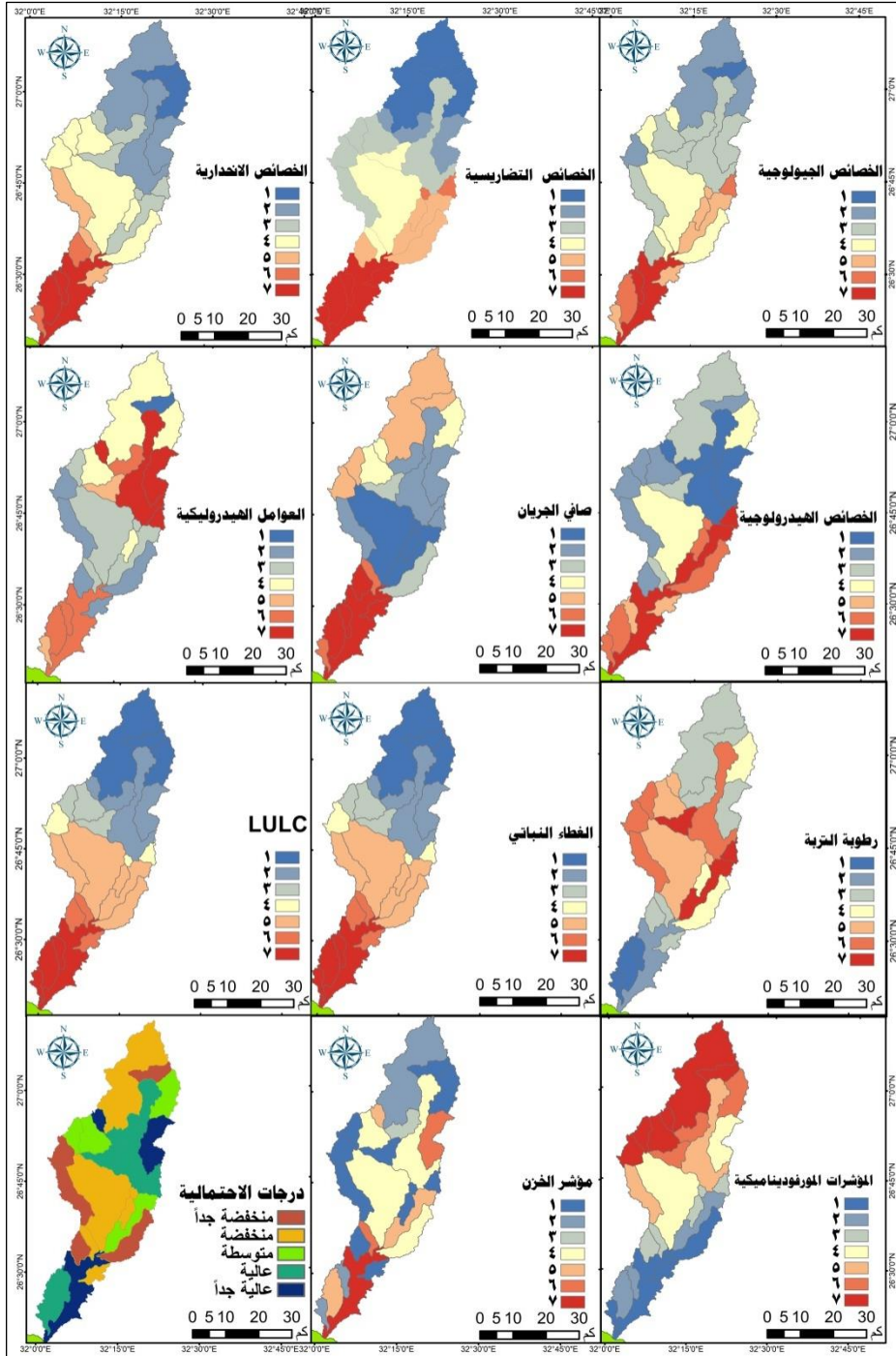


■ مواضع ذات احتمالية منخفضة جداً:

تشغل هذه الفئة ٩,٦٪ من مساحة المنطقة، ويمثلها بوضوح حوض وادي قيسوم والأجزاء العليا من أحواض شيتون الأعلى وقصب الأعلى والفقي والجهلانية والأجزاء الدنيا من حوض وادي الدكري والأجزاء الوسطى من حوض وادي الشطين.

أما على مستوى الأحواض فتبين وجود تفاوت في درجات احتمالية تواجد مكامن للمياه الجوفية من حوض لآخر وفقاً لمتوسط ناتج نمذجة كل معيار بأحواض المنطقة كما يوضحه شكل (٢٧)، ومن تحليله يتضح أن حوضي قصب الأدنى وعقبة العجول حظيا بدرجة الاحتمالية الأعلى وفقاً لنمذجة المعايير الجيولوجية، بينما حظيت أحواض قصب الأدنى وقصب الأوسط وفهيدي بدرجات الاحتمالية الأعلى وفقاً لنمذجة المعايير والمؤشرات الهيدروجيولوجية، في حين سجلت الأحواض الواقعة في القسم الشمالي الغربي من المنطقة القيم الأعلى وفقاً لمعيار العمليات المورفوديناميكية، كما سجلت درجات الاحتمالية الأعلى وفقاً لمتوسط قيم مؤشر رطوبة التربة بأحواض قصب الأوسط وفهيدي وطلعة العجوز، بينما ارتفعت درجات الاحتمالية بأحواض أبو سيديا وقصب الأعلى وفهيدي والمقابلة البحرية وفقاً لنتائج نمذجة المعايير الهيدروليكية، بينما سجلت باقي الأحواض الدرجات الأعلى للاحتتمالية وفقاً لنمذجة باقي المعايير، ومن خلال عملية الجمع الجبري لكافة المعايير تبين أن أحواض قصب الأدنى وأبو سيديا والمقابلة البحرية سجلوا أعلى قيم لاحتمالية تواجد مكامن مياه جوفية بها.





المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc map 10.5. (ملاحظة: القيم الأقل تشير إلى الاحتمالية الأقل والعكس).  
 شكل (٢٧) درجات احتمالية وجود مكامن مياه جوفية بأحواض منطقة الدراسة وفقاً لنواتج النمذجة

## مناقشة وتحليل النتائج:

اعتمد الباحث هنا في تحليل النتائج على نمذجة العلاقات المكانية Modeling Spatial relationships من خلال الانحدار الموزون جغرافياً Geographically Weighted Regression (GWR) (٧) الذي قدمه (Brunsdon, C et al, 1988, P.43-431) كشكل من أشكال الانحدار الخطي المحلي المستخدم لنمذجة العلاقات المختلفة مكانياً، والذي يعتمد بشكل كبير على التسلسل الهرمي المفترض للوحدات المكانية كما أوضح (جونز ١٩٩١) مما جعله ملائماً لتحليل نتائج الدراسة الحالية، لكونه يفيد في توليد البيانات المكانية التي تفسر الاختلافات المكانية في العلاقات بين المتغيرات، وسيتم التركيز هنا على تحليل قيم Local R-squared الذي يشير إلى درجة الملاءمة أو المطابقة الجيدة وتتراوح قيمته من صفر إلى ١، فكلما كانت قيمه أعلى كان ذلك أفضل ويشير إلى درجة عالية من ملاءمة النموذج، ويوضح الجدول التالي قيم المعامل مرتبة تنازلياً وفقاً لدرجة ملائمة المعايير الموزونة ومطابقتها للنموذج الذي تم بنائه سلفاً، وتحليل قيم التنبؤ Prediction، حيث يتم استخدام نموذج الانحدار الموزون جغرافياً (GWR) للتنبؤ المكاني بدلاً من الاستدلال (P. Harris et al, p.657).

٧- يتم حسابه من المعادلة التالية:

$$B_o(U_j, V_j) = \sum_{k=1}^n w_{jk} (y_j - B_o(U_j, V_j)) - \sum_{K=1}^P B_K (U_j, V_j) X_{JK}^2$$

حيث :

$$w_{jk} = \exp(-d_{jk}^2/b^2)$$

حيث :

$w_{jk}$  = وظيفة التضائل عن الموقع  $j$  ،  $d_{jk}$  = المسافة الفعلية بين  $z$  و  $i$  ،  $b$  يحدد عرض النطاق الترددي لـ kernel (Ali Mohammadinia et al 2019, p.5)

كما يمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$y_i = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^m \beta_{ik} x_{ik} + \epsilon_i$$

حيث:

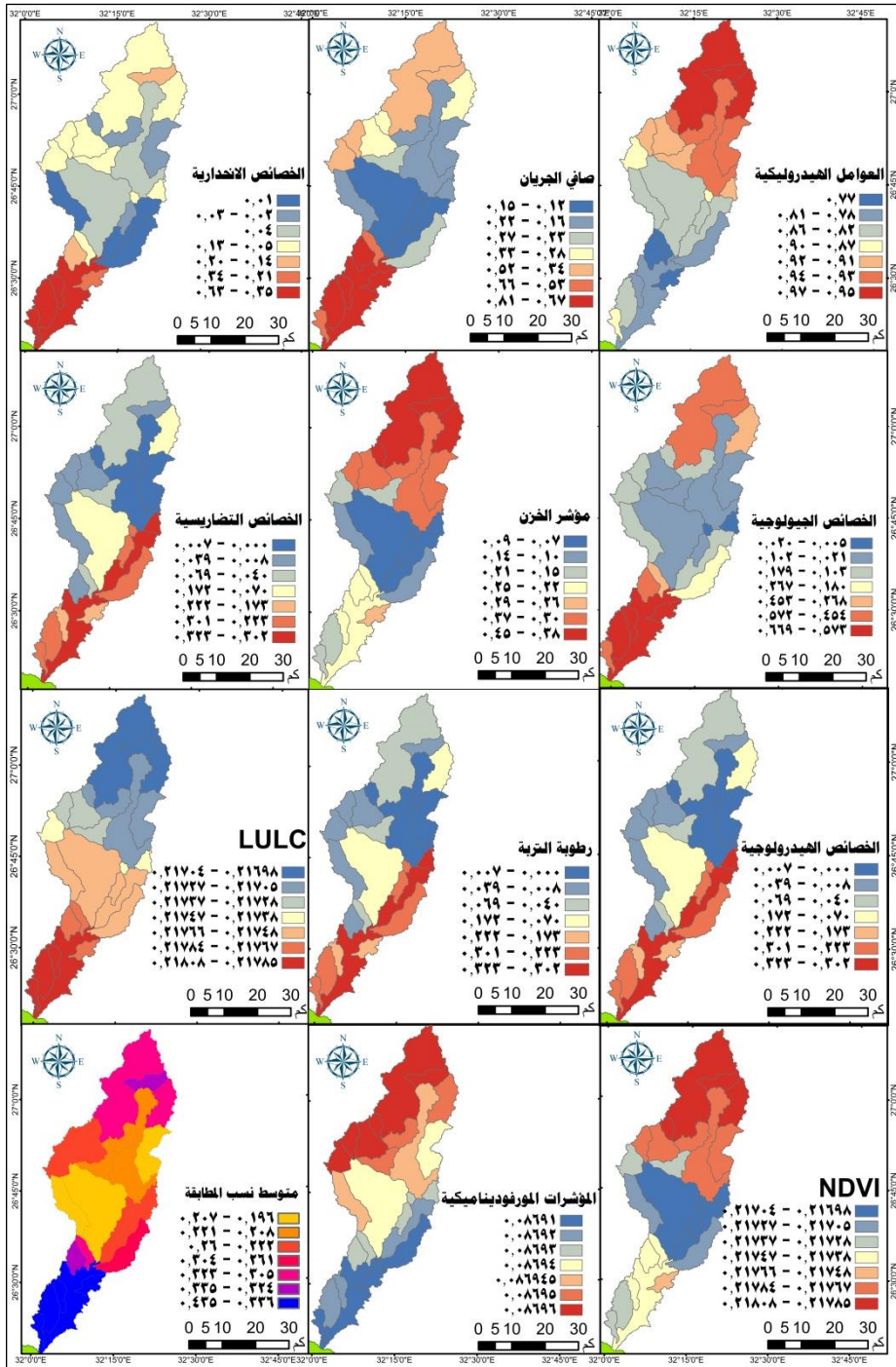
$y_i$  = موقع المتغير التابع  $i$  ،  $x_{ik}$  =  $k$  في موقع المتغير التابع  $i$  ،  $m$  = عدد المتغيرات المستقلة،  $\beta_{i0}$  = سمة التقاطع في الموقع  $i$  ،  $\beta_{ik}$  = معامل الانحدار المحلي لكثافة مستقلة متغيرة الموقع  $i$  ،  $\epsilon_i$  = موقع الخطأ العشوائي

(Fotheringham, A.S., Brunsdon, C., and Charlton, M., 2002, P.2)

ويتم حسابه باستخدام برنامج Arc map 10.5 بطريقة مباشرة باستخدام الأمر Geographically Weighted Regression (GWR) من قائمة Spatial Statistics ضمن أدوات Arc Tool box.

**قيم Local R2:**

تشير قيم مربع الانحدار المحلي Local Regression Square نتائج التحليل الجغرافي الموزون إلى وجود تباين واضح بين نواتج نمذجة المعايير المختارة على مستوى الأحواض الفرعية من معيار لآخر، ويعد ناتج نمذجة **العوامل الهيدروليكية** الأكثر مطابقة بين نواتج النمذجة المختلفة بناتج النمذجة الهيدرولوجي مورفولوجية، حيث تراوحت نسب المطابقة به بين (٧٧\_٩٧٪)، وقد حظيت الأحواض العليا بنسب المطابقة الأعلى بين كافة الأحواض تصدرتها أحواض قيسوم والفقي وشيتون الأعلى، بينما سجلت نسب المطابقة الأقل في حوضي الذكري والبلابيش، كما جاء عامل **صافي الجريان** المرتبة الثانية من حيث نسب المطابقة والتي تراوحت قيمها بين ١٢٪ لأقل الأحواض تسجيلاً لنسب المطابقة (شيتون الأدنى وأبوسميري وفهيدي وقصب الأوسط وأم نقبة) و ٨١٪ لحوض قصب الأدنى والأحواض التي تصب فيه من جهتي الشرق والغرب، بينما احتلت العوامل الجيولوجية المرتبة الثالثة لنسب المطابقة وتراوحت نسب مطابقتها بين ٥\_٦٦.٩٪، في حين احتلت **العوامل الانحدارية** المرتبة الرابعة من حيث نسبة المطابقة وقد تراوحت نسب مطابقة نمذجتها بين ١\_٦٣٪ حيث سجلت أحواض قصب الأدنى والجير وعقبة العجول وطلعة الجير نسب المطابقة الأعلى بين كافة الأحواض، تلاها مؤشر الخزن بنسب مطابقة تراوحت بين ٧-٤٥٪، تلاها مؤشر الخزن بنسب مطابقة وصلت إلى ٤٥٪، وقد تطابقت تماماً نواتج نمذجة المعايير التضاريسية والهيدرولوجية ورطوبة التربة بنسب مطابقة تراوحت بين صفر\_٣٢.٣٪، كما تطابقت نواتج نمذجة صافي الجريان والخصائص الجيولوجية والانحدارية واستخدامات الأرض والغطاءات الأرضية في مجموعة الأحواض الدنيا من الوادي، بينما سجل ناتج العمليات المورفوديناميكية أقل نسب مطابقة بين كافة المعايير بمتوسط عام لنسب المطابقة قدره ٨.٧٪ تقريباً، ومن حساب متوسط قيم المطابقة لكافة المعايير تبين أن أحواض قصب الأدنى والجير وطلعة الجير وعقبة العجول والذكري سجلت أعلى قيم للمطابقة بين الأحواض كافة بنسب تراوحت بين ٣٢.٦\_٤٣.٥٪ كما يوضحه الشكل التالي.



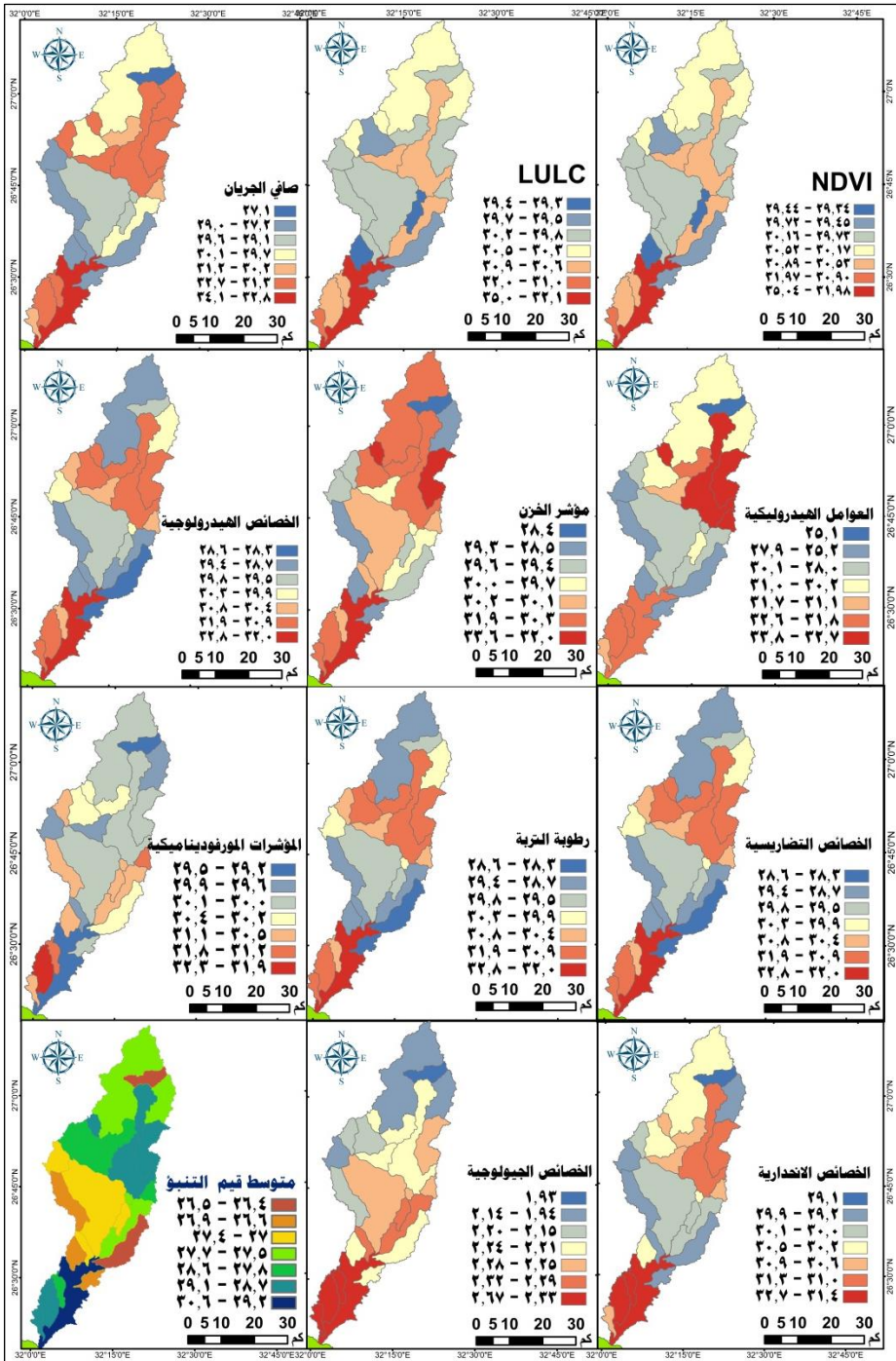
المصدر: نتائج التحليل الجغرافي الموزون للأحواض الفرعية.

شكل (٢٨) قيم Local R2 للمعايير الموزونة بالأحواض الفرعية لحوض وادي قصب

**التنبؤ Prediction:**

تم تطوير GWR في الأصل لتحليل بيانات النقطة المكانية ويسمح باستيفاء القيم غير المدرجة في مجموعة البيانات، ويتم تطبيقه على افتراض أن قوة واتجاه العلاقة بين المتغير التابع وتنبؤاته يمكن تعديلها بواسطة عوامل سياقية، لذا فإنه يحظى باهتمام كبير في العديد من مجالات العلوم التطبيقية لقدرته على التنبؤ بالقيم في مواقع غير معروفة مفيدة ليس فقط للعلماء الذين يحاولون نمذجة العمليات المكانية، ولكن أيضاً لصانعي السياسات الذين يحتاجون إلى تخطيط وإدارة نتائج العمليات المكانية على المستويات الإقليمية أو المحلية، على الرغم من طول عمر الموضوع، هناك دائماً عنصر عدم اليقين فيما يتعلق بنوع طريقة التنبؤ الأكثر ملاءمة في المواقف المختلفة يعتمد الكثير على طبيعة بيانات العينة والقرارات التي يتخذها المحلل عند وضع نموذج التنبؤ ( Matheron, 1989, p. 38)، حيث يمكن قياس قيمة متنبئ معين من خلال أدائه على المدى الطويل من خلال عدد متزايد من التطبيقات.

وتشير النتائج إلى أن الأساليب المستخدمة في هذه الدراسة يمكنها نمذجة والتنبؤ بمكامن المياه الجوفية بمستوى عالٍ من الأهمية، وبمراجعة نتائج GWR تبين وجود تفاوت في قيم التنبؤ من معيار لآخر ومن حوض لآخر، وإن كانت تتزايد بشكل واضح بحوض قصب الأدنى لكافة المعايير عدا العمليات المورفوديناميكية، والأحواض التي تصب في حوضي قصب الأعلى من جهة الشرق وشيتون الأوسط من جهة الشمال، وتقل بشكل ملحوظ في الأحواض الفرعية المحيطة بحوض شيتون الأدنى وسط منطقة الدراسة، وبحساب متوسط قسم التنبؤ بأحواض منطقة الدراسة تبين أنها تراوحت بين ٢٦,٤\_٢٦,٥% بحوضي قيسوم والجهلانية، ٢٩,٢\_٣٠,٦% بحوض قصب الأدنى كما يوضحه الشكل التالي.



المصدر: نتائج التحليل الجغرافي الموزون للأحواض الفرعية.

شكل (٢٩) النسب المئوية لقيم التنبؤ بوجود مياه جوفية بمنطقة الدراسة



## العلاقات الارتباطية والارتباط الذاتي المكاني Spatial autocorrelation:

يعرف مقياس للارتباط الذاتي المكاني spatial autocorrelation بمعامل موران<sup>(٨)</sup>، ويعد أحد أنماط تحليل الترابط المكاني بين تموضع الظاهرة وقيم عيناتها، وتتراوح قيم هذا المعامل بين (+١، -١)، إذ تدل القيم القريبة من +١ أن نمط التوزيع يكون متجمعاً، وكلما اقتربت قيمه من (-١) دل على أن النمط متباعداً، وإذا كانت القيم قريبة من ٠ أو تساوي الصفر دل ذلك على أن نمط التوزيع عشوائياً، وقد أسفرت نتائج التحليل عن أن قيم نواتج نمذجة كافة المعايير تتسم بالتركز عدا معياري مؤشر الغطاء النباتي و LULC، كما تم ترتيب العوامل وفقاً لقوة ارتباطها كما يوضحه الجدول الآتي.

جدول (١٢) العلاقات الارتباطية والارتباط الذاتي المكاني بين النموذج المقترح والمعايير الموزونة

م	نتائج نمذجة المعايير الموزونة	معامل الارتباط	معامل موران	نمط التوزيع
١	العوامل الهيدروليكية	**٠,٩٤٧	٠,٨٣١	متجمع
٢	العوامل الانحدارية	**٠,٨٠٣	٠,٧٣٤	متجمع
٣	رطوبة التربة	**٠,٧٣٣	٠,٧١١	متجمع
٤	صافي الجريان السطحي	*٠,٤٦٤	٠,٦٤٨	متجمع
٥	LULC	*٠,٤٦٦	٠,٠٧٢	عشوائي
٦	NDVI	*٠,٤٦٦	٠,٠٧٢	عشوائي
٧	مؤشر الخزن خلف السدود	٠,٣٥٥	٠,٨٤٣	متجمع
٨	العوامل التضاريسية	٠,٢٦٣	٠,٦٤٨	متجمع
٩	العوامل الجيولوجية	*٠,٤٤٤	٠,٦٤٨	متجمع
١٠	العوامل المورفوديناميكية	٠,١١٤	٠,٩٥٣	متجمع
١١	العوامل الهيدرولوجية	٠,٠٩٩	٠,٦٢٣	متجمع

المصدر: من حسابات الباحث اعتماداً على نتائج معامل موران باستخدام برنامج Arc map 10.5.

<sup>٨</sup> - بحسب من المعادلة التالية:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2}$$

(Getis, Arthur, and J. K. Ord, 1992)

حيث:

I = معامل موران، z هو انحراف السمة للميزة i عن وسطها (Xi, x)، w<sub>ij</sub> = هو الوزن المكاني بين السمة i و z، n يساوي العدد الإجمالي للسمة k So = مجموع كل الأوزان المكانية، وتحسب قيمة S<sub>0</sub> من المعادلة التالية:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

(Good child, Michael F, 1986)

كما تحسب قيمة Z<sub>i</sub> من العلاقة:

$$z_i = \frac{i - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

(, 1987) Griffith, Daniel

حيث:

$$E[V[I]] = E[I^2] - E[I]^2 = -1(n - 1)$$

(Mitchell, Andy, 2005)



## التوصيات والمقترحات:

في ضوء ما تم دراسته تقترح الدراسة ما يلي:

- ضرورة استخراج الطين والطيني النيلي المطمور أسفل المدرجات النهرية القديمة بمجموعة الأودية الجنوبية لاستهداف إضافة مساحة صالحة للتنمية الزراعية المستدامة تقدر بـ ٣٠,٤٥٣ كم<sup>٢</sup> (٧٥٢٥ فدان) مع الأخذ في الاعتبار العمل على استقرارية المنحدرات وبناء سدود حماية عند مصبات الأودية التي تصب في حوض الوادي.
- من خلال تحليل الدراسات الهيدرولوجية المعنية بتنمية مكامن المياه الجوفية بالأراضي الجافة وشبه الجافة تبين أن أنسب طريقة لاستدامة المياه الجوفية تكمن في إنشاء سدود للمياه الجوفية، وهي عبارة عن هياكل تعترض التدفق الطبيعي للمياه الجوفية وتوفر تخزيناً جيداً لها في المواضع التي تقام بها، وقد أثبتت هذه الطريقة فعاليتها العالية في خزن المياه الجوفية بشكل جيد في العديد من دول العالم كالهند والبرازيل وغيرها، وتكمن مزاياها في أن الفاقد من مياه المطر بفعل التبخر أقل بكثير للمياه المخزنة في الخزانات السطحية المكشوفة التي يمكن استغلال المساحات التي ستقام عليها في توطين نشاط آخر، كما تحد من خطر تلوث المياه بالطفيليات التي لا يمكن أن تتكاثر في المياه الجوفية، ومن ثم تقترح الدراسة إنشاء سد مياه جوفية بعد مصبي وادي قصب الأوسط وشيتون الأدنى لكون هذا الموضع يمثل عنق الزجاجة للماء المستقبلي لحوض وادي قصب الأدنى بمياه الجريان السطحي وهو الموضع الذي حددته قيم التنبؤ، وتؤكد كفاءة الشواهد والمؤشرات الهيدرولوجية والهيدروليكية بمنطقة الدراسة للتحكم في الجريان السطحي وتحقيق أقصى استفادة من الحصاد المائي وبأحدث الطرق المستدامة.
- ضرورة التوسع في إنشاء محطات استخراج المياه الجوفية بالطاقة الشمسية ومعالجتها بحوض قصب الأدنى لاستغلالها في الشرب والزراعة وسقي الماشية لا سيما وأن درجات تركيز الأملاح به تتراوح بين ٥٠٠-١٠٠٠ جزء/مليون (القياس الحقلي لدرجات تركيز الأملاح لعدد ٧ عينات من مياه آبار السحب باستخدام جهاز -SALT Gear seasoneseason Meter, 3050).



## المصادر والمراجع

### ١. المراجع باللغة العربية:

- أحمد، حسين جواد (٢٠٠٧) استخدام التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد مصادر المياه في وادي الأبيض والغدق، دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم، جامعة بغداد، العراق.
- الجبوري، فائق حسن محمد فرحان (٢٠١٥) النمذجة الهيدروجيوميورفولوجية لحوض لك باستخدام امتداد AGWA2، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة تكريت.
- السيد، ياسر أحمد (٢٠١٤) رطوبة التروبوسفير وتغيراتها الرأسية بجمهورية مصر العربية "دراسة في الجغرافيا المناخية"، مجلة الإنسانيات، كلية الآداب، جامعة دمنهور، العدد ٤٢، يناير.
- جاب الله، حسام محمد ومحمد، منصور عبد العاطي سعد (٢٠١٩) استخدام نمذجة نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أفضل الأماكن لاستخراج المياه الجوفية بحوض وادي عباد بصحراء مصر الشرقية، مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة المنوفية، عدد ٢٧.
- سلامة، حسن (٢٠٠٤) أصول الجيومورفولوجيا، ط١، عمان: دار المسيرة، ١٨٣.
- سليمان، محمد فؤاد عبد العزيز (٢٠١١)، الضوابط الهيدروجيوميورفولوجية لسيل ٢٠١٠ بحوض وادي العريش باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة بحوث الشرق الأوسط، جامعة عين شمس، ٢٩٤.
- عذب، محمد عبدالعزيز (٢٠٠٧) دراسة تطبيقية لسيول وادي قصب باستخدام التقنيات الكارتوجرافية الحديثة، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، عدد ٥٠.
- عقل، ممدوح تهامي (١٩٩٤) جيومورفولوجية المرواح الفيضية والعوامل المتحكمة في تطورها بحوض أم غيج بالصحراء الشرقية، مجلة كلية الآداب، جامعة المنوفية.

- عيسى، كريم مصلح صالح، و حجاب، محمود أحمد (٢٠٠٨) التحليل المورفولوجي لمنحدرات جوانب وادي قصب الصحراء الشرقية، جامعة المنوفية - كلية الآداب - مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، عدد ٢٠.
- قرية، جهاد محمد (٢٠١٠) المفاهيم الأساسية للنظريات والنماذج في العلوم الجغرافية، جامعة ام القرى، كلية العلوم الاجتماعية.
- محجوب، حسناء (٢٠٠٩) قياسات المعلومات، الإسكندرية، دار الثقافة العلمية.

## ٢. المراجع باللغة الأجنبية:

- Abdalla, F., (2012): Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: a case study from the Central Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, p.70, 8–17
- .Ali Mohammadinia, Bahram Saeidian, Biswajeet Pradhan and Zeinab Ghaemi(2019): Prediction mapping of human leptospirosis using ANN, GWR, SVM and GLM approaches, BMC Infectious diseases.
- Arnab Saha, Manti Patil, Vikas Chandra Goyal and Devendra Singh Rathore (2018): Assessment and Impact of Soil Moisture Index In Agricultural Drought Estimation Using Remote Sensing and GIS Techniques, t the 3rd International Electronic Conference on Water Sciences, 15–30 November.
- Dhekra Souissia, Mohamed Haythem Msaddeka, Lahcen Zouhrib, Ismail Cheninia, Moufida El Mayaand Mahmoud Dlal(2018): Mapping groundwater recharge potential zones in arid region using GIS and Landsat approaches, southeast Tunisia, Hydrological Sciences journal, ,VOL. 63, NO. 2, 251–268.
- Fotheringham,A.S.,Brunsdon,C.,and Charlton,M (2002): Geographically weighted regression :the analysis of spatially varying relationships .Chichester: Wiley.
- Getis, Arthur, and J. K. Ord (1992): "The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics." Geographical Analysis 24, no. 3.
- Good child, Michael F (1986): Spatial Autocorrelation, Catmog 47, Geo Books.
- Griffith, Daniel, A, Primer (1987): Spatial Autocorrelation Resource Publications in Geography, Association of American Geographers.
- Mitchell, Andy (2005): The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2. ESRI Press.
- Mohsen Farzin, Mohammadtaghi Avand, Hassan Ahmad Zadeh, Martina Zelenakova and John P. Tiefenbacher (2021): Assessment of Ensemble Models for Groundwater Potential Modeling and Prediction in a Karst Watershed, Water Journal.
- P. D, Allestro and C. Parente (2015): GIS application for NDVI calculation using Landsat 8 OLI images, International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 21, Research India Publications.

- P. Harris, A.S Fotheringham, R. Crespo & M. Charlton (2010): The Use of Geographically Weighted Regression for Spatial Prediction: An Evaluation of Models Using Simulated Data Sets, International Association for Mathematical Geosciences, vol.42.
- Said, R. (1981): The geological evolution of the Nile valley. Springer, New York.
- Schumm, S. A., (1954): Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey, Bull. Amer. Geol. Soc. 67.
- Strahler, A. N., (1964): Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks, In V. T. chow (ed.), Handbook of applied hydrology.
- USDA-SCS, (1986) Urban hydrology for small watershed, department of agriculture U.S.A.
- Venkatesh Merwade (2019): Creating SCS Curve Number Grid using Land Cover and Soil Data, School of Civil Engineering, Purdue University.
- William W. Woessner and Eileen P. Poeter (2020): Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principles of Groundwater Flow, University of Montana, USA. ISBN: 978-1-7770541-2-0.
- Xinyi Dai (2016) Dam site selection using an integrated method of AHP and GIS for decision making support in Bortala, Northwest China, Land University, Sweden.

### ٣. المصادر:

- الهيئة العامة للبتروال بالتعاون مع شركة كونكو، خريطة مصر الجيولوجية لوحة أسيوط مقياس ١ : ٥٠٠ ألف، القاهرة ١٩٨٨.
- معهد مسح التربة، خريطة التربة لمصر مقياس ١ : ٤ مليون، مشروع المسح الهولندي، فاخينينجن، هولندا.
- هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية [/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)
- هيئة المساحة الجيولوجية والمشروعات التعدينية خريطة وادي قصب مقياس ١ : ١٠٠ ألف.
- نموذج ارتفاع رقمي لمصر دقة ٣٠ م من الرابط التالي:  
[https://drive.google.com/u/0/uc?id=1CIVy3bVMw2PLkVZy\\_7S7nNtm9y9a5xX&export=download](https://drive.google.com/u/0/uc?id=1CIVy3bVMw2PLkVZy_7S7nNtm9y9a5xX&export=download)
- USDA-ARS Southwest Watershed Research Center Tucson, Arizona, USEPA, Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) Manual, p. 12.
- World-wide InSAR sensitivity index From Next link  
[https://data.4tu.nl/articles/dataset/Worldwide\\_InSAR\\_sensitivity\\_index\\_data\\_set\\_for\\_landslide\\_deformation\\_tracking/14095777](https://data.4tu.nl/articles/dataset/Worldwide_InSAR_sensitivity_index_data_set_for_landslide_deformation_tracking/14095777).

## Hydrogeomorphological modeling for identifying groundwater reservoirs in Qasab Valley Basin using the Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems.

Dr. Hamdy Nabeih Eid (\*)

### Abstract:

Determining the potential locations of groundwater reservoirs stored from rainwater in dry and semi-arid lands, based on scientific techniques, is necessary for managing groundwater resources and land-use planning. This is where hydrogeomorphological modeling comes into importance, as it is a restricted decision-making method adopted in scientific studies through modeling the influencing criteria and indicative indicators. The relative weights are calculated to create a weighted overlay using Arc Map 10.5 software. This method has been strongly adopted for modeling spatial criteria due to its high accuracy and fast extraction of results, as well as its ease of spatial and statistical analysis, which saves time and effort in researching and prospecting for groundwater. The results of the hydrogeomorphological modeling indicated that the highly probable locations in the basin occupy approximately 11.68% of the area, while the highly probable locations cover about 23.13% of it. The moderately probable locations cover about 30.05% of the basin area, while the low probable locations cover about 25.54% of it, and the very low probable locations cover about 9.6% of that area. By calculating the average probability values at the basin level, it was found that Qasab Al-Adna, Al-Muqabbilah Al-Bahariah, and Abu Sedia basins recorded the highest probability values for the presence of groundwater. On the other hand, Qisum, Aqabah, Al-Jahlaniyah, Al-Balabish, Ain Remil, and Al-Shutayen basins recorded the lowest probability values. By analyzing the outputs of the weighted regression geographically, it is evident that Qasab Al-Adna, Al-Dekri, Talaat Al-Jeer, Al-Jeer, and Aqabah Al-Ajouz basins had the highest matching percentages with the selected modeling outputs using the proposed model. It is expected that Qasab Al-Adna basin will have the highest storage rates in the future, according to the predictive values calculation.

**Keywords:** Hydrogeomorphological modeling, Qasab Valley, groundwater reservoirs.

---

(\*) Dr. Hamdy Nabeih Eid Mohammed, Lecturer, Department of Geography and Geographic Information Systems, Faculty of Arts, Sohag University.

CONTACT: [hamdy\\_mohamed1@art.sohag.edu.eg](mailto:hamdy_mohamed1@art.sohag.edu.eg) -