

نمذجة المياه الجوفية المحتملة وتحديد مناطق التغذية بحوض وادي قنا- شرقي مصر باستخدام التقنيات الجيومكانية وتحليل AHP

د/ سحر نور الدين توفيق(*)

ملخص البحث:

تعتبر المياه الجوفية بحوض وادي قنا مورداً متجدداً، لكنها تشهد تراجعاً بسبب انخفاض هطول الأمطار في السنوات الأخيرة والنمو السكاني السريع. ولدعم التنمية الاجتماعية والاقتصادية، هناك طلب متزايد على هذا المورد الثمين. تقدم هذه الورقة البحثية منهجية موحدة لتحديد مناطق المياه الجوفية المحتملة GWPZ عن طريق دمج تقنيتي الاستشعار من البعد ونظم المعلومات الجغرافية مع التحليل الهرمي متعدد المعايير في تحديد (١٥) معيار مكاني لمراقبة وجود المياه الجوفية وحركتها بحوض وادي قنا، وتشمل (التكوين الجيولوجي، الانحدار، كثافة شبكة التصريف، القرب من خطوط التصريف المائي، المناسيب، كثافة خطوط الانكسار، الأمطار، الخزانات الجوفية، المسافة الرأسية من خطوط التصريف المائي، استخدامات/ الغطاء الأرضي، تراكم الجريان المائي، مجموعات التربة، المنخفضات المغلقة، مؤشر الرطوبة الأرضية، ودليل الموضع الطبوغرافي). وباستخدام برنامج ArcGIS 10,4.2 تم بناء نموذج البيانات النقطية لكل معيار. وبالاعتماد على آراء الخبراء والمعايير المشتقة من المراجع الأدبية، تم استخدام المعرفة المتخصصة المستندة إلى AHP لإعداد مؤشر إمكانات المياه الجوفية وتعيين أوزان لطبقات المعايير المكانية. وصنفت الدراسة المنطقة إلى خمس مناطق ذات إمكانات متفاوتة للمياه الجوفية: مرتفعة جداً (١١.٧٥٪)، مرتفعة (٢٩.٣٠٪)، متوسطة (٨.٨٦٪)، منخفضة (٤٧.٥٥٪)، ومنخفضة جداً (٢.٥٠٪) ويتضح أن الجزء الجنوبي الغربي من حوض وادي قنا يتمتع بدرجة مرتفعة جداً من التغذية والتخزين. تم التحقق من صحة النموذج من خلال مقارنة خريطة مناطق المياه الجوفية المحتملة GWPZ مع بيانات الانتاجية اليومي له عدد ٤٢ بئراً داخل الحوض. وكشفت الدراسة أن ٤٥.٧١٪ من الآبار تقع في المناطق ذات الإمكانات المرتفعة والمرتفعة جداً، مما يدل على موثوقية المنهجية المختارة. يمكن لهذه النتائج أن تساعد في اتخاذ القرار والتخطيط للاستخدام المستدام للمياه الجوفية في منطقة الدراسة التي تعاني من الإجهاد المائي. كما يمكن لنتائج الدراسة أن توجه صناع القرار في اتخاذ خيارات مستتيرة في الحفاظ على مورد المياه الجوفية في المنطقة. وتوصي الدراسة بالاستفادة من دمج تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية و AHP لإعداد نهج فعال ومنخفض التكلفة لتحديد مناطق GWPZ، والتي يمكن تطبيقها أيضاً في البيئات الجيولوجية والتضاريسية المشابهة لمنطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، وادي قنا، نظم المعلومات الجغرافية، التحليل الهرمي، مؤشر إمكانات المياه الجوفية.

(*) مدرس الجيومورفولوجيا التطبيقية ونظم المعلومات الجغرافية - كلية الآداب - جامعة الإسكندرية. drsahargis@gmail.com

Abstract**Modeling Potential Groundwater and Determining Recharge areas in the Wadi Qena Basin - Eastern Egypt using Geospatial Techniques and AHP Analysis**

Groundwater in the Wadi Qena Basin is a renewable resource, but it is declining due to decreased rainfall in recent years and rapid population growth. To support social and economic development, there is an increasing demand for this valuable resource. This research paper presents a unified methodology for identifying potential groundwater zones (GWPZ) by integrating remote sensing and geographic information systems techniques with multi-criteria hierarchical analysis in determining (15) spatial standards to monitor the presence and movement of groundwater in the Wadi Qena Basin. It includes (geological formation, slope, density of the drainage network, proximity to water drainage lines, levels, density of fracture lines, rainfall, underground reservoirs, vertical distance from water drainage lines, land uses/cover, accumulation of water runoff, soil groups, closed depressions, Ground moisture index, topographic position guide) Using ArcGIS 10.4.2, a raster data model was built for each criterion. Relying on the opinions of experts in the discipline and criteria derived from literature references, AHP-based expert knowledge was used to prepare a groundwater potential index and assign weights to the spatial criteria layers. The study classified the region into five regions with varying groundwater potential: very high (11.75%), high (29.30%), medium (8.86%), low (47.55%), and very low (2.50%). It is clear that the southwestern part of the basin Wadi Qena has a very high degree of nutrition and storage. The model was validated by comparing the GWPZ map with data from 42 wells within the basin. The validity of the results was confirmed by comparing them with the daily productivity of the aquifer in the study area, and the analysis revealed that 45.71% of the wells are located in areas with high and very high potential, which indicates the reliability of the chosen methodology. These results can help in decision-making and planning for sustainable use of groundwater in a water-stressed area. The study results can also guide decision makers in making informed choices regarding the issue of groundwater resource conservation in the study area. The study recommends taking advantage of the combination of GIS and AHP technologies to prepare an effective and low-cost approach to defining GWPZs, which can also be applied in geological and topographic environments similar to the study area.

Keywords: Groundwater - Wadi Qena - Geographic Information Systems - Hierarchical Analysis - Groundwater Potential Index.

مقدمة:

يمكن أن تكون دراسة إمكانات المياه الجوفية بمثابة مبادئ توجيهية مفيدة لصانع القرار وتساعد في الإدارة السليمة للمياه الجوفية بطريقة مستدامة، لكونها أهم الموارد الطبيعية التي تدعم صحة الإنسان والتنمية الاقتصادية في البيئات الجافة وشبه الجافة؛ حيث تعتبر مصدر للمياه للاستخدامات المنزلية والصناعية والزراعية وغيرها من القطاعات التنموية (Ayazi, M. H. et al.2010)، وتتكون معظم المياه الجوفية من مياه الأمطار التي تتسرب عبر الطبقات الصخرية، كما تتجدد أو يعاد تغذيتها عن طريق الأمطار التي تتسرب عبر الفواصل والشقوق تحت السطح، وتعتمد في تكوينها على مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية المختلفة (Banks, D., Robins, N. & Robins, N.2002) يواجه السكان في مناطق مختلفة من العالم ندرة واضحة في المياه؛ نظرا لارتفاع معدلات السحب من المياه الجوفية مقارنة بتجديدها الطبيعي (إعادة تغذيتها). ونتيجة التوسع في المشاريع الزراعية الجديدة في منطقة الدراسة، فإن المنطقة جذبت عدد كبير من سكان مدينة قنا ذات الكثافة السكانية العالية والاستقرار بمدينة قنا الجديدة والتجمعات العمرانية الأخرى بحوض الدراسة، مما ضغط على موارد المياه الجوفية؛ لذا جاءت أهمية هذه الورقة البحثية لاستكشاف مناطق جديدة محتملة للمياه الجوفية (GWPZs) بحوض وادي قنا واكتشاف مناطق إعادة التغذية وتنميتها استجابة لهذا الوضع من خلال تطبيق التقنيات المكانية الحديثة ، مما يحفز السكان على الإقامة في مناطق التنمية بالموازاة مع الامكانات المناسبة لموارد المياه الجوفية والبنية التحتية والزراعة؛ في ضوء زراعة جزء من الأراضي الصحراوية بالمحاصيل منخفضة الاستهلاك للمياه ، مثل النباتات الطبية.

مؤخرا تم الاعتماد على الأدوات الجغرافية المكانية الحديثة في دراسة المياه الجوفية، لميزها بالسرعة والفعالية من حيث التكلفة في تحليل ونمذجة البيانات في مختلف مجالات علوم الأرض (Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M. & Abdullah, K2012). وجاء في مقدمتها نظم المعلومات الجغرافية وتكاملها مع عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) التي تعد أحد طرق تحليل القرار المتعدد المعايير (MCDA) فيمكن استخدامها بشكل أكثر فاعلية في تحديد ورسم خرائط إمكانات المياه الجوفية ومناطق التغذية ، وتحديد مناطق الندرة، بالمقارنة بالأساليب الأخرى، مثل: الأدوات الجيوفيزيائية والهيدروجيولوجية التي تكون عموماً ذات تكلفة مرتفعة وقد تستغرق وقتاً طويلاً (Saha, D., Dhar, Y. R. & Vittala, S. S.2010). وتعد عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) مفهوم للقياس عن طريق المقارنات الزوجية، والتي تعتمد على أحكام المتخصصين لإنشاء مقاييس الأسبقية، ومن خلالها يتم إصدار الأحكام بطريقة رتبة الأحكام المطلقة التي تشير إلى كيفية سيطرة العناصر على بعضها البعض فيما يتعلق بسمعة معينة (Saaty, T. L.1990)

أهمية الدراسة:-

تعد المياه الجوفية عنصر أساسي في شتى أوجه التنمية: الاقتصادية، الحد من الفقر، والتنوع البيئي. إلا أنه لم يكن الماء متاحاً دائماً متى وأينما دعت الحاجة إليه، كما أنه لم يكن مناسباً دائماً من حيث الجودة لجميع الاستخدامات. لذا تكمن أهمية هذه الورقة البحثية في تطوير موارد المياه البديلة (المياه الجوفية) ودراسة امكاناتها واحتمالية وجودها بمنطقة الدراسة، بالاعتماد على التقنيات الجيومكانية والتحليل متعدد المعايير. كما تكمن أهمية الدراسة في الكيفية التي يتم من خلالها المحافظة على مورد المياه الجوفية في ظل التغيرات المناخية الحالية وجعل المياه الجوفية مورداً قابلاً للاستدامة داخل المنطقة، خاصة أن منطقة الدراسة تشهد توسعات زراعية تعتمد بشكل أساسي على المياه الجوفية-شكل(١).

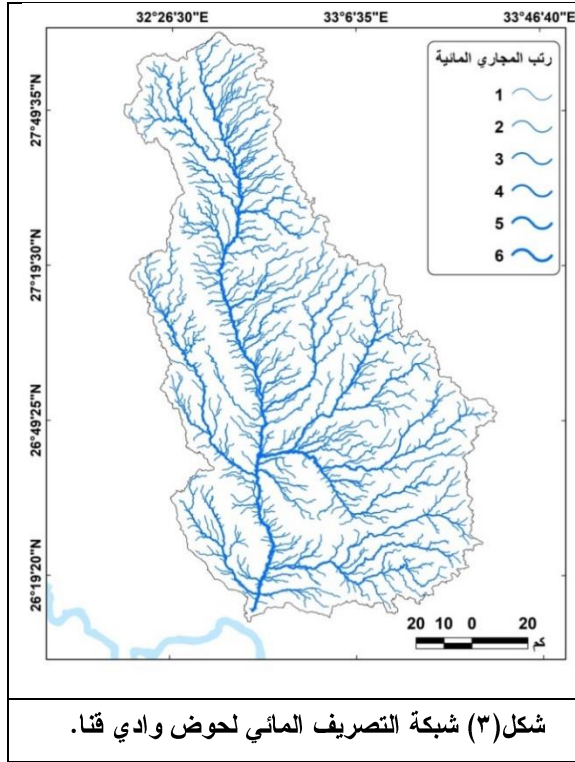
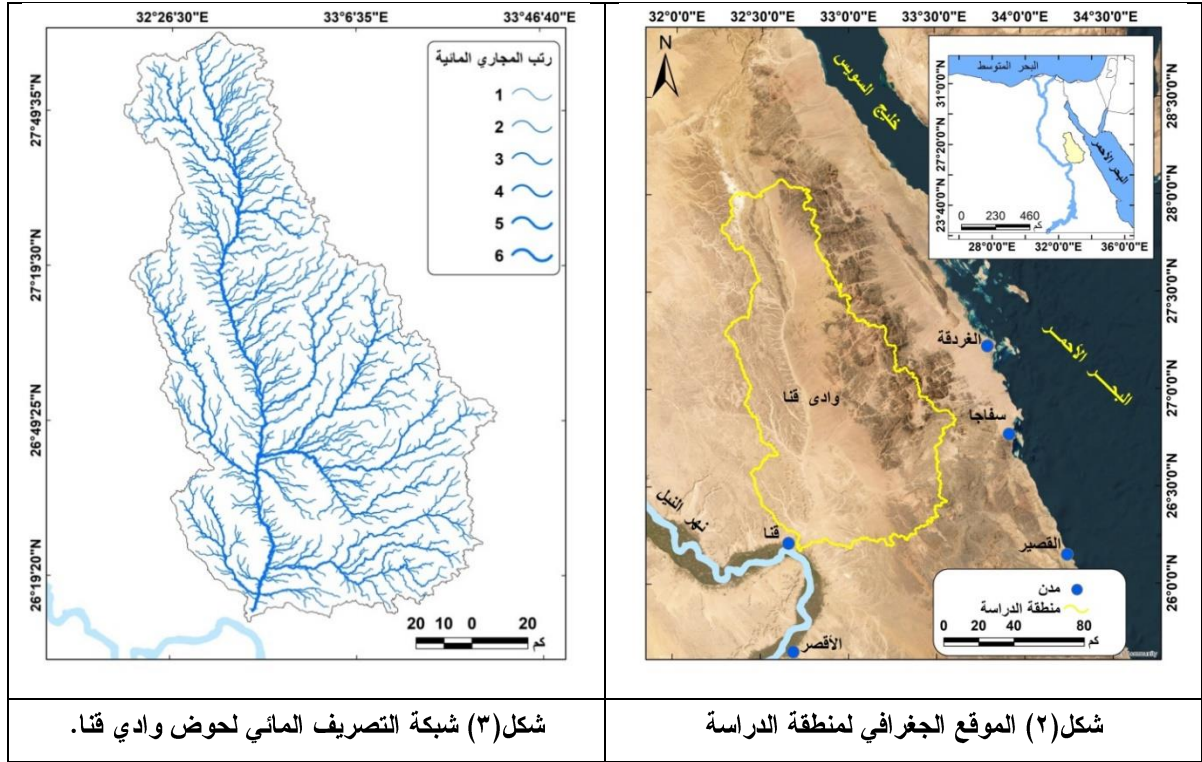


شكل(١) مخطط يوضح استخدام المياه الجوفية والطاقة الشمسية للري بحوض وادي قنا.

منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي قنا جغرافياً في القطاع الاوسط بالصحراء الشرقية المصرية ضمن خمس محافظات؛ قنا؛ سوهاج؛ أسيوط؛ المنيا وبني سويف، ويصل هذه المحافظات مع محافظة البحر الأحمر الساحلية، ويأتى حوض الدراسة في مقدمة أحواض الأودية الجافة في مصر من حيث المساحة فتصل مساحته ١٥٥٨٩.٠٢ كم^٢، ويمتد من الشمال إلى الجنوب الغربي بعكس اتجاه نهر النيل لمسافة ٢١٨.٨٦ كم، ويمتد حوض الدراسة فلكياً بين درجتي عرض ٢٩.٠٠" ١٠' ٥٢٦ و ٥٣.٥١" ٤' ٥٢٨ شمالاً، وبين خطي طول ٢٦.٦٦" ١٧' ٥٣٢ و ٥٠.٤٠" ٣٦' ٥٣٣ شرقاً شكل(٢)، وتتبع شبكة التصريف المائي لحوض الدراسة من جبال البحر الأحمر وتصب في نهر النيل عند مدينة قنا بعد أن تدفقها عبر تضاريس جيولوجية متنوعة، وتصل رتبة وادي قنا إلى الرتبة السادسة، ويتخذ نمط التصريف المائي الشجري شكل(٣). وعلى المستوى الاقتصادي

نجد أن منطقة حوض الدراسة تواجه نموًا سكانيًا بشكل متزايد، خاصة بعد إنشاء مدينة قنا الجديدة، كما تشهد المنطقة توسعات في التنمية الزراعية بالمراوح الفيضية.



إشكالية الدراسة:-

نظراً للطبيعة المناخية الجافة وشبه الجافة، فإن توفير المياه العذبة يعد المشكلة الرئيسية التي تؤثر على خطط التنمية في منطقة حوض وادي قنا بالصحراء الشرقية في مصر، حيث يتراوح متوسط تساقط الأمطار من ٢.٧٥ ملم/سنة في قنا إلى ٥٠ ملم/سنة في أقصى الجنوب الشرقي من منطقة الدراسة، مع تساقط مطري غزيرة في بعض الأحيان خلال موسم الخريف، مما يسبب سيول مفاجئة. كما تواجه منطقة الدراسة بعض التحديات الطبيعية والبشرية، مثل: التأثير الديموغرافي لمدينة قنا الجديدة والضغط الشديد على المياه الجوفية في الحياة الحضرية والتوسعات الزراعية بجنوب حوض الدراسة والتغيرات الحالية للمناخ والتي لها تأثير شديد على إدارة موارد المياه الجوفية بطريقة مستدامة؛ ونتيجة لذلك جاءت حتمية ضرورة تطوير موارد المياه البديلة، والتي هي الهدف الرئيسي لدراستنا الحالية، ويأتي في مقدمتها المياه الجوفية التي تعتبر الحل الأنسب لمثل هذه المشكلات. كما تسبب تركيز الصخور الصلبة بمنطقة الدراسة والتي تمثل أكثر من ٤٠٪ من التكوينات الجيولوجية في صعوبة تحديد وترسيم طبقة المياه الجوفية المحتملة وتوزيعها جغرافياً، وساعد على ذلك النقص في مجموعات البيانات سواء النواحي الجيولوجية أو الهيدروجيولوجية.

أهداف الدراسة:

- تهدف الدراسة لتحقيق الأهداف العلمية التالية:-
١. رسم خريطة لمواقع المياه الجوفية المحتملة في حوض وادي قنا.
 ٢. تعزيز الاستفادة من امكانات التقنيات الجيومكانية في زيادة الدقة والكفاءة وتوفير الوقت أثناء إدارة موارد المياه الجوفية وتخطيطها وتطويرها من قبل الهيئات الحكومية وغير الحكومية.
 ٣. توفير التكلفة الاقتصادية الناتجة عن المسوحات الأرضية باستخدام الأدوات الجيوفيزيائية والهيدروجيولوجية التي قد تكون عموماً مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً.
 ٤. تحسين أداء عملية تحليل التراكم من خلال إعطاء وزن لكل معيار حسب درجة أهميته.
 ٥. المساهمة في مساعدة المخططين وصناع القرار في إدارة وتخطيط موارد المياه الجوفية بمنطقة الدراسة.
 ٦. توجيه الاستثمار في المجال الزراعي والرعي نحو المواقع ذات احتمالية المياه الجوفية المرتفعة.

الدراسات السابقة:

اعتمدت الدراسة على عدد من الدراسات السابقة، يأتي في مقدمتها :-

Chi and Lee, 1994

وتناولت تحديد مناطق المياه الجوفية المحتملة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وتم نشرها في: "وقائع الندوة الإقليمية حول التطبيق المتكامل للاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لإدارة الأراضي والموارد المائية".

:Krishnamurthy and Srinivas, 1995

واهتمت بدور العوامل الجيولوجية في استكشاف المياه الجوفية باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد.

Krishnamurthy et al., 1996

وفيها تم دراسة طريقة ترسيم المناطق المحتملة للمياه الجوفية من خلال الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

Saraf and Choudhury, 1998

واهتمت بدراسة التكامل بين تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في استكشاف المياه الجوفية وتحديد مواقع التغذية الاصطناعية.

Shahid et al., 2000;

تناولت نمذجة إمكانات المياه الجوفية في نظم المعلومات الجغرافية.

تناولت التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في استكشاف المياه الجوفية: دراسة حالة في بوردور، تركيا.

Solomon and Quiel, 2006

تمت دراسة استكشاف المياه الجوفية باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في المرتفعات الوسطى في إريتريا.

Ganapuram et al., 2009

تناولت رسم خرائط المناطق المحتملة للمياه الجوفية في حوض موسي باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

Chowdhury, A., Jha, M. K., Chowdary, V. M. & Mal, B. C.(2009

تناولت التكامل بين تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتقييم إمكانات المياه الجوفية في منطقة غرب مدينيبور، ولاية البنغال الغربية، الهند.

Chowdhury et al., 2010

تناولت تحديد مناطق تغذية المياه الجوفية وتحديد مواقع إعادة التغذية الاصطناعية في منطقة غرب مدينيبور، ولاية البنغال الغربية باستخدام RS و GIS والتحليل متعدد المعايير MCDM .

Sahu and Sikdar, 2012

تم دراسة التقسيم المحتمل للمياه الجوفية للأراضي الرطبة بالمناطق الحضرية في حوض البنغال الجنوبي، الهند.

Rahmati, O., Samani, A. N., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R. & Zeinivand, H.(2015)

تناولت رسم خرائط إمكانات المياه الجوفية في إقليم كردستان في إيران باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي ونظم المعلومات الجغرافية.

دراسة (كريم حامد عبد اللطيف، ٢٠١٨):

واهتمت بتحديد مناطق تغذية المياه الجوفية بالمنطقة بين إدفو وأسوان واستخدمت الدراسة النمذجة في نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد.

دراسة (حسام محمد جاب الله، ٢٠١٩):

تناولت استخدام النمذجة في نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أفضل المواقع لاستخراج المياه الجوفية في حوض وادي عياد بالصحراء الشرقية لمصر.

Ghimire M, Chapagain PS, Shrestha S (2019

تم رسم خرائط للمنطقة المحتملة لنيابيع المياه الجوفية باستخدام التقنيات الجغرافية المكانية في جبال الهيمالايا الوسطى في نيبال: دراسة حالة لمنطقة ميلامتشي-لارك.

Pande CB, Moharir KN, Panneerselvam B et al (2021

تناولت دراسة تحديد مناطق المياه الجوفية المحتملة للتنمية المستدامة والتخطيط باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) وتقنيات MIF.

Rajesh J, Pande CB, Kadam SA (2021

تناولت استكشاف المناطق المحتملة للمياه الجوفية باستخدام نهج العملية الهرمية التحليلية (AHP) في حوض نهر جودافاري في ولاية ماهاراشترا في الهند.

دراسة (محي الدين كلخة واخرون، ٢٠٢٢):

وفيها تم دراسة احتمالية خرائط الماء الأرضي في حوض مصياف بالجمهورية السورية، باستخدام تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

Pande CB, Moharir KN, Singh SK et al (2022)

تناولت نمذجة تدفق المياه الجوفية في منطقة الصخور الصلبة البازلتية في ولاية ماهاراشترا، الهند.

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

Li J, Pang Z, Liu Y, Hu S, Jiang W, Tian L et al (2023)

عرضت لديناميات التغييرات في الأرض - والتطور الجيوكيميائي الناجم عن إعادة تنظيم

الصرف: دليل يؤرخ للمياه الحرارية الأرضية في حوض ويخه في الصين

Sachin P. Shinde¹, Virendra N. Barai¹, Bhau K. Gavit¹, Sunil A. Kadam, H.(2024)

تناولت ترسيم المناطق المحتملة للمياه الجوفية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية و AHP في الأجزاء العليا من مستجمع مياه كيموجا، أثيوبيا.

مما سبق نجد أن الدراسات السابقة عرضت أهمية تطبيق التقنية في تحديد امكانات المياه الجوفية المحتملة، وذلك لتوفير الوقت والتكلفة، بهدف الاستفادة من المياه الجوفية في المنطقة محل الدراسة السابقة، أو منطقة الدراسة الحالية- المتمثلة في منطقة وادي قنا، وتختلف الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة في النطاق الزمني للدراسة الحالية، وتطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية استنادا على التحليل الهرمي واستخدام معايير مكانية حددت من قبل المختصين في هذا المجال بما يتوافق مع خصائص منطقة الدراسة مناخيا وجيولوجيا وطبوغرافيا واقتصاديا.

تساؤلات الدراسة:

يتمثل الهدف الرئيس في الدراسة الحالية إلى التعرف على امكانات المياه الجوفية المحتملة بمنطقة حوض وادي قنا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وعملية التحليل الهرمي، ويتفرع من هذا التساؤل عدد من الأسئلة الفرعية التالي:-

١. ماهي المعايير المؤثرة والمحددة لامكانات المياه الجوفية بحوض الدراسة؟

٢. ما درجة مساهمة عملية التحليل الهرمي في تحسين أداء عملية تحليل التراكب الموزون؟

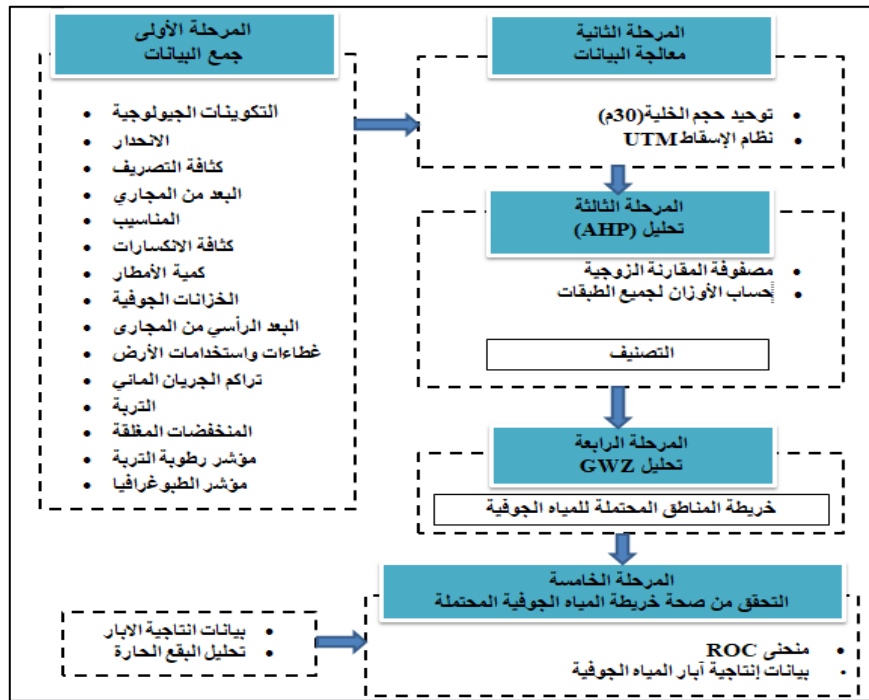
٣. ما مدى فاعلية نتائج التحليلات المكانية لصياغة التوصيات الملائمة؟

منهجية وأساليب الدراسة:

اعتمدت الدراسة على مناهج وأساليب عدة في تطبيق التقنيات الجيومكانية لتحقيق أهداف الدراسة، وجاء في مقدمتها: المنهج الوصفي التحليلي في وصف المشكلة التي تعاني منها منطقة الدراسة في نقص امدادات المياه في التوسع الزراعي، المنهج الاستقرائي التحليلي، ومن خلاله تم جمع ومعالجة البيانات المدخلة في الدراسة وذلك من خلال جمع البيانات والمعلومات عن هذه المشكلة من عدة مصادر وتحليلها، كما تم الاعتماد على الأسلوب الكارتوجرافي من خلال إعداد الخرائط في معالجة وتحليل البيانات ومن ثم رسم الخرائط وعرض النتائج، كما استخدمت الدراسة أسلوب التحليل الهرمي القائم من خلال التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية بعد في التحليل الرقمي لعدد (١٥) متغير مؤثر على إمكانات المياه الجوفية المحتملة. وتم اختيار هذه المعايير نظراً لاستخدامها بشكل واسع في بيئات جغرافية متعددة لتحديد المياه الجوفية المحتملة، كما نصح بتطبيقها عدد من الخبراء (Oh, H.-J., Kim, Y.-S., Choi, J.-K., Park, E. & Lee2011)، وتتوافق مع الخصائص الهيدروجيولوجية والجيولوجية والهيدروطبوغرافية

والمناخية لمنطقة الدراسة، وتشمل: التكوين الجيولوجي، الانحدار بالدرجات، كثافة شبكة التصريف، القرب من خطوط التصريف المائي، الارتفاعات الرقمية مقاسة بالمتر، كثافة خطوط التصدع، الأمطار (م)، الخزانات الجوفية (السك- النوع)، المسافة الرأسية من خطوط التصريف المائي (م)، الغطاء الأرضي، تراكم الجريان المائي، مجموعات التربة، المنخفضات المغلقة، مؤشر الرطوبة الأرضية، ودليل الموضع الطبوغرافي. وفي تحليل هذه المتغيرات فإنه تم الاعتماد على طريقة (AHP) التي تعد أحد أهم طرق التقييم متعدد المعايير MCE (Voogd, H., 1983) شيوعاً والمعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية في تحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية (Voogd, H., 1983)، حيث تعد AHP طريقة مناسبة لحساب اتساق المخرجات وتقليل التحيز والتطبيق في بيئات مختلفة (Machiwal, D.; Rangi, N.; Sharma, A., 1892)، كما تساعد هذه الطريقة في دمج جميع المتغيرات المحددة للمياه الجوفية من خلال نموذج نظم المعلومات الجغرافية مع تحديد الوزن النسبي بواسطة AHP لإنتاج طبقة رقمية تعبر عن إمكانات المياه الجوفية GWPZ ومناطق إعادة التغذية.

لإنشاء الخريطة المحتملة للمياه الجوفية GWPZ في منطقة الدراسة، من المفترض أن تتحكم الطبقات الرقمية التي سبق تحديدها في عملية تدفق وتخزين المياه الجوفية في حوض الدراسة؛ لذا تم ترجيح ارتباط هذه العوامل المؤثرة وفقاً لتفاعلها مع تنمية واحتمالية المياه الجوفية وآراء الخبراء، حيث يوضح المعامل ذو الوزن المرتفع الطبقة ذات التأثير العالي، بينما يوضح المعامل ذو الوزن المنخفض التأثير الضعيف على إمكانات المياه الجوفية.



المصدر/ إعداد الباحثة وفقاً لخطوات الدراسة المتبعة.

شكل (٤) مخطط يوضح مراحل إعداد الدراسة.

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

وقد تم تصنيف الخريطة النهائية لمناطق إمكانات المياه الجوفية GWPZ إلى خمس فئات تصنيفية، تشمل: مناطق ذات احتمالية منخفضة جداً، منخفضة، معتدلة، مرتفعة، ومرتفعة جداً، كما تم التحقق من صحة الناتج النهائي باستخدام بيانات إنتاجية الآبار الجوفية لحوض وادي قنا. ويبين

مصادر البيانات:-

تضمنت هذه الدراسة استخدام العديد من البيانات، والتي تم الحصول عليها من جهات ومصادر مختلفة، لتحقيق أهداف الدراسة واستيفاء مدخلات التحليل، وهي: ملف المناسب الرقمي (DEM) بدقة (12.5) متراً من خلال منصة Earth Data ، وتم تجميعها (موزيك) في برنامج Arc GIS، لتحديد حدود الحوض باستخدام أداة الهيدرولوجي في برنامج نظم المعلومات الجغرافية والتعرف على الخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة. كما استخدمت الدراسة بيانات الأقمار الاصطناعية من نوع لاندسات 8 Landsat-8 المحسنة ETM+ وتشمل المسار والصف (Path and Row) (43/175 - 42/175 - 42/174 - 43/174) وتم الحصول على هذه الصور من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكي باستخدام منصة Earth Explore في (20 فبراير 2022) وطبقت عليها تقنيات المعالجة والتفسير البصري لتحديد استخدامات وغطاءات الأرض LULC باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية. كما تم جمع ورقمنة الخريطة المعتمدة لجيولوجية المنطقة والتربة من قبل هيئة المساحة الجيولوجية المصرية والهيئة المصرية العامة للبترو (كونكو كورال). وإعداد طبقة الانحدارات ، TWI ، SPI ، و VDSI من بيانات SRTM . وفيما يخص بيانات كمية الأمطار فإنه تم الحصول عليها من هيئة الأرصاد الجوية المصرية، واستخدمت أداة الاستيفاء (SPLINE) لإنشاء طبقة رقمية تمثل التوزيع المكاني لكمية الأمطار بحوض الدراسة بدقة (30) متراً بالاعتماد على محطات الرصد الجوي: قنا، سوهاج، سفاجا، الطور(سيناء) للفترة بين (1991-2022) . وباستخدام نظام إحداثيات الإسقاط UTM- WGS 84 36 N، تم إسقاط جميع الطبقات، وتجهيزها لاتمام عمليات التحليلات المكانية في برنامج Arc GIS لإنتاج طبقات المتغيرات لاستكشاف مناطق جديدة محتملة للمياه الجوفية (GWPZs) بمنطقة وادي قنا.

وجاءت الدراسة الحالية تبعا للمحاور التالية:-

أولاً: التمثيل الخلوي للمعايير المكانية وإعادة التصنيف: Raster Parameters

تم تحديد المعايير المكانية التي من شأنها أن تدعم تحليل المناطق المحتملة للمياه الجوفية في حوض وادي قنا في شكل (15) طبقة رقمية، وقد تم الاعتماد على الدراسات السابقة وأراء المتخصصين والخبراء لتحديد هذه المعايير والتي تعتبر معايير رئيسية تؤثر على إمكانات المياه الجوفية السطحية

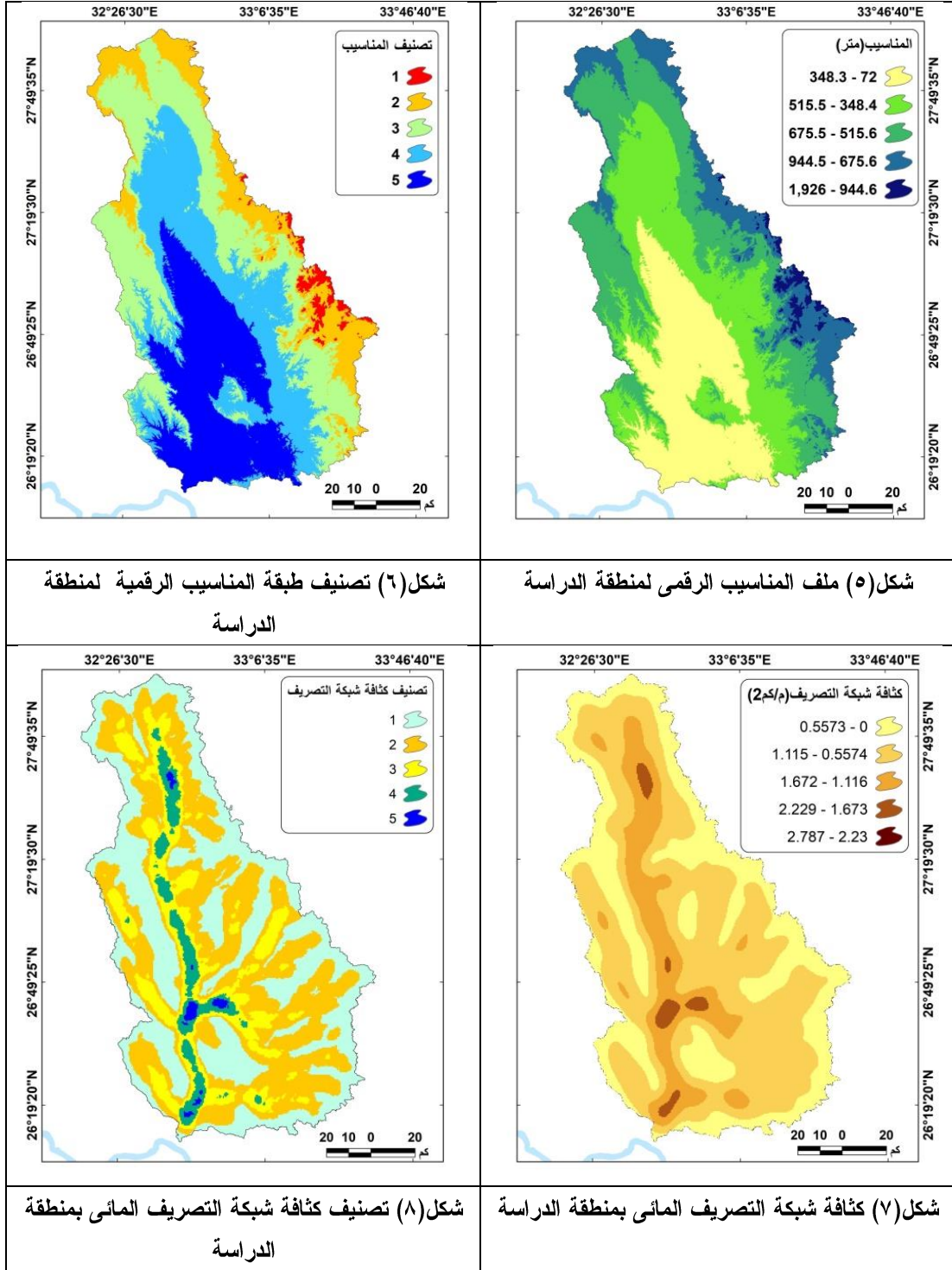
وتحت السطحية المحتملة، وكل معيار له سماته الخاصة، لذا قد تم توحيد خرائط المعايير جميعها على مقياس موحد (١ إلى ٥) بهدف اجراء المقارنة، وفيما يلي دراسة لهذه المعايير:-

١- ارتفاعات السطح لمنطقة الدراسة DEM :

تم الحصول على ملف DEM بدقة مكانية تبلغ ١٢.٥ متراً من موقع وكالة الفضاء الأوروبية، (تم الحصول عليه في ٥ فبراير ٢٠٢٢)، ويعتبر أحد المعطيات المكانية في تحديد المواقع المحتملة لوجود المياه الجوفية حيث يزداد تركيز المياه الجوفية في المواقع الأقل ارتفاعاً عكس المواقع الأكثر ارتفاعاً، يوضح شكل (٥) ارتفاعات سطح منطقة الدراسة. تم تصنيف السطح إلى خمس فئات لكل فئة رتبته وفقاً لمدى ملاءمتها لإمكانات المياه الجوفية وإعادة التغذية، حيث تم تخصيص الوزن المرتفع للأراضي الأقل في المنسوب وتم تخصيص الوزن المنخفض للأراضي الأعلى منسوباً.

٢- كثافة شبكة التصريف المائي:

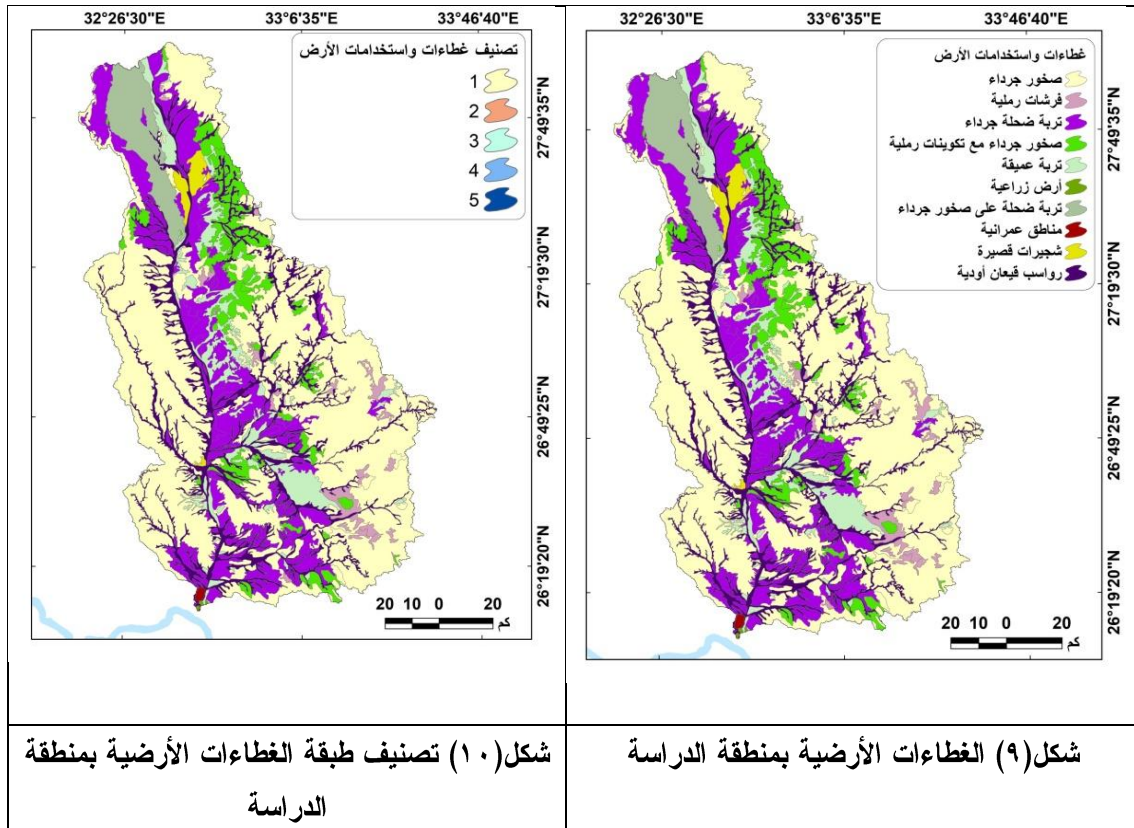
تلعب كثافة التصريف المائي دوراً شديداً الأهمية في احتمالية وجود المياه الجوفية، (Ganapuram, S., Kumar, G. T. V., Krishna, I. V. M., Kahya, E. & Demirel, M. C.2009) حيث يسهم القرب من الأودية في جمع أكبر قدر ممكن من المياه السطحية الجارية، خاصة من الفروع إلى المجرى الرئيسي للوادي. تم اعداد شبكة التصريف المائي لمنطقة الدراسة باستخدام بيانات SRTM-DEM بدقة 30 متراً في ArcGIS باستخدام أداة التحليل المكاني وطريقة ترتيب التدفق وفقاً لستراهلر في اشتقاق خطوط التصريف المائي-شكل (٢) التي تتأثر بشكل كبير بخصائص التكوينات الجيولوجية (Sreedhar, G.,2009) وتشير كثافة التصريف المائي (كم/كم^٢) عن التقارب أو التباعد فيما بين المجاري المائية، مما يوفر قياساً كمياً للامتداد النموذجي لمجري المياه في الحوض بأكمله (Singh, P.; Gupta, A.; Singh, M.,2014) ، وللحصول على الطبقة الرقمية لكثافة التصريف المائي بحوض الدراسة، فإنه تم استخدام أداة الكثافة بأدوات التحليل المكاني في ArcGIS-شكل (٧)، حيث تقوم هذه الأداة بحساب كثافة التصريف عن طريق قسمة امتداد خط التصريف على مساحة مستجمعات المياه المحيطة المرتفعة تسرباً أعلى، وبالتالي تدعم كثيراً إمكانات المياه الجوفية بحوض التصريف المائي، في حين تمثل كثافة التصريف الأقل تسرباً منخفضاً وبالتالي لا تساعد بشكل كبير في إمكانات المياه الجوفية. ويشير الشكل (٨) إلى طبقة إعادة تصنيف كثافة التصريف المائي لحوض الدراسة، حيث تم التصنيف إلى (٥) فئات لكل فئة رتبته وفقاً لمدى ملاءمتها لإمكانات المياه الجوفية وإعادة التغذية، حيث تم تخصيص الوزن المرتفع للكثافة المرتفعة والوزن المنخفض للكثافة المنخفضة.



٣- استخدامات الأرض والغطاءات الأرضية LULC :

تساعد طبقة LULC في التعرف على خصائص: التسرب ورطوبة التربة، والمياه السطحية، بالإضافة لاعتبارها مدلول حول امكانات تغذية المياه الجوفية. (Yeh, H.-F., Cheng, Y.-S.,

(Lin, H.-I. & Lee, C.-H., 2016) تم الحصول على الطبقة الرقمية LULC من تحليل بيانات القمر الاصطناعي الأمريكي من نوع: Landsat8 OLI/TIRS، واستخدم برنامج (Erdase Imagine) في تصنيفها بمساعدة أداة إدارة عينة التدريب، والتي تم استخدامها لاختيار الفئات الممثلة لطبقة LULC، وكان هذا التصنيف خاضعاً للإشراف لأنه تم استخدام التدريب على العينات، تلي ذلك التحقق من دقة التصنيف من خلال ١٥٠ نقطة عشوائية تم إسقاطها على Google Earth Professional. ومن خلال الطبقة المنتجة لاستخدامات وغطاءات الأرض لحوض وادي قنا تم تحديد (١١) فئة تصنيفية تتباين في خصائصها وتوزيعها الجغرافي - شكل (٩) . تلي ذلك إعادة التصنيف لطبقة LULC بما يتوافق مع خصائص منطقة الدراسة من حيث دور كل فئة في التأثير على تغذية المياه الجوفية؛ لذا تم تعيين الوزن المرتفع لفئات: التربة العميقة، التربة الضحلة، رواسب بطون الأودية والأرض الزراعية ومواقع الأشجار القصيرة والأراضي الزراعية. بينما تم تخصيص الوزن المنخفض للأرض المبنية، الأراضي البور والتكوينات الصخرية المكشوفة شكل (١٠) .

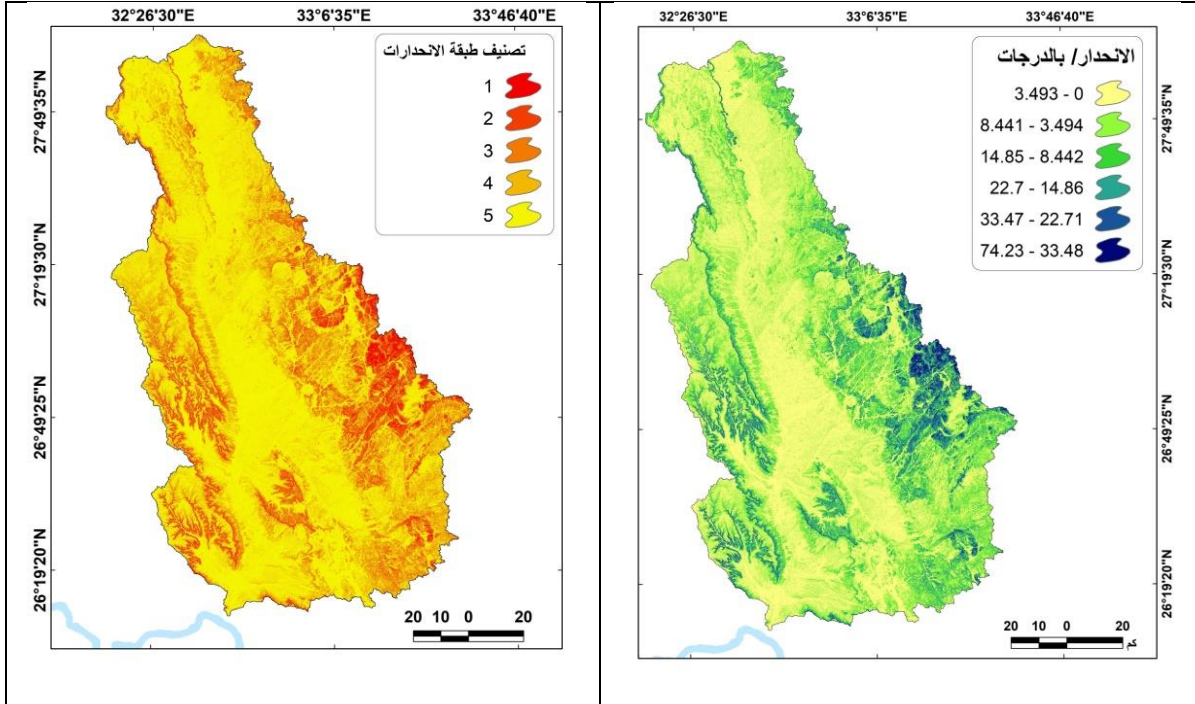


٤- المنحدرات:

يعد الانحدار من الخصائص الأرضية المهمة التي تعبر عن شدة انحدارات سطح الأرض، لكونه يوفر معلومات أساسية عن طبيعة العمليات الجيومورفية التي تعمل على المستوى الإقليمي). (Riley, S. J., 1999) كما يؤثر الانحدار في الجريان السطحي ومعدل تسرب المياه بشكل كبير على السطح، مما يؤثر بدوره على تغذية طبقة المياه الجوفية (Singh, P., Thakur, J. K. & Kumar, S., 2013)، حيث ينتج عن المنحدرات الشديدة عملية تغذية للمياه الجوفية بمعدلات أقل؛ لأن المياه الواردة من هطول الأمطار تتدفق سريعاً إلى أسفل المنحدر أثناء هطول الأمطار. ولذلك، لا يتوفر وقت كافٍ للتسرب وإعادة تغذية الخزان الجوفي. تم اشتقاق طبقة المنحدرات باستخدام أداة الاستخراج الخاصة بأدوات التحليل المكاني من ملف DEM باستخدام أدوات التحليل ثلاثية الأبعاد لبرنامج ArcGIS شكل (١١). تلي ذلك إعادة تصنيف قيم المنحدرات إلى (٥) فئات بما يتماشى مع تصنيفها حسب مدى ملاءمتها لدراسة إمكانات المياه الجوفية بمنطقة الدراسة: المسطح (٠ - ٤.٠٧٥)، بسيط الانحدار (٤.٠٧٦ - ١٠.١٩)، المتوسط (١٠.٢ - ١٨.٦٣)، شديد الانحدار (١٨.٦٤ - ٢٩.٩٨)، الجرفي (حاد الانحدار) (٢٩.٩٩ - ٧٤.٢٣). تلي ذلك تخصيص أوزان أعلى للمنحدرات المسطحة والبسيطة الانحدار. في حين تم تعيين أوزان منخفضة للمنحدرات الشديدة الانحدار والحادة، شكل (١٢).

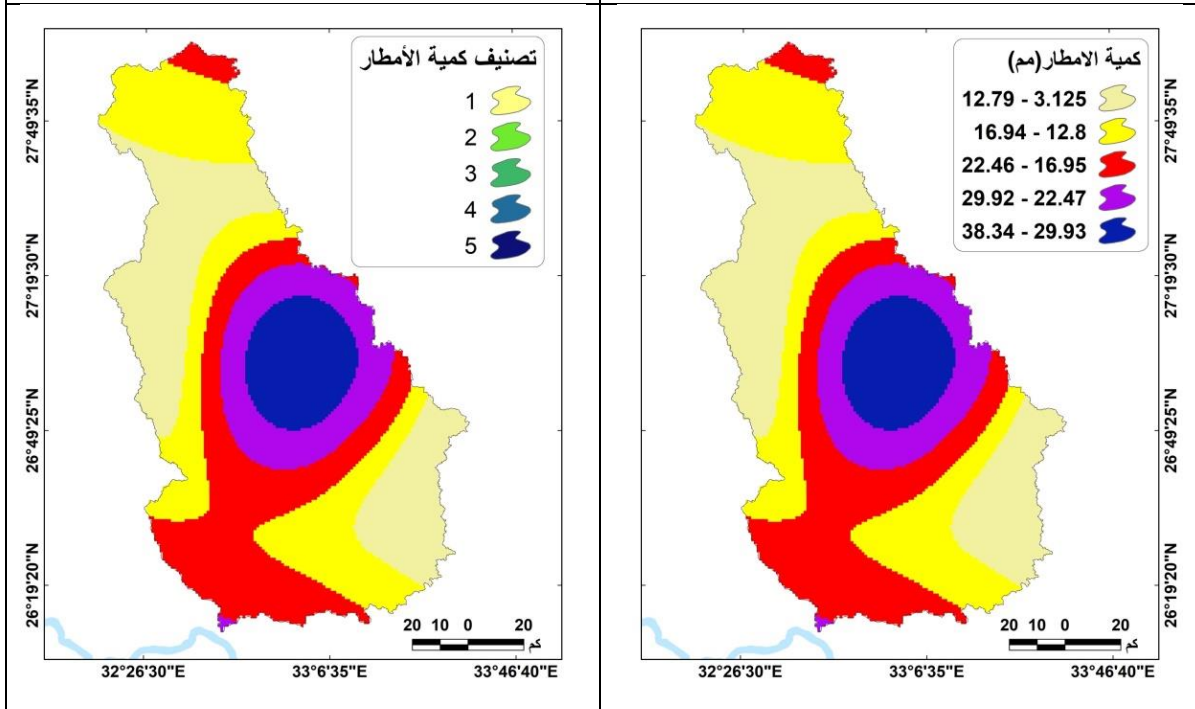
٥- كمية الأمطار:

يعتمد التسرب على شدة ومدة هطول الأمطار، حيث تؤثر الأمطار ذات الكثافة العالية وقصيرة المدة على تسرب أقل وزيادة الجريان السطحي؛ تؤثر الأمطار المنخفضة الشدة والمستمرة لفترة طويلة على معدل التسرب العالي مقارنة بالجريان السطحي (brahim-Bathis, K. & Ahmed, S. A) بالاعتماد على ثلاث محطات للرصد المناخي تابعة لهيئة الأرصاد الجوية المصرية، فإنه تم الحصول على بيانات كمية الأمطار بمنطقة الدراسة لمدة (٣٢) عاماً (١٩٩١ - ٢٠١٩)، Egyptian Meteorological Authority (EMA)، واعتمد على هذه البيانات في إعداد خريطة التوزيع المكاني لهطول الأمطار، وفي ذلك استخدمت طريقة الاستيفاء المكاني IDW لنظام ArcGIS. يمثل الشكل (١٣) خريطة الاستيفاء المكاني لهطول الأمطار في حوض وادي قنا، وطبقة إعادة التصنيف لخريطة توزيع الأمطار، حيث تم تصنيفها إلى (٥) فئات بما يتوافق مع طبيعة البيانات ومنطقة الدراسة، فتم تخصيص الأوزان العالية لفئات هطول الأمطار ذات الكميات الكبيرة، والعكس صحيح شكل (١٤).



شكل (١٢) تصنيف طبقة الانحدارات بمنطقة الدراسة.

شكل (١١) انحدار الأرض بمنطقة الدراسة.



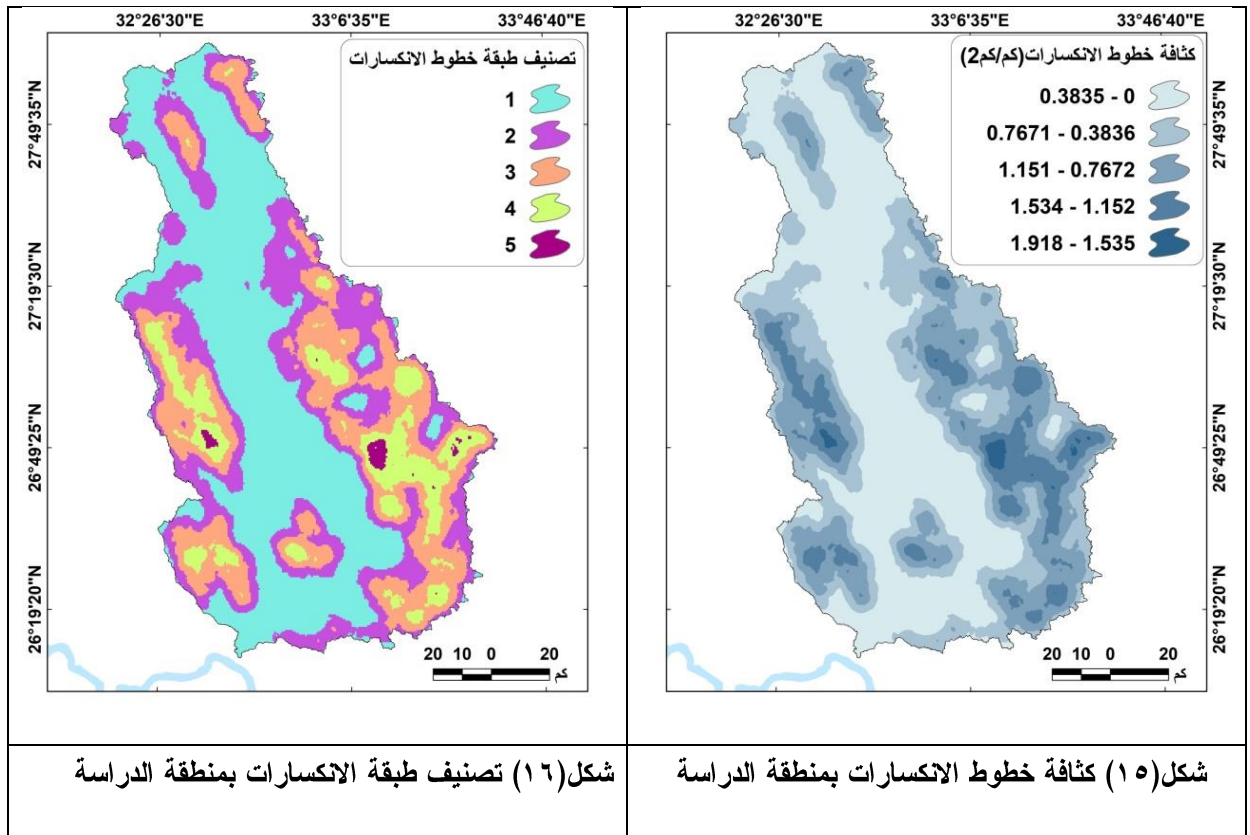
شكل (١٤) تصنيف كمية الأمطار السنوية بمنطقة الدراسة.

شكل (١٣) كمية الأمطار السنوية بمنطقة الدراسة.

٦- كثافة خطوط الفواصل والصدوع:

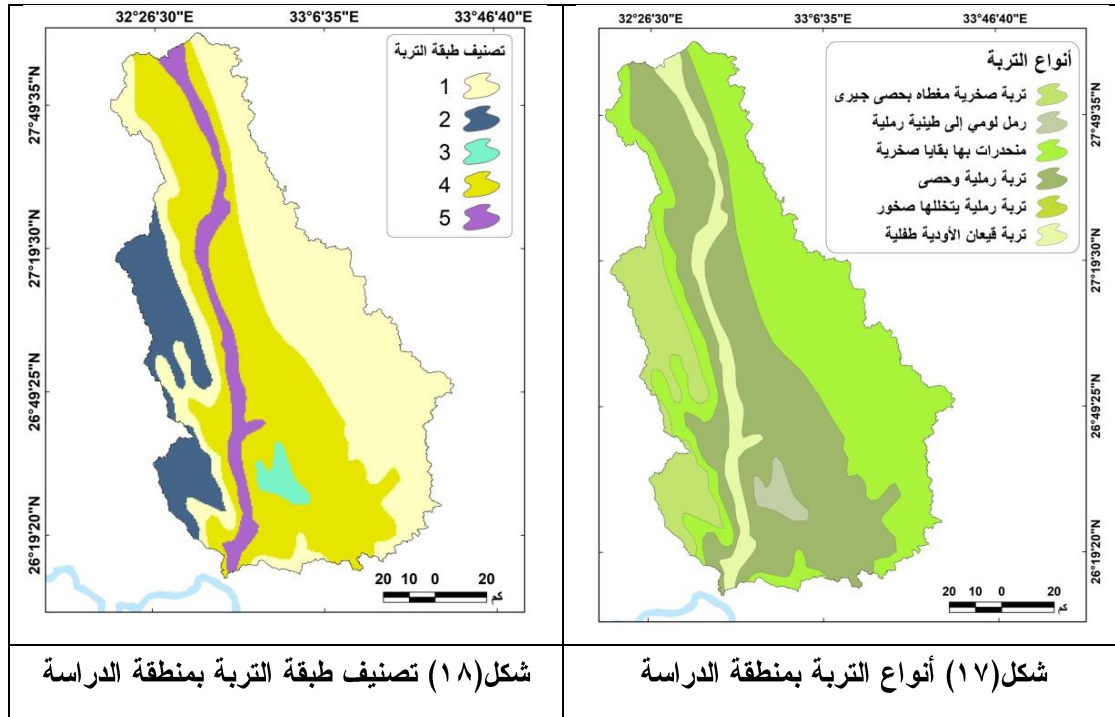
مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

وهي أجزاء خطية مستقيمة مرئية على السطح باعتبارها "خطاً طبيعياً" يمكن تحديده من المرئيات الفضائية (Nampak, H., Pradhan, B. & Manap, M. A., 2014)، وتشكل هذه الخطوط مناطق التصدع بالتكوينات الصخرية، وينتج عنها زيادة المسامية والنفاذية. تم استخراج خطوط الصدوع بمنطقة الدراسة من بيانات الأقمار الاصطناعية IRS LISS-III باستخدام طريقة استخراج الخطوط التلقائية بالاعتماد على برمجية PCI Geomatica، تلي ذلك إعداد خريطة الكثافة لخطوط الانكسارات باستخدام أداة كثافة الخط في برنامج نظم المعلومات الجغرافية- شكل (١٥). ومن خلال فحص القيم التي تم الحصول عليها، تم إعادة تصنيف البيانات إلى (٥) فئات: كثافة منخفضة جداً (٠ - ٠.٣٨٣٥) كم/كم^٢، كثافة منخفضة (٠.٣٨٣٦ - ٠.٧٦٧١) كم/كم^٢، كثافة معتدلة (٠.٧٦٧٢ - ١.١٥١) كم/كم^٢، كثافة مرتفعة (١.١٥٢ - ١.٥٣٤) كم/كم^٢، وكثافة مرتفعة جداً (١.٥٣٥ - ١.٩١٨) كم/كم^٢، تلي ذلك تصنيف كثافة الخطوط بناءً على عامل قرب الخطوط مع الأخذ في الاعتبار أن كثافة المياه الجوفية تتناقص مع زيادة المسافة من الخطوط، بالتالي تم تعيين الوزن المرتفع لكثافة خطوط الصدوع العالية والوزن المنخفض للفئات منخفضة الكثافة- شكل (١٦).



٧- مجموعات التربة:

تعتبر نوعية التربة عاملاً مهماً في التأثير على كمية المياه التي يمكن أن تتسرب تحت السطح ، مما يؤثر على إعادة تغذية المياه الجوفية (Das, S., 2017)، ولإنشاء خريطة مجموعات التربة لمنطقة الدراسة تم الاعتماد على بيانات منظمة الفاو (FAO, 2020) واشتملت منطقة الدراسة على (٥) مجموعات تتباين في خصائصها حسب عوامل التكوين والوضع الطبوغرافي والتكوين الجيولوجي- شكل (١٧)، وتم تحويل خريطة التربة إلى بيانات نقطية باستخدام أداة Raster أحد أدوات التحويل داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، تلي ذلك إعادة تصنيفها إلى (٥) فئات باستخدام أداة إعادة التصنيف الخاصة بأدوات التحليل المكاني وفقاً لرتبتها ومدى ملاءمتها لتغذية المياه الجوفية المحتملة- شكل (١٨) .

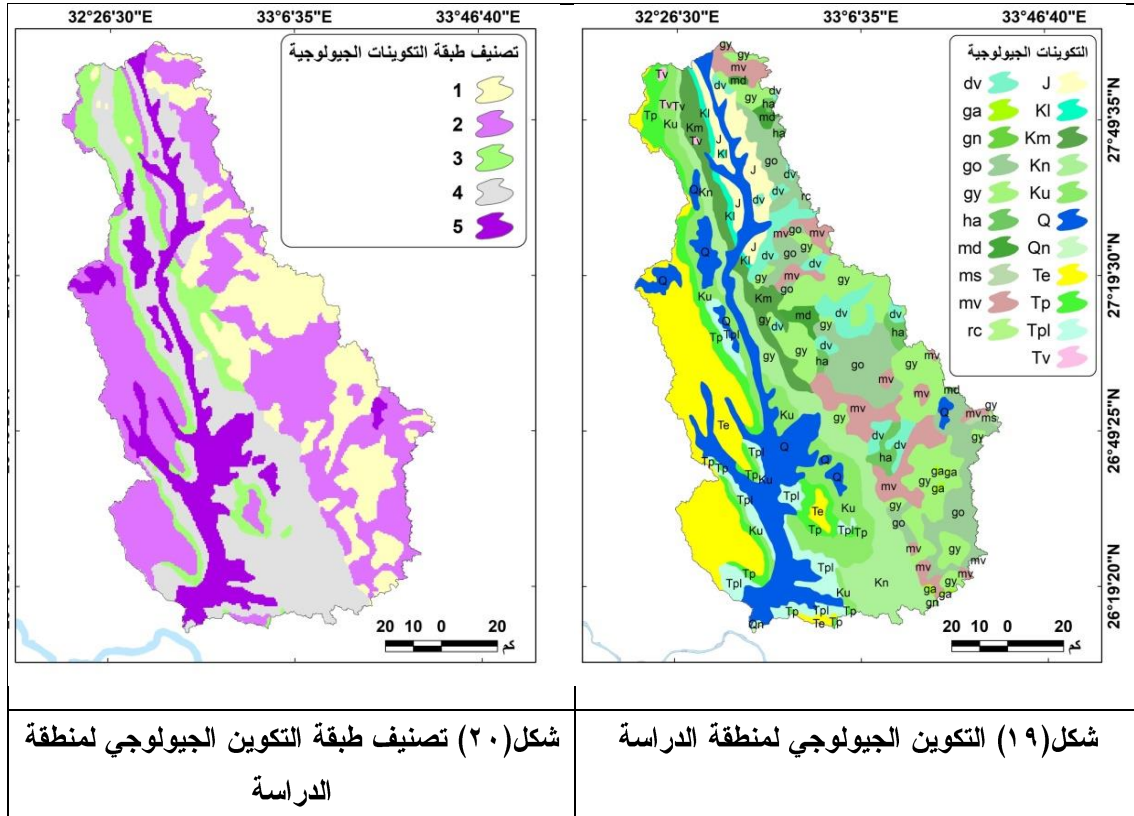


٨- التكوين الجيولوجي لمنطقة الدراسة:

للتكوين الجيولوجي دوراً حيوياً في وجود وتوزيع المياه الجوفية- (Yeh, H.-F., Cheng, Y., S., Lin, H.-I. & Lee, C.-H., 2016) تم استخدام الخريطة الجيولوجية لمشروع المسح الجيولوجي (كونكو كورال) لتحديد الوحدات الجيولوجية المختلفة لحوض الدراسة، حيث تم إعداد طبقة الخريطة الجيولوجية للمنطقة من خلال الإسناد الجغرافي والرقمنة، وتم تصحيحها وإسقاطها على نظام WGS1984 UTM Zone 36N، مع تطبيق أدوات الإسقاط والتحويل لأدوات إدارة البيانات، شكل (١٩) . ويتضح من الخريطة الجيولوجية لمنطقة حوض الدراسة بعض الخصائص، وهي: أن عمر الغطاء الرسوبي لوادي قنا يمتد من عصر الباليوسين إلى الزمن الرباعي (Said,

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

(R., 1960)، كما تقع منطقة الدراسة ضمن التكوينات الجيولوجية لمنطقة البحر الأحمر، وترتكز تكوينات الحجر الرملي النوبي على مركب صخور القاعدة بعدم متوافق في الأجزاء الوسطى والجنوبية (El Shami, I. Z., 1988.,1988) ما تشكل صخور العصر الباليوسيني والإيوسيني والبليوسيني التلال الواقعة أسفل مجرى الوادي والأجزاء الغربية، في حين توجد رواسب الزمن الرباعي في منطقة المروحة الفيضية والمدرجات الرسوبية (Abdel Monem, A. A., El- Kalioubi, B. A., Attawiya, M. Y., Moussa, E. M. And Ragab, A. A., 2004) حوض الوادي. وبالنسبة لتأثير العامل الجيولوجي على احتمالية وجود المياه الجوفية وتغذيتها بمنطقة الدراسة، فإنه تعتبر الصخور الرسوبية والنارية أكثر ملاءمة لحركة المياه الجوفية وتخزينها مقارنة بالأنواع الصخرية الأخرى. تم تصنيف خريطة التكوينات الجيولوجية إلى (٥) فئات لكل رتبته على حسب درجة تأثير كل فئة في احتمالية المياه الجوفية، وفي ذلك تم استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS1.8.2، وتم إنشاء طبقة جديدة، شكل (٢٠).



٩- مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI)

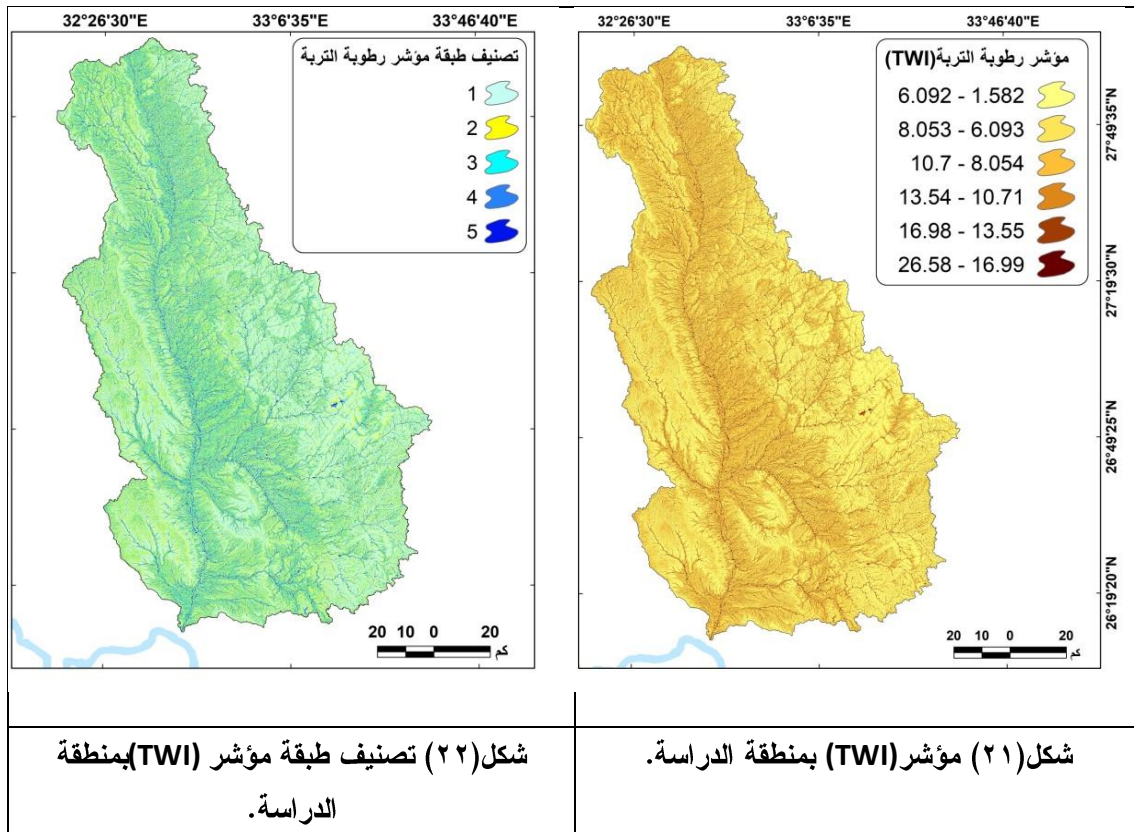
يوضح هذا المؤشر التحكم الطبوغرافي في العمليات الهيدرولوجية، حيث يعكس إمكانية تغذية المياه الجوفية عن طريق تسرب مياه الأمطار المحتمل الناتج عن تأثيرات التضاريس (Mokarram, M., Roshan, G. & Negahban, S.,2015) كما يعبر عن العلاقة بين

تراكم الجريان المائي والانحدار، فمن خلال TWI يمكن التعرف على خصائص اتجاهات المياه المتراكمة عند نقاط معينة بالمنحدرات، كما يوضح تأثير الجاذبية على حركة الماء، ومن خلال ما سبق يتضح أن مؤشر TWI يؤثر بشكل مباشر على مدى تجمع المياه السطحية التي تعتبر أحد مصادر تغذية الخزان الجوفي، فالمنحدرات المستوية والمعتدلة سيكون لها قيمة مؤشر TWI مرتفعة، بالتالي يحتمل أن تكون مساحة مستجمع المياه ذات مساحة كبيرة، على العكس من ذلك ، فإن المواقع التي تحتوي على منحدر شديدة تصبح قيمة مؤشر TWI منخفضة، مما يؤدي الى تكون مستجمعات مائية صغيرة المساحة. ولإعداد طبقة TWI لمنطقة الدراسة، فإنه تم الاعتماد على معادلة (١) وبرنامج SAGA GIS - شكل (٢١) ، وتبين من خلال الطبقة المنتجة أن قيم مؤشر TWI تتباين جغرافيا بمنطقة الدراسة، حيث تراوحت بين ١.٥٨٢ إلى ٢٦.٥٨. تلى ذلك إعادة تصنيف قيم TWI إلى (٥) فئات تصنيفية بما يتوافق مع طبيعة حوض الدراسة، وفيها تم تخصيص الأوزان العالية لقيم TWI المرتفعة والعكس صحيح - شكل(٢٢).

معادلة.....(١)

$$TWI = \ln \left(\frac{(Flowaccumulation + 1) \times Pixlesize^2}{"0.00565" - \tan (Slope(rad))} \right)$$

kopecký, M., Macek, M., (2021)



١٠- دليل الموضع الطبوغرافي (TPI): Topographic Position Index

تم تطوير هذا المؤشر بواسطة (Riley et al. 1999) ، ويستخدم كدليل طبوغرافي يشير إلى درجة تضرس السطح وتصنيف الظاهرات الطبيعية، وهو يمثل المعيار الأكثر أهمية للتقييم الهيدروجيولوجي، حيث تؤثر الجيولوجيا والجيومورفولوجيا على إمكانات وجود المياه الجوفية وإعادة تغذيتها (Butler, M.; Wallace, J.; Lowe, M., 2002)، ويعبر حساب هذا المعامل عن مقدار فرق الارتفاع بين الخلايا المجاورة لنموذج المناسيب الرقمي DEM، ويعتمد على حساب الفرق في قيم الارتفاع من خلية مركزية والخلايا الثمانية المجاورة لها مباشرة. ثم يتم تربيعة كل من قيم فرق الارتفاع الثماني لجعلها جميعاً موجبة ، وجمعهما، وتؤخذ قيم الجذر التربيعي. ويتم إجراء هذه العملية الحسابية على كل خلية من خلايا DEM.

يتم استخدام مؤشر الموضع الطبوغرافي (TPI) على نطاق واسع لقياس مواضع المنحدرات الطبوغرافية والتصنيفات الرقمية للتضاريس، (De Reu, J. et al. 2013) فعندما تكون قيم هذا المؤشر سالبة ، فإنها تدل على أرض سهلية، وعندما تزداد القيم وتكون موجبة تدل على ظاهرات مرتفعة المنسوب، مثل: الهضاب والجبال؛ لذا يرتبط التأثير الجيومورفي للعمليات الطبيعية على الظاهرات التضاريسية، مثل: قمة التل وقاع الوادي والتلال المكشوفة والسهول وحركات المنحدرات بمؤشر الموضع الطبوغرافي. تم اعداد طبقة مؤشر TPI لمنطقة الدراسة من خلال الاعتماد على معادلة (٢) وبرنامج SAGA GIS ، شكل (٢٣).

معادلة.....(٢)

$$TPI = \frac{M_0 - \sum_{n-1} M_n}{n}$$

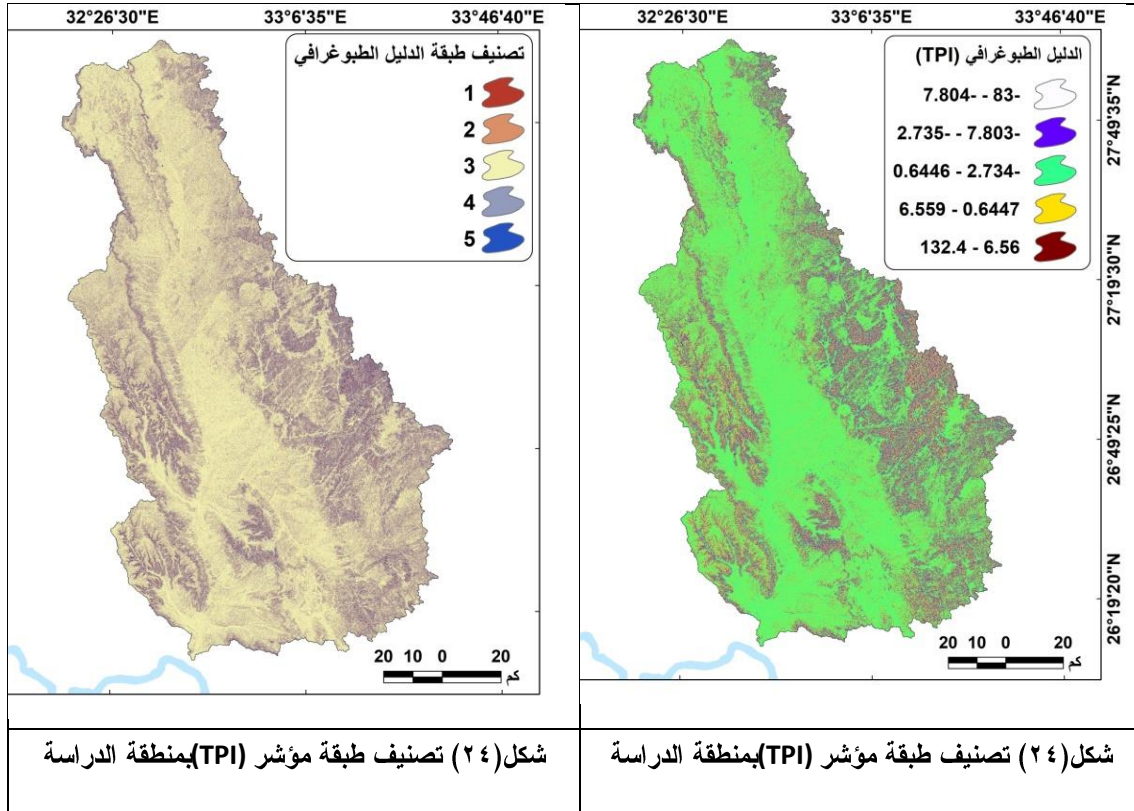
Jenness, J., 2006

M_0 = ارتفاع نقطة النموذج قيد التقييم

M_n = ارتفاعات الرستر

n = عدد النقاط المحيطة المستخدمة في التقييم

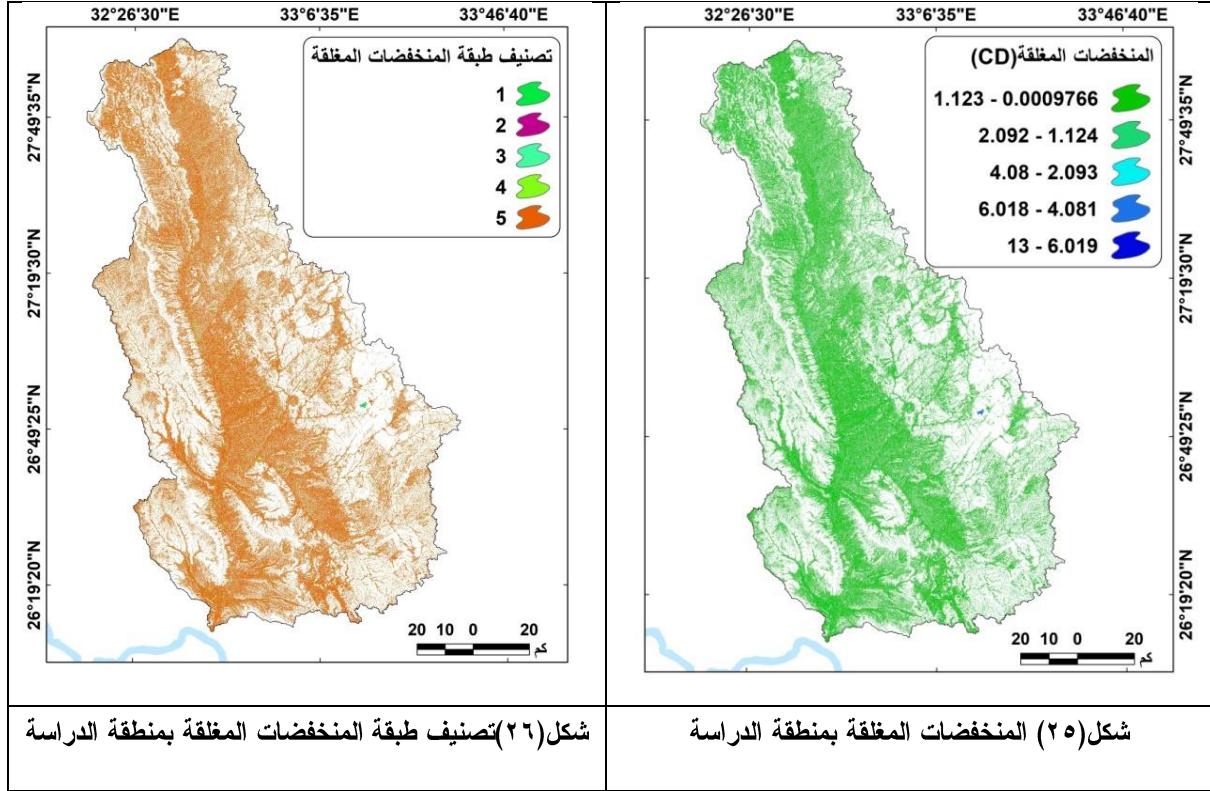
من خلال الطبقة المنتجة تبين أن قيم مؤشر TPI تتراوح من (-٨٣) إلى (١٣٢.٤) بحوض الدراسة، وجاءت نتائج قيم TPI متوافقة مع طبيعة حوض الوادي، حيث تشير القيم التي تقترب من صفر إلى سطح شبه مستوى ومستوى، في حين القيم العليا لمؤشر TPI تشير إلى المناطق المرتفعة، مثل جبال البحر الأحمر شرقي الوادي. تم إعادة تصنيف طبقة TPI إلى (٥) فئات، وفيها تم تخصيص الأوزان المرتفعة لقيم TPI المنخفضة، والعكس صحيح بما يتوافق مع تأثير فئات هذا المؤشر على احتمالية المياه الجوفية- شكل (٢٤).



١١- المنخفضات المغلقة Closed Depressions

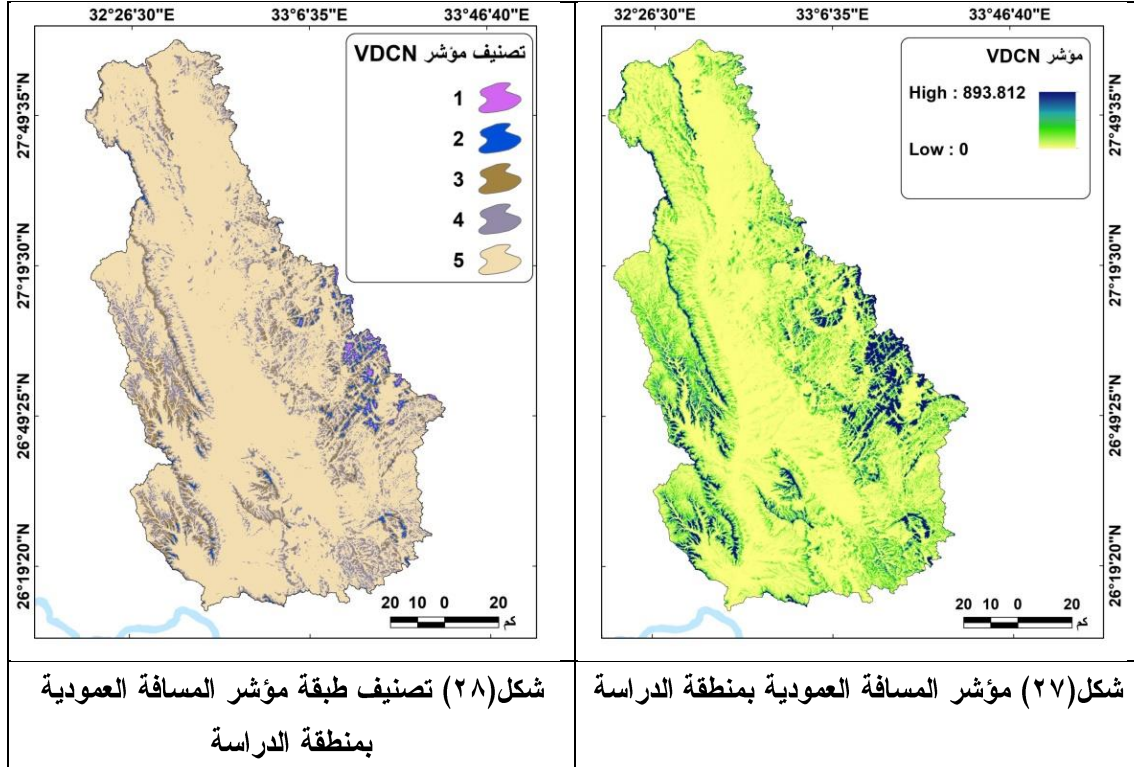
المنخفضات المغلقة أحد الأشكال الطبيعية لسطح الأرض التي تؤثر على إعادة تغذية المياه الجوفية، كما تؤثر في التنوع الجيومورفي لمنطقة معينة، فهي تؤثر على الهيدرولوجيا المحلية، والجيومورفولوجيا، وتطور الأشكال التضاريسية، وترجع نشأتها لعمليات طبيعية متنوعة قد تكون عملية واحدة أو مجموعة عمليات معقدة، إلا أنه تعد عملية الذوبان العملية الأكثر شيوعاً في تكوينها، وخاصة في مواقع التضاريس الكارستية، بسبب قابلية ذوبان الكربونات والجبس والمتبخرات بشكل كبير نسبياً، يليها عمليتي الانهيار والهبوط، وهما عمليتان شائعتان أخريان في تكوين المنخفضات المغلقة (Willems, L., Rodet, J., Pouclet, A., Melo, S., Rodet, M. J., Compère, P., & Auler, A. S., 2008). وتؤثر المنخفضات المغلقة في احتمالية المياه الجوفية، حيث تتحكم في تكوين الأراضي الرطبة (Oliveira, E. A., Pires, R. S., Oliveira, R. S., Furtado, V., Herrmann, H. J., & Andrade, J. S., Jr., 2019) ولرسم خريطة المنخفضات المغلقة يمكن استخدام خوارزمية وانغ وليو (Wang, L., Liu, H., 2006) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لنظام QGIS، وفي دراستنا الحالية تم تحديد المنخفضات المغلقة باستخدام أداة Closed Depressions في برمجية SAGA GIS- شكل (٢٥). تم إعادة تصنيف طبقة المنخفضات المغلقة بحوض الدراسة، وفيها تم تخصيص الأوزان المرتفعة للقيم التي تقترب من صفر، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل للقيم التي تبتعد عن الصفر- شكل (٢٦).

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)



١٢ - مؤشر المسافة العمودية من المجارى المائية VDCN

يعبر هذا المعامل عن المسافة العمودية إلى شبكة قنوات التصريف المائي الخاصة بالموقع Vertical Distance to Channel Network، وتم حساب مؤشر VDCN ونتاج الطبقة الرقمية الخاصة به شكل (٢٧)، بالاعتماد على بيانات نموذج المناسيب الرقمي (DEM) واستخدام خوارزمية التضاريس VDCN ضمن أدوات Terrain Analysis فى منصة SAGA GIS، حيث أتاحت هذه الخوارزمية قياس الارتفاع النسبي للقاعدة النظرية لشبكة القنوات المستكملة من بيانات DEM واستنتاج مستويات المياه الجوفية (Bock, M. & Köthe, R., 2008) حيث تعرض بيانات VDCN توزيعات القنوات التي تتطابق بشكل وثيق مع شبكة القنوات المرئية فى الصورة المركبة لبيانات Landsat، بالتالي تبين مدى التأثير الفعلي لقنوات التصريف المائي فى احتمالية المياه الجوفية، بالتالي تم اختيارها كمحدد من ضمن معايير احتمالية المياه الجوفية، وتشير قيم مؤشر VCDN التي تقترب من الصفر على احتمالية مرتفعة للمياه الجوفية، والعكس صحيح، وتتراوح قيم مؤشر VCDN بمنطقة الدراسة بين (صفر : ٨٩٣.٨١) . تم إعادة تصنيف طبقة VCDN لحوض الدراسة ، وتم تخصيص الأوزان المرتفعة للقيم التي تقترب من صفر، فى حين تم تخصيص الأوزان الأقل للقيم التي تبعد عن الصفر - شكل (٢٨)



١٣- الطبقات الحاملة للمياه الجوفية:

تتوفر المياه الجوفية في منطقة الدراسة من تكوينات متعددة حاملة للمياه الجوفية، يطلق عليها الخزانات الجوفية، هذه الطبقات من الأحدث إلى الأقدم: طبقة المياه الجوفية الغرينية (الخزان الرباعي)، طبقة المياه الجوفية الكربونية والحجر الرملي (الإيوسين-البليوسين)، طبقة المياه الجوفية من الحجر الرملي النوبي (التورونية-السانتونية)، وطبقة المياه الجوفية المعقدة في القطاع السفلي (عصر ما قبل الكامبري) (Hussien, M. H., 2017). تحكم الخصائص الهيدروجيولوجية لهذه الطبقات في وجود المياه الجوفية وحركتها وجودتها. وفيما يلي خصائص هذه الطبقات بمنطقة الدراسة:-

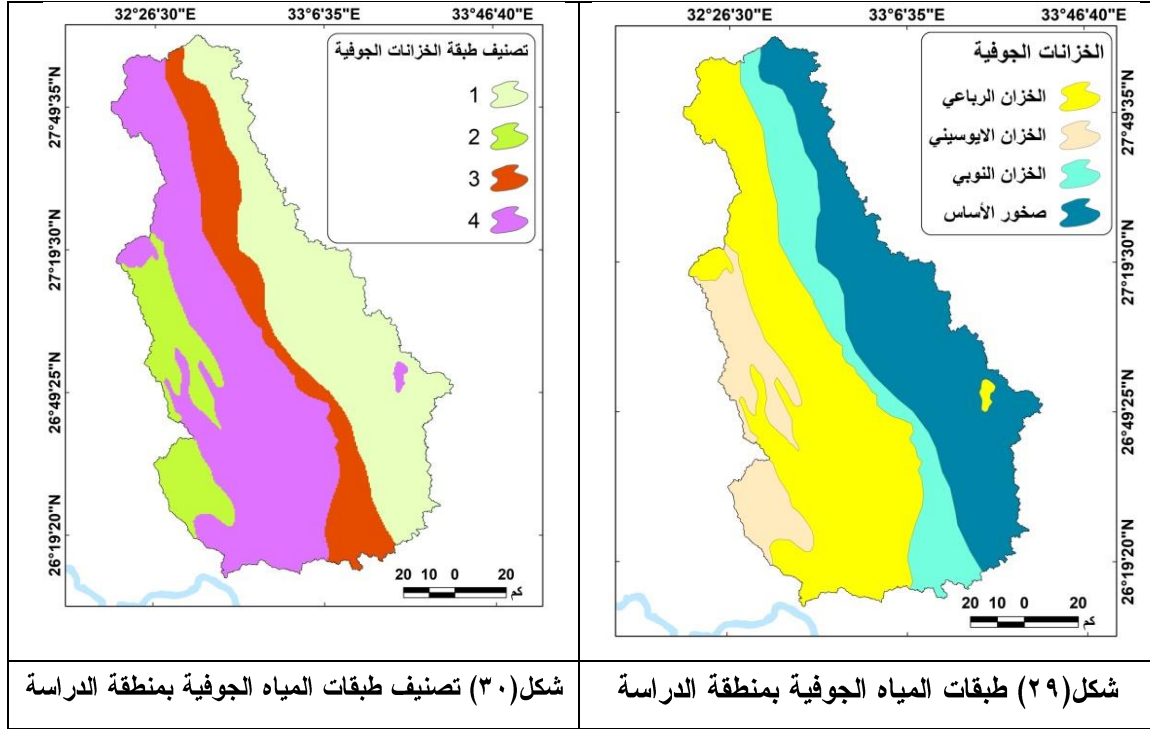
- طبقة المياه الجوفية الرباعية (الخزان الرباعي):
تمثل خزانات المياه الجوفية الواعدة في منطقة الدراسة، وهي حالياً المصدر الرئيسي للمياه للسكان في حوض وادي قنا. تقع طبقة المياه الجوفية الرباعية في الجزء الأعلى من القطاع الهيدروجيولوجي، وتتكون من أنواع مختلفة من التكوينات الرسوبية، مثل: الحجر الرملي والحصى، الكونجلوميرات، وخليط متداخل من الطمي والرمل، يتراوح سمكها بين بضعة أمتار إلى أكثر من ١٠٠متر.
- طبقة الخرسان النوبي (الخزان النوبي)
وهي طبقة رئيسية للمياه الجوفية، وتتكون من الحجر الرملي مع تداخلات من الطين intercalations، ويتراوح سمك هذا الخزان الجوفى من ١٠٠ إلى ٣٥٠ م.
- الخزان الجوفى الإيوسيني:

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

ويتكون بشكل رئيسي من الحجر الجيري المتكسر fractured limestone والدولوميت مع تداخلات من المارل والجبس. ويتراوح سمك هذه التكوينات بين ١٠٠ إلى ٢٥٠م وتشير القياسات لانتاجية الابار إلى أن هذا الخزان متوسط الانتاجية.

• طبقة صخور الأساس:

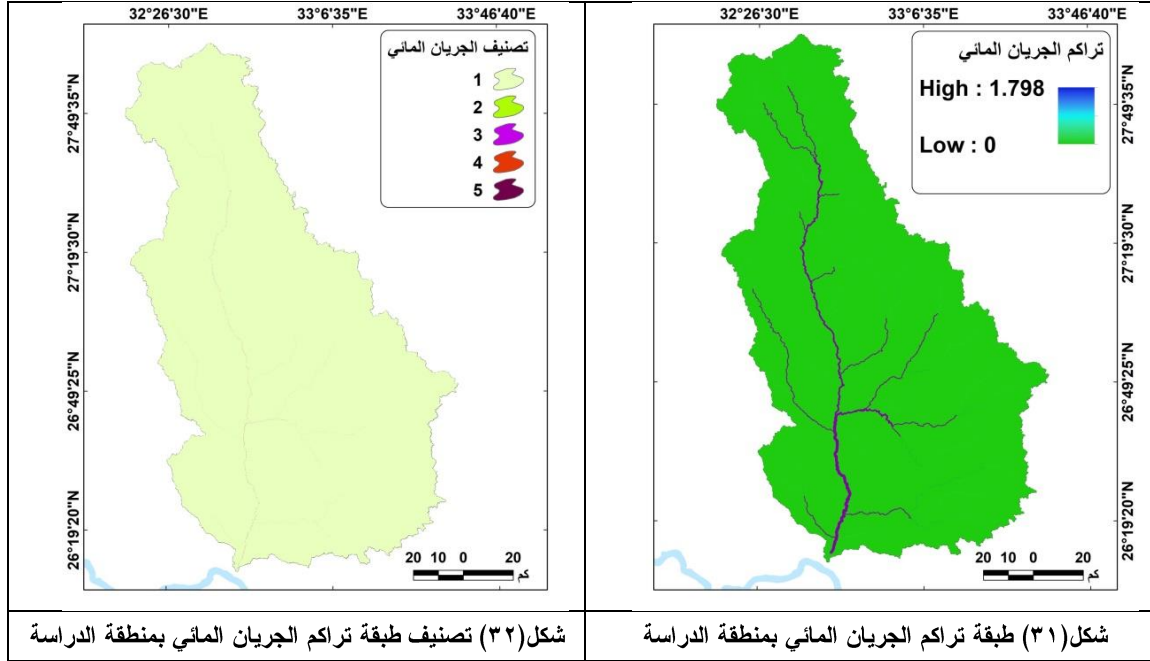
وتتكون من أنواع مختلفة من الصخور النارية، وتحتوى عادة على فواصل وشقوق وتكون ذات أهمية كبيرة لتغذية كافة الخزانات الجوفية الأخرى في منطقة الوادي (إعادة التغذية). ويعتبر هذا النوع من الصخور بمثابة خزانات للمياه الجوفية بعمق يصل أكثر من ٢٠٠٠ م.



وقد تم إعداد خريطة خزانات المياه الجوفية تبعا لمشروع المسح الجيولوجي الفنلندي، شكل (٢٩)، وتم إعادة تصنيفها إلى (٤) فئات، وتم تخصيص الأوزان المرتفعة للخزان الرباعي والخرسان النوبي، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل لصخور ما قبل الكمبري والإيوسيني، شكل (٣٠).

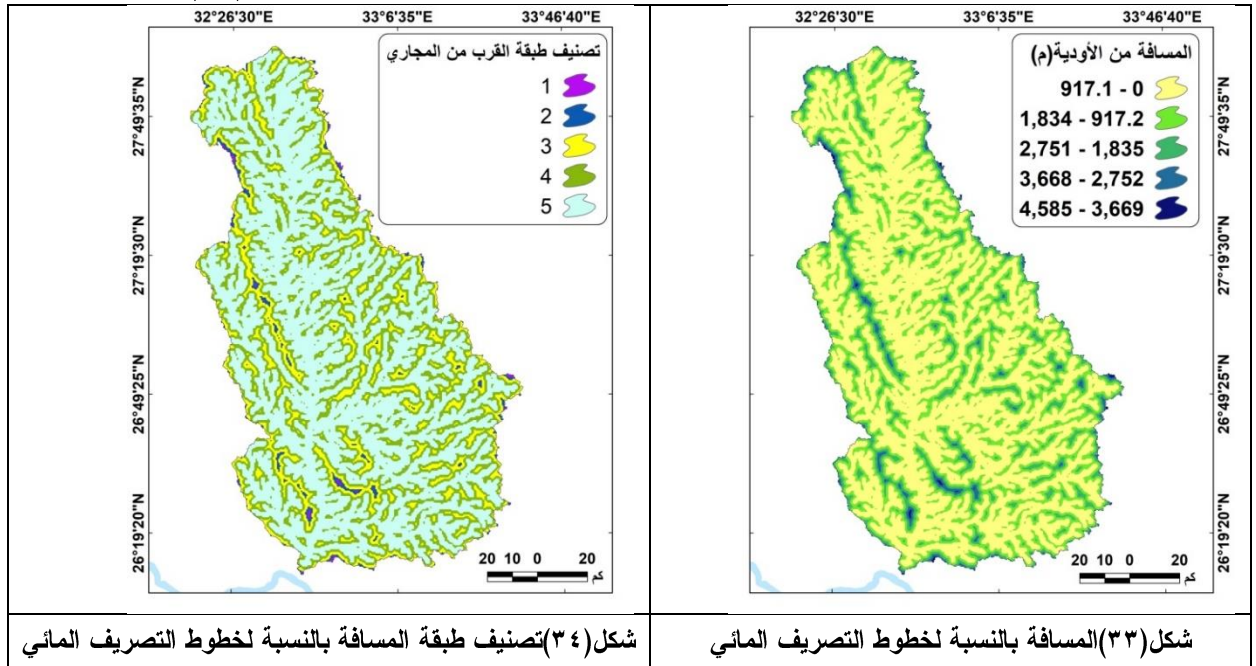
١٤- تراكم الجريان المائي: Flow Accumulation

تعبر طبقة تراكم الجريان المائي على علاقة نمط التصريف المائي بالتضاريس، كما تحدد اتجاه التدفق ومن ثم اتجاه التصريف المائي الطبيعي لكل خلية في نموذج المناسيب الرقمي (DEM)، وتعتمد في حسابها على الإجمالي لعدد الخلايا التي سيتم تصريفها إلى مصب الحوض وحساب التدفق المتراكم لجميع الخلايا التي تتدفق إلى أسفل المنحدرات. تم إعداد خريطة تراكم الجريان المائي بالاعتماد على بيانات ملف المناسيب الرقمي واستخدام أداة الهيدرولوجي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية-شكل (٣١)، وتم إعادة تصنيف الطبقة المنتجة إلى خمس فئات، واعتمد التصنيف على تخصيص الأوزان المرتفعة للخلايا ذات تراكم الجريان المائي المرتفع، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل للخلايا ذات تراكم الجريان المائي المنخفض-شكل (٣٢).



١٥- المسافة من خطوط التصريف المائي: Dist for Streams

تعتبر خطوط التصريف المائي بمثابة القنوات المائية التي تتبعها مياه الأمطار والسيول على سطح منطقة الدراسة، ومن المتفق عليه أنه كلما اقتربنا من تلك الخطوط تزداد كمية مياه الجريان المائي في ظل توافر العوامل الأخرى من مياه الأمطار وغيرها من العوامل، مما يترتب عليه زيادة في عمليات التسرب ومن ثم تغذية طبقات المياه الجوفية تحت السطح. تم انشاء طبقة المسافات من خطوط التصريف المائي باستخدام خوارزمية المسافة الإقليدية في برنامج Arc GIS، وتم تصنيفها إلى خمس فئات بما يتوافق مع طبيعة سطح منطقة الدراسة وتحليل الامكانات المحتملة للمياه الجوفية-شكل (٣٣)، تلي ذلك تخصيص الأوزان المرتفعة للفئات الأقرب للمجاري المائية وتخصيص الأوزان الأقل للفئات التي تبعد عن امتداد المجاري المائية، شكل (٣٤).



ثانياً: تحليل البيانات والمناقشة:

لإنتاج الخريطة المحتملة للمياه الجوفية بحوض الدراسة تم تطبيق طريقة التحليل الهرمي AHP على المعايير التي تم تحديدها وتصنيفها مسبقاً والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، كما يلي:

١- عملية التحليل الهرمي لتحديد الأوزان: (AHP)

تعرف عملية التحليل الهرمي بأنها منهجية متعددة المعايير وضعها الساعاتي عام ١٩٩٠ (Saaty, T.L., 1990)، لتطبيقها في دعم اتخاذ القرار، حيث تمكن المستخدم من التوصل إلى العوامل الأكثر تأثيراً (Das, S.; Pardeshi, S.D. 2018). ويعد الغرض تراكم الوزن. ومؤخراً أدخلت عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) في رسم خرائط إمكانات المياه الجوفية، بناء على معايير يتم تحديدها، وفي دراستنا الحالية ووفقاً لطبيعة منطقة الدراسة تم تحديد (١٥) معيار تعبر عن جميع خصائص منطقة الدراسة (سبق الإشارة إليهما)، وتتحكم هذه المعايير في عامل تدفق وتخزين المياه الجوفية في حوض الدراسة، وتم ترجيح ارتباط هذه العوامل المؤثرة وفقاً لتفاعلها مع حدوث المياه الجوفية وآراء الخبراء، وتبعاً لتحليل (AHP) توضح المعطيات المكانية ذات الوزن المرتفع التأثير العالي في تحديد احتمالية المياه الجوفية، والعكس صحيح، ويتم تعيين أوزان كل متغير وفقاً لمقياس الساعاتي (Saaty, T. L., 1990) للأهمية النسبية وفيه تتراوح الأوزان بين (١) للأهمية البسيطة و(٩) للأهمية المطلقة، جدول (١) .

جدول (١) المقياس الأساسي للمقارنات الزوجية

المدلول	الوزن بالمقياس الرقمي
تساوى الأهمية	1
أحد المعيارين أهم بدرجة متوسطة من الآخر	3
أحد المعيارين أهم بدرجة قوية من الآخر	5
أحد المعيارين أهم بدرجة عالية جداً من المعيار الآخر	7
أحد المعيارين أهم بدرجة قصوى	9
قيم وسطية تستخدم بين الأوزان السابقة عند المقارنة الرقمية	2,4,6,8

المصدر (2008) Saaty Scale

تم ترتيب جميع المعطيات المكانية بشكل منطقي في ورقة Excel الخاصة بتحليل AHP في منصة AHP online المخصصة لتحليل AHP ، واعتمد الترتيب بشكل أساسي على درجة الملاءمة وأهمية المعطيات المكانية لإمكانات المياه الجوفية ومساهمتها في منطقة التغذية، مع الأخذ في الاعتبار مراجعة الدراسات السابقة والخبرة الميدانية. وبناء على ذلك، تمت مقارنة طبقات جميع طبقات المعطيات المكانية مع بعضها البعض في مصفوفة المقارنة الزوجية تبعاً لمقياس من ١ إلى ٩، وفقاً لتأثيرها النسبي على تنمية المياه الجوفية، ويتضح ذلك في جدول (٢).

جدول (٢) مصفوفة المقارنة الزوجية للمعايير المدخلة في عملية التسلسل الهرمي.

المعايير	التكوينات الجيولوجية	الانحدار	كثافة التصريف	البعد من المجاري	المناسيب	كثافة الانكسارات	كمية الأمطار	الخرزانات الجوفية	البعد الرأسى من المجارى	غطاءات واستخدامات الأرض	تراكم الجريان المائى	التربة	المنخفضات المغلقة	مؤشر رطوبة التربة	مؤشر الطبوغرافيا
التكوينات الجيولوجية	1	2	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	6
الانحدار	1/2	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6
كثافة التصريف	1/2	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6
البعد من المجاري	1/4	1/2	1/2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4
المناسيب	1/4	1/2	1/2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4
كثافة الانكسارات	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
كمية الأمطار	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
الخرزانات الجوفية	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
البعد الرأسى من المجارى	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
غطاءات واستخدامات الأرض	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
تراكم الجريان المائى	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
التربة	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
المنخفضات المغلقة	1/8	1/6	1/6	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1
مؤشر رطوبة التربة	1/8	1/6	1/6	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1
مؤشر الطبوغرافيا	1/8	1/6	1/6	1/4	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

جدول (٣) نتائج نسبة الاتساق consistency ratio بالتحليل الهرمي.

Theme	التكوينات الجيولوجية	الاحدار	كثافة التصريف	البعد من المجاري	المناسيب	كثافة الانكسارات	كمية الأمطار	الخرزانات الجوفية	البعد الرأسى من المجارى	غطاءات واستخدامات الأرض	تراكم الجريان المائى	التربة	المنخفضات المغلقة	مؤشر رطوبة التربة	مؤشر الطبوغرافيا	التكوينات الجيولوجية	الاحدار	كثافة التصريف	البعد من المجارى
التكوينات الجيولوجية	0.2460	0.2755	0.2755	0.2807	0.2807	0.2264	0.2264	0.2264	0.2264	0.2264	0.2264	0.2264	0.1778	0.1778	0.1778	3.4766	0.2318	15.00	23.1774
الاحدار	0.1230	0.1377	0.1377	0.1404	0.1404	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1333	0.1333	0.1333	2.1358	0.1424	15.00	14.2386
كثافة التصريف	0.1230	0.1377	0.1377	0.1404	0.1404	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1509	0.1333	0.1333	0.1333	2.1358	0.1424	15.00	14.2386
البعد من المجارى	0.0615	0.0689	0.0689	0.0702	0.0702	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0889	0.0889	0.0889	1.1346	0.0756	15.00	7.5637
المناسيب	0.0615	0.0689	0.0689	0.0702	0.0702	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0755	0.0889	0.0889	0.0889	1.1346	0.0756	15.00	7.5637
كثافة الانكسارات	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
كمية الأمطار	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
الخرزانات الجوفية	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
البعد الرأسى من المجارى	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
غطاءات واستخدامات الأرض	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
تراكم الجريان المائى	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
التربة	0.0418	0.0344	0.0344	0.0351	0.0351	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0377	0.0444	0.0444	0.0444	0.5784	0.0386	15.00	3.8557
المنخفضات المغلقة	0.0308	0.0234	0.0234	0.0175	0.0175	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0222	0.0222	0.0222	0.3114	0.0208	15.00	2.0761
مؤشر رطوبة التربة	0.0308	0.0234	0.0234	0.0175	0.0175	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0222	0.0222	0.0222	0.3114	0.0208	15.00	2.0761
مؤشر الطبوغرافيا	0.0308	0.0234	0.0234	0.0175	0.0175	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0222	0.0222	0.0222	0.3114	0.0208	15.00	2.0761
المجموع	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	1	225.00	100

ولحساب نسبة الاتساق (CR) consistency ratio لتقييم التماسك بين المعايير في مصفوفة المقارنة الزوجية، فإنه تم حساب القيمة الذاتية الرئيسية لمصفوفة الأحكام Principal Eigen value - Eigen value - جدول (٢) و (٣) وتم حساب مؤشر الاتساق Consistency Index (CI) من خلال المعادلات التالية:
معادلة رقم.....(٣)

$$CR = CI/RCI$$

ولاستخراج مؤشر الاتساق (CI) تم تطبيق المعادلة (٤)

معادلة رقم.....(٤)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$\lambda_{max} = 225/15 = 15$$

حيث تشير n إلى عدد المعايير المدخلة في التحليل.

λ_{max} = المجموع العامودي للمعيار في المقارنة الزوجية

$$\begin{aligned} \lambda_{max} = & (4.07*0.23)+(7.26*0.14)+(7.26*0.08)+(14.25*0.08) + (14.25*0.08) \\ & +(16.50*0.04)+ (16.50*0.04)+ (16.50*0.04)+ (16.50*0.04)+ \\ &)+(16.50*0.04+(16.50*0.04) + (16.50*0.04)+(45.00*0.02)+ (45.00*0.02)+ \\ & (45.00*0.02)=15.1202 \end{aligned}$$

$$\lambda_{max} = 15.1202$$

$$CI = (15.1202 - 15)/(15 - 1) = 0.008$$

$$CI = 0.008$$

واستنادا إلى معادلة حساب نسبة الاتساق (CR) Consistency Ratio من خلال المعادلة (٣)، فإنه يتم استخراج مؤشر الثبات العشوائي (RI) Random consistency Index value من جدول الساعاتى، ٢٠٠٨ ، الذى يعتمد على عدد المعايير المستخدمة ، ونظرا لاعتماد الدراسة على (١٥) معيار فإن قيمة (RI) هو (1.58) كما هو موضح فى جدول (٤).

جدول (٤) مؤشر الثبات العشوائي (RI) Random Index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58
Random Index for n=15															

$$CR = CI/RCI$$

$$CR = 0.008/1.58$$

$$CR = 0.0054$$

Saaty, T. L., 1990

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

تم الحصول على قيمة نسبة الاتساق الخاصة بالتحليل الهرمي للمعايير المكانية، وكانت أقل من (٠) حيث بلغت (٠.٠٠٥٤) ولم تتعدى الحد الأقصى لقيمة التحليل الهرمي، حيث عندما تكون قيمة CR تساوى ٠.١٠ أو أقل فإن النتائج تكون مقبولة ويتم مواصلة التحليل، أما إذا كانت قيمة الاتساق أكبر من ٠.١٠، فهناك حاجة إلى مراجعة الأحكام لتحديد أسباب عدم الاتساق وتصحيحه وفقاً لذلك، وإذا كانت قيمة CR تساوى (صفر)؛ فهذا يعني أن هناك مستوى مثالياً من الاتساق في المقارنة الزوجية بين المعطيات المكانية. لكنه يفضل أن لا تتجاوز قيمة الاتساق ٠.١، مما يعني أن مصفوفة الأحكام متسقة بشكل معقول.

٢- التراكب المرجح لخرائط المعايير المكانية: Weighted Overlay Analysis

لإعداد تحليل التراكب (المرجح) الموزون weighted overlay لطبقات المعايير المكانية استناداً على التحليل الهرمي، فإنه تم إعطاء الرتبة rank لجميع الفئات التصنيفية لطبقات المعايير المكانية باستخدام أداة التصنيف ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية، كما تم تعيين الوزن لكل فئة للمتغيرات الفرعية لطبقات المعايير المكانية بما يتوافق مع تأثيرها النسبي مقارنة بالفئات المختلفة، وتم ترتيب الأوزان (rank) على مقياس موحد يبدأ من (١-٢-٣-٤-٥) ، ويشير الرقم (١) إلى تأثير منخفض جداً، الرقم (٢) يشير لتأثير منخفض، الرقم (٣) يشير لتأثير متوسط، الرقم (٤) يشير لتأثير مرتفع والرقم (٥) يشير إلى تأثير مرتفع جداً ، وذلك بالتوافق مع إمكانية مساهمة كل فئة في التأثير على المياه الجوفية المحتملة- جدول (٥). كان الغرض هو الحصول على جميع أوزان كل المعايير المساهمة لإنتاج خريطة الامكانات المحتملة للمياه الجوفية، وكانت المدخلات جميع الطبقات التي أعيد تصنيفها على مقياس موحد (١ : ٥). باستخدام أداة Overlay Weighted . تم دمج جميع طبقات المعايير المكانية بطريقة تحليل التراكب الموزون في برنامج نظم المعلومات الجغرافية باستخدام المعادلة (٥)، و أنتجت خريطة إمكانات المياه الجوفية من خلال إعادة تصنيف وترجيح وتصنيف (١٥) عامل مؤثر على إمكانات المياه الجوفية بمنطقة الدراسة في بيئة ArcGIS التي تطبق تحليل التراكب الموزون weight overlay الموجه بتقنيات المقارنة الزوجية AHP MCDM وذلك بمساعدة أدوات التحليل المكاني في ArcGIS، كما هو موضح في الجدول.

معادلة رقم(٥)

$$GWPZ = \sum_i^n (X_A \times Y_B)$$

حيث $GWPZ =$ المنطقة المحتملة للمياه الجوفية، تمثل X - وزن طبقات المعطيات المكانية ؛ Y - تمثل رتبة الفئة الفرعية لنفس طبقات المعطيات المكانية. ويمثل المصطلح A ($A = 1, 2, \dots$) ويمثل طبقات المعطيات المكانية والمصطلح B ($B = 1, 2, 3, \dots, Y$) يمثل الفئات التصنيفية لطبقات المعطيات المكانية.

جدول (٥) تصنيف العوامل المؤثرة على مناطق المياه الجوفية المحتملة بمنطقة الدراسة.

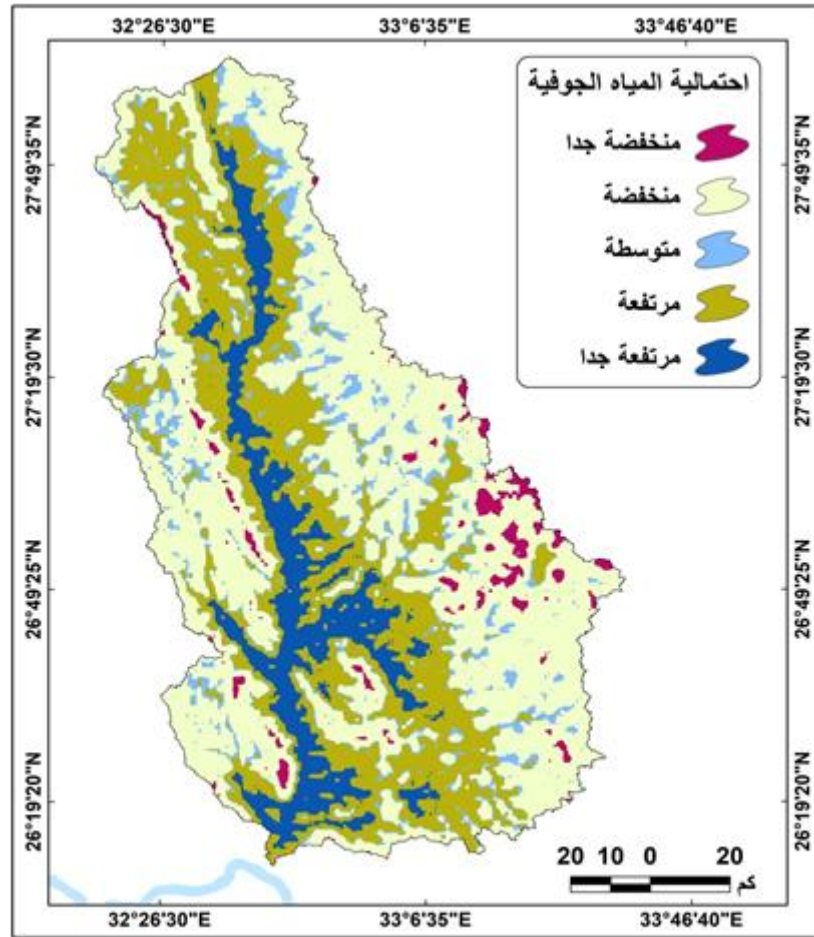
code	Factor	Domain of effect	Gw Prospect	Weight (%)	Rank
1	التكوينات الجيولوجية	dv-ga-gn-gy-ms-rc-Tv-	منخفض جداً	23.17739	1
		go-ha-Kl-Te-md-mv	منخفض		2
		Km-Tp	متوسط		3
		J-Kn-Ku-Qn-Tpl	مرتفع		4
		Q	مرتفع جداً		5
2	الانحدار	29.99 - 74.23	منخفض جداً	14.23859	5
		18.64 - 29.98	منخفض		4
		10.2 - 18.63	متوسط		3
		4.076 - 10.19	مرتفع		2
		0 - 4.075	مرتفع جداً		1
3	كثافة التصريف	0 - 0.5573	منخفض جداً	14.23859	1
		0.5574 - 1.115	منخفض		2
		1.116 - 1.672	متوسط		3
		1.673 - 2.229	مرتفع		4
		2.23 - 2.787	مرتفع جداً		5
4	المسافة من المجاري	0 - 917.1	منخفض جداً	7.56374	1
		917.2 - 1,834	منخفض		2
		1,835 - 2,751	متوسط		3
		2,752 - 3,668	مرتفع		4
		3,669 - 4,585	مرتفع جداً		5
5	المناسيب	944.6 - 1,926	منخفض جداً	7.56374	1
		675.6 - 944.5	منخفض		2
		515.6 - 675.5	متوسط		3
		348.4 - 515.5	مرتفع		4
		72 - 348.3	مرتفع جداً		5
6	كثافة الانكسارات	0 - 0.3835	منخفض جداً	3.85567	1
		0.3836 - 0.7671	منخفض		2
		0.7672 - 1.151	متوسط		3
		1.152 - 1.534	مرتفع		4
		1.535 - 1.918	مرتفع جداً		5
7	كمية الأمطار	3.125 - 12.79	منخفض جداً	3.85567	1
		12.8 - 16.94	منخفض		2
		16.95 - 22.46	متوسط		3
		22.47 - 29.92	مرتفع		4
		29.93 - 38.34	مرتفع جداً		5
8	الخزانات الجوفية	Basement rocks	منخفض	3.85567	1
		Nubian Aquifer	متوسط		4
		eocene	مرتفع		2
		Quaternary Aquifer	مرتفع جداً		5
9	البعد الرأسى من المجارى	308.46 - 893.81	منخفض جداً	3.85567	1

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

		154.24 - 308.45	منخفض		2
		70.104 - 154.23	متوسط		3
		21.032 - 70.103	مرتفع		4
		0 - 21.031	مرتفع جداً		5
10	غطاءات واستخدامات الأرض	Bare rocks	منخفض جداً	3.85567	1
		Urban area	منخفض		2
		Bare rocks with a thin sand layer	متوسط		3
		Shallow soil with bare rocks	متوسط		3
		Sand formations	مرتفع		4
		Shallow, barren soil	مرتفع جداً		5
		Agricultural Land	مرتفع جداً		5
		Short trees	مرتفع جداً		5
		sediments of the valley bottoms	مرتفع جداً		5
		Deep soil	مرتفع جداً		5
11	تراكم الجريان المائي	0 - 564,000	منخفض جداً	3.85567	1
		565,000 - 2,540,000	منخفض		2
		2,550,000 - 5,150,000	متوسط		3
		5,160,000 - 7,550,000	مرتفع		4
		7,560,000 - 18,000,000	مرتفع جداً		5
12	التربة	Rocky escarpments	منخفض جداً	3.85567	1
		Dissected Limestone	منخفض		2
		Lomy sand to sandy loam	متوسط		3
		Sandy soils and gravelly	مرتفع		4
		Soil of the valley bottoms	مرتفع جداً		5
13	المنخفضات المغلقة	6.0181 - 13.004	منخفض جداً	2.07608	1
		4.0804 - 6.018	منخفض		2
		2.0917 - 4.0803	متوسط		3
		1.1229 - 2.0916	مرتفع		4
		0.0009 - 1.1228	مرتفع جداً		5
14	مؤشر رطوبة التربة	1.582 - 6.288	منخفض جداً	2.07608	1
		6.289 - 8.641	منخفض		2
		8.642 - 11.78	متوسط		3
		11.79 - 15.7	مرتفع		4
		15.71 - 26.58	مرتفع جداً		5
15	مؤشر الطبوغرافيا	6.56 - 132.4	منخفض جداً	2.07608	1
		0.6447 - 6.559	منخفض		2
		-3.3786	متوسط		3
		-5.068	مرتفع		4
		-75.196	مرتفع جداً		5

٣- تطوير خريطة المياه الجوفية المحتملة: GWPZs Development

تعتبر المياه الجوفية مورداً قابلاً للتجدد، ولكن بسبب أنواع مختلفة من الأنشطة البشرية، فقد انخفضت إعادة تغذية هذا المورد. إن التعرف على طبيعة امكانات المياه الجوفية أمر بالغ الأهمية للتخطيط والتنمية المستدامة لمنطقة الدراسة، حيث يعتبر ذلك ضروري لتصميم وتنفيذ التدابير التصحيحية لتحسين عمليات إعادة تغذية المياه الجوفية، تكشف التحليلات المكانية للمعايير المكانية لتحديد امكانات المياه الجوفية لحوض الدراسة أن المياه الجوفية تتركز في مواقع الخزان الرباعي والخرسان النوبي، بالتالي هناك حاجة إلى تقييم مفصل ودقيق لموارد المياه الجوفية، والمعايير التي يتم الاعتماد عليها في دراسة المياه الجوفية. تم تطبيق طريقة التراكم الموزون للتعرف على مناطق المياه الجوفية المحتملة في حوض وادي قنا. وتنقسم الخريطة الناتجة إلى مناطق ذات احتمالية عالية جداً، وعالية، ومتوسطة، ومنخفضة، ومنخفضة جداً للمياه الجوفية.



شكل (٣٥) إمكانات المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

من خلال شكل (٣٥) يتضح أن نتائج الدراسة تتفق جيداً مع الناحية الهيدرولوجية للتدفق في حوض وادي قنا. وتبين أن اتجاه تدفق المياه الجوفية بالحوض يتجه نحو الجنوب الشرقي في الجزء الشمالي الغربي، ونحو الجنوب والجنوب الغربي في الجزء الجنوبي .

جدول (٦) الفئات المساحية للمياه الجوفية المحتملة بحوض وادي قنا.

م	درجة الاهمية المحتملة	المساحة	المساحة%
1	منخفضة جدا	390.67	2.50
2	منخفضة	7413.97	47.55
3	متوسطة	1382.55	8.86
4	مرتفعة	4568.45	29.30
5	مرتفعة جدا	1833.17	11.75
المجموع	54866.0000	15588.83	100

ويتضح من الخريطة المنتجة لامكانات المياه الجوفية المحتملة لحوض وادي قنا التباين المكاني لإمكانات المياه الجوفية وإعادة التغذية في جميع أنحاء قطاع الدراسة؛ ويرجع ذلك لمجموع نسبة تأثير أوزان العوامل (weight) ورتبة الفئات (rank) المعاد تصنيفها، حيث تعبر هذه العوامل على الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية والهيدروطبوغرافية لمنطقة الدراسة. تم تصنيف الخريطة النهائية لمناطق إمكانات المياه الجوفية إلى (٥) فئات: منخفضة جداً، منخفضة، معتدلة، مرتفعة، ومرتفعة جداً ، وهي كما يلي:-

- الفئة الأولى (امكانات المياه الجوفية المرتفعة جداً): تضم مساحة ١٨٣٣.١٧ كم^٢ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة بنسبة ١١.٧٥٪ ، وهذا يجعل لمنطقة الدراسة إمكانات كبيرة في تعزيز الاستفادة من موارد المياه الجوفية. وتشمل هذه الفئة المناطق الوسطى والمنخفضة المنسوب والانحدار ذات التكوينات الصخرية المنفذة للمياه.
- الفئة الثانية (امكانات المياه الجوفية المرتفعة): بلغت مساحة فئة الملاءمة المرتفعة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة نحو ٤٥٦٨.٤٥ كم^٢ بنسبة ٢٩.٣٠٪ من إجمالي المساحة الكلية بمنطقة الدراسة، وتضم المناطق التي تحيط بالفئة الأولى وتشمل المواقع المتوسطة الانحدار وذات التكوينات الصخرية المنفذة للمياه.
- الفئة الثالثة (امكانات المياه الجوفية المتوسطة): تصل مساحة هذه الفئة بمنطقة الدراسة ٣٨٢.٥٥ كم^٢ بنسبة ٨.٨٦٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وتشمل المواقع ذات التكوينات الصخرية متوسطة النفاذية والمنحدرات المتوسطة الانحدار .
- الفئة الرابعة (امكانات المياه الجوفية المنخفضة): تصل مساحة المواقع ذات الملائمة المنخفضة لحصاد مياه الأمطار بمنطقة الدراسة ٣٩٠.٦٧ كم^٢ بنسبة ٤٧.٥٥٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وتضم تجمعات قليلة بشرقي وغربي منطقة الدراسة.

• الفئة الخامسة (امكانات المياه الجوفية المنخفضة جدا): تصل مساحة المواقع ذات الامكانات المنخفضة جدا للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة ٥٨١.٢٨ كم^٢ بنسبة ٢.٥٠٪ من إجمالي مساحة المنطقة، وتضم تجمعات قليلة بالجنوب الشرقي بمنطقة الدراسة في مواقع التكوينات الصخرية المنخفضة النفاذية والشديدة الانحدار.

ومن خلال هذا العرض يتضح مدى إمكانية التوسع في الاستفادة من المياه الجوفية في منطقة الدراسة لتعزيز الاستفادة منها نحو المساهمة في تلبية الإحتياجات المائية في الشرب والزراعة، خاصة أن منطقة الدراسة تشهد تنمية زراعية وعمرانية في منطقة المراوح الفيضية ووسط المنطقة، حيث يتم الاعتماد على الطاقة الشمسية في عملية رفع المياه الجوفية من الابار لاستخدامها في المجالات الزراعية والشرب صورة(٢). ومن العوامل التي تساعد على التنمية المكانية لمنطقة الدراسة موقعها المتوسط بين محافظات: قنا، سوهاج، وأسيوط ومحافظة البحر الأحمر الساحلية، كما ساعد على ذلك أن منطقة الدراسة يمر بها طرق رئيسة مثل طريق قنا/سفاجة، وطريق قنا القصير، وطريق قنا القاهرة.



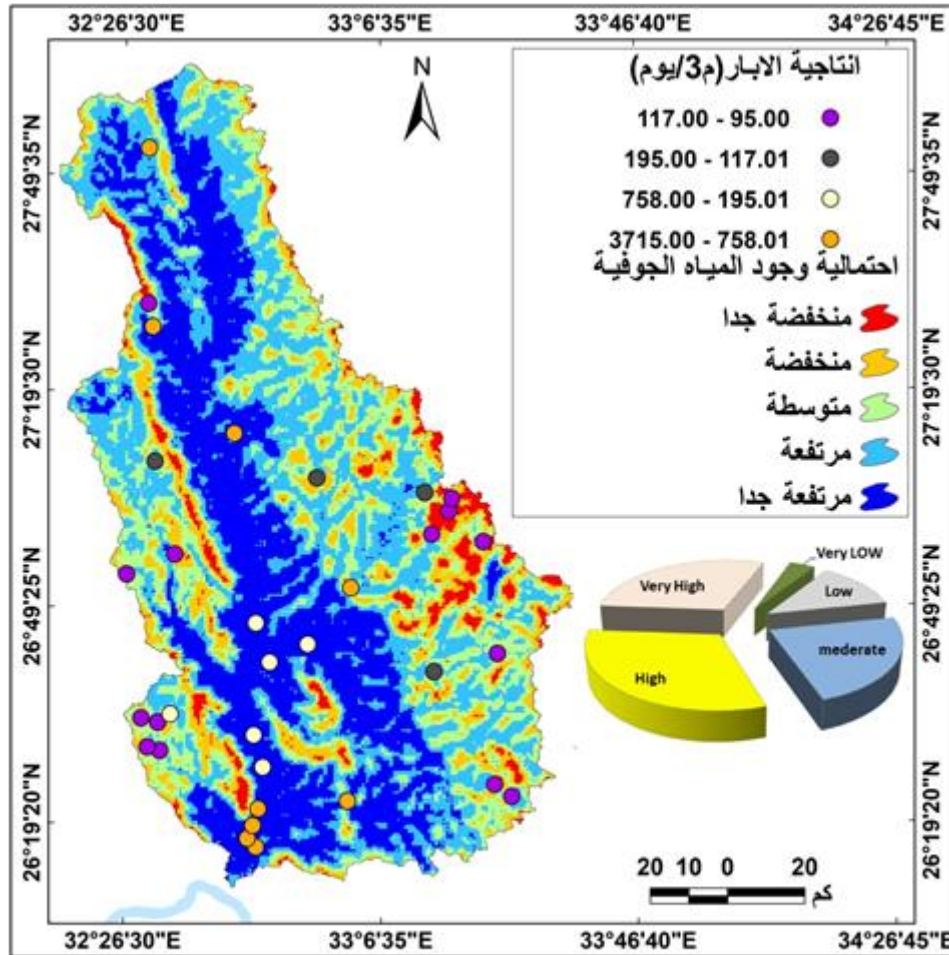
صورة(٢) مخطط يوضح استخدام الطاقة الشمسية لاستخراج المياه بواسطة محرك ٢٥ حصان بوادي قنا

٤- التحقق من النتائج: Validation

تم التحقق من المناطق المحددة لامكانات المياه الجوفية في منطقة الدراسة مع نتائج بيانات مراقبة الآبار الجوفية بحوض وادي قنا، وفي ذلك تم الاعتماد على إجمالي ٤٢ بئر للمراقبة-شكل(٣٦)، ووجد أن الآبار الواقعة في المناطق ذات الامكانات المنخفضة لديها قدرة إنتاجية منخفضة جدا تتراوح بين ٧٨-٩٥ لتر/يوم، والمواقع ذات الإمكانيات المنخفضة للمياه الجوفية لديها قدرة إنتاجية للمياه تتراوح بين ٩٥.٠١-١١٧ لتر / اليوم. ومع ذلك، فإن الآبار الواقعة في المناطق ذات

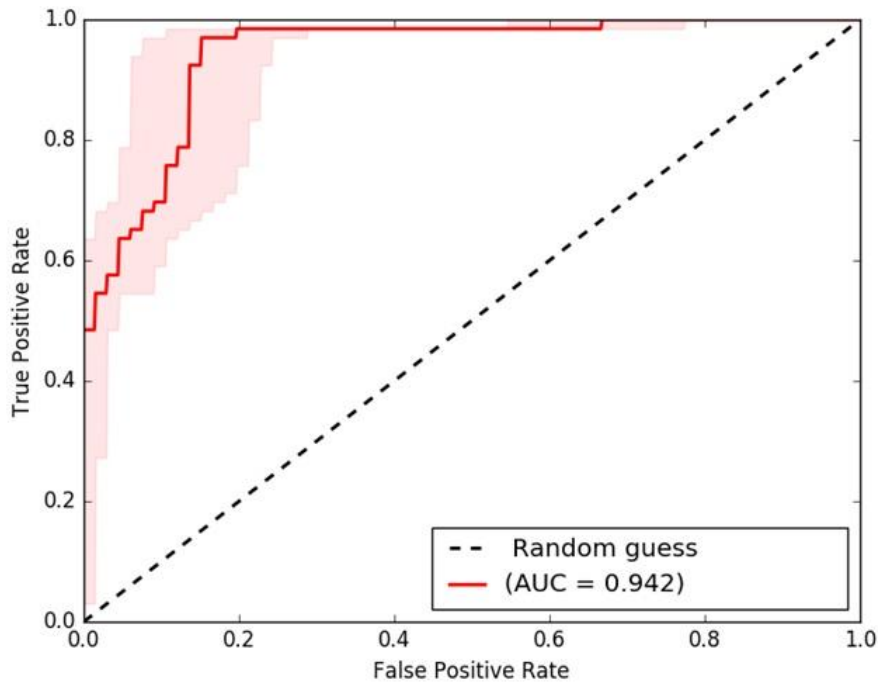
مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

إمكانات المياه الجوفية المتوسطة لديها قدرة إنتاجية للمياه تتراوح بين ١١٧.٠١-١٩٥ لتر / اليوم ، والآبار الواقعة في المناطق ذات إمكانات المياه الجوفية المرتفعة والمرتفعة جداً لديها قدرة إنتاجية للمياه تتراوح بين ١٩٥.٠١-٢٢١٧.٠١ لتر/يوم
لتر في اليوم. ومن بين إجمالي ٤٢ بئر يوجد ٣٥ بئراً تتفق بشكل جيد مع فئات المناطق المحتملة للمياه الجوفية في حوض وادي قنا. في حين بقية الآبار (٧ أرقام) غير متطابقة بشكل كامل لأسباب مختلفة. وتقع هذه الآبار إما بالقرب من المراكز الحضرية أو المناطق الزراعية. وعادة ما يتم استغلال المناطق التي توجد بها هذه الآبار للمياه الجوفية إما للأغراض الحضرية أو الزراعية. ومن خلال الدراسة يمكن أن نستنتج أن التقنيات المعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية و AHP تمتلك أهمية كبيرة في تحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية .



شكل (٣٦) خريطة إمكانات المياه الجوفية ومقارنتها بإنتاجية الآبار بمنطقة الدراسة.

كما اعتمدت الدراسة في تقييم دقة تحليل امكانات المياه الجوفية المحتملة على تطبيق تحليل منحنى خصائص تشغيل جهاز الاستقبال Receiver Operating Characteristic Curve (ROC) Curve الذي يعتبر من الركائز الأساسية في اتخاذ القرار وتمييز جودة اختبارات التصنيف وقياس قوة اختبارين بالاعتماد على ملف عينات التدريب (الاختبار)، وهو تمثيل رسومي لأداء نموذج مصنف ثنائي يتم إنشاؤه عن طريق رسم معدل القيم الإيجابية الحقيقية (TPR) مقابل معدل القيم الإيجابية الخاطئة (FPR) عند عتبات تصنيف مختلفة، وتشير TPR إلى نسبة الحالات الإيجابية التي تم تصنيفها بشكل صحيح ، بينما FPR يقصد بها نسبة الحالات السلبية التي تم تصنيفها بشكل غير صحيح (Gajowniczek,K.,& Ząbkowski.,T.,2014) . وتعتبر مساحة المنطقة الواقعة أسفل المنحنى (AUC Area under the curve) مقياس لقدرة المصنف على التمييز بين الفئات الإيجابية والسلبية، فكلما كان المنحنى قريباً من الزاوية اليسرى العلوية وازدادت المساحة أسفله، ويعطى مدلول رقمي قريب من ١ ، يكون أكثر قوة وتعتمد نتائج الدراسة ،بينما إذا كان المنحنى قريب من الخط المرجعي والمساحة أسفله قريبة من ٠.٥ ، فإن الاختبار يشير إلى ضعف التحليل وعدم مطابقته للواقع إلا بشكل محدود جداً (Schutts,J.,, 2016) تم تطبيق منحنى (ROC) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية ، فمن خلاله تم مطابقة عدد (٣٥) عينة تدريبية موجبة تعبر عن مواقع الابار وقدرتها الانتاجية للمياه الجوفية مع الطبقة الخلوية الناتجة GWPZ ، ووصلت الدقة المكانية لاختار AUC (0.942)- شكل (٣٧) ، وعلى حسب التصنيف العالمي لمنحنى (ROC) تعتبر النتيجة ذات دقة (ممتاز)- جدول(٧).

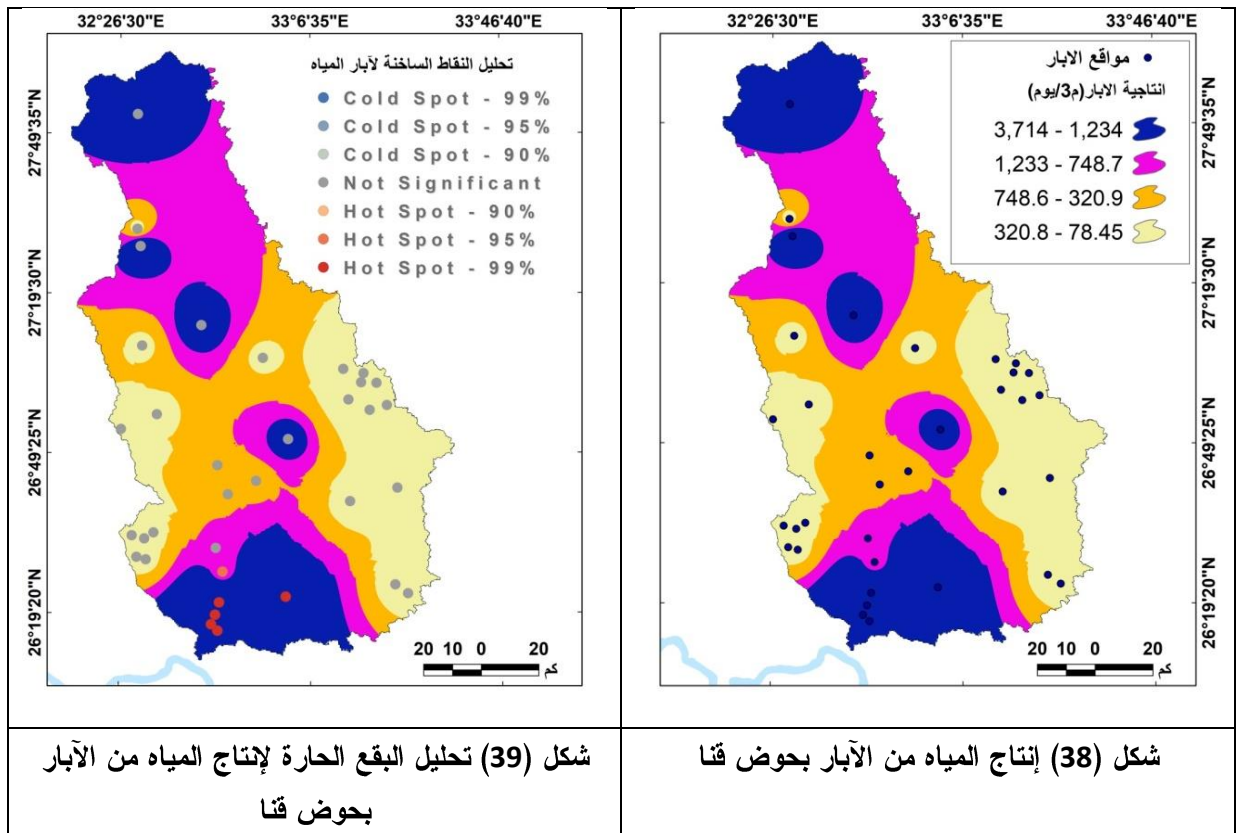


شكل(٣٧) تقييم دقة نتائج تحليل GWPZ باستخدام الذكاء الاصطناعي (ROC Curve)

اختبار التحليل	ممتاز	شديد الاهمية	جيد	متوسط	ضعيف

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

ومن خلال شكل (38) يتضح أن معدلات إنتاج المياه الجوفية بحوض وادي قنا تتباين من موقع لآخر، إلا أنه يتزايد معدل إنتاج المياه الجوفية من الآبار بحوض الدراسة بجنوب المنطقة خاصة المروحة الفيضية، حيث تقع مدينة قنا الجديدة ومشروعات التوسعات الزراعية، مما يتطلب استخراج كميات كبيرة من المياه الجوفية، كما أن هذه المنطقة تعتبر ذات احتمالية وجود مياه جوفية عالية جداً، والموقع الآخر في أقصى شمال شرق حوض الدراسة، لوجود احتمالية مياه جوفية عالية، وقربه من مدن البحر الأحمر، حيث يتم الاستفادة من إنتاجية الآبار في هذا الجزء لنقلها إلى مدينة سفاجة والغردقة، والتجمعات البدوية بمنطقة البحر الأحمر.



وبتطبيق تحليل Hotspot داخل برنامج ArcGIS لدراسة الاستخدامات الحرجة والضغط على الآبار تبين أن الآبار في جنوب غرب وشمال منطقة الدراسة تعتبر في فئة الاستخدامات الحرجة- شكل (39) وتصل قيمة GiZScore (4.14) وتصل قيمة GiPValue صفر بالتالي نقبل الفرض من العدم وهو أن الآبار في هذا الموقع تتعرض لضغط شديد متعمد بفعل العامل البشري؛ لذا من الضروري تنظيم وإدارة عملية سحب المياه من هذه الآبار حتى لا تتعرض المياه الجوفية للاستنزاف وتعطى الفرصة لكي تتجدد المياه ويعاد تغذية الخزان الجوفى من جديد.

الخاتمة

تعتبر الدراسة الحالية محاولة لتحديد المياه الجوفية المحتملة باستخدام التكامل بين تقنيات AHP ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في حوض وادي قنا جنوب مصر. تم استخدام (١٥) معمل مكاني، وهي: الجيولوجيا، tpi، LULC، التربة، هطول الأمطار، كثافة خطوط الانكسارات، كثافة التصريف المائي، تدرج المنحدر، TPI، cd، TWI، خزانات المياه الجوفية، vdcj. وفقاً لخريطة المخرجات النهائية يمكن تصنيف منطقة الدراسة إلى خمس مناطق متميزة للمياه الجوفية مثل: عالية جداً، عالية، متوسطة، منخفضة وفقيرة. وتقع المناطق ذات الإمكانيات العالية جداً والمرتفعة للمياه الجوفية في الغالب في مستجمعات المياه المنخفضة المنسوب وكذلك في المجرى الأوسط لحوض وادي قنا في منطقة الخزان الرباعي. تم التحقق من صحة خريطة المناطق المحتملة للمياه الجوفية باستخدام معلومات تدفق المياه الجوفية و آفاق المياه الجوفية في منطقة الدراسة. وتقدم خريطة المنطقة المحتملة للمياه الجوفية في هذه الدراسة رؤى لصناع القرار للتخطيط السليم وإدارة المياه الجوفية للأغراض الحضرية والزراعية. توصلت الدراسة لعدد من النتائج والتوصيات، وهي كما يلي:

النتائج والتوصيات:

توصلت الدراسة للنتائج التالية:

- ١- كشفت الدراسة قدرة نظم المعلومات الجغرافية GIS والتحليل الهرمي في التعرف على المياه الجوفية المحتملة بحوض وادي قنا.
- ٢- تمكنت الدراسة من إنتاج خريطة رقمية توضح إمكانات المياه الجوفية بحوض وادي قنا تساعد الجهات المعنية وأصحاب القرار من اتخاذ القرارات المناسبة في الاستغلال الأمثل لمياه الآبار.
- ٣- صنفت الدراسة المنطقة إلى خمس مناطق ذات إمكانات متفاوتة للمياه الجوفية: مرتفعة جداً (١١.٧٥٪)، مرتفعة (٢٩.٣٠٪)، متوسطة (٨.٨٦٪)، منخفضة (٤٧.٥٥٪)، ومنخفضة جداً (٢.٥٠٪) ويتضح أن الجزء الجنوبي الغربي من حوض وادي قنا يتمتع بدرجة مرتفعة جداً من التغذية والتخزين .
- ٤- أظهرت نتائج الدراسة التطابق المكاني لخريطة إمكانات المياه الجوفية من خلال مطابقة عدد (٣٥) عينة تدريبية موجبة تعبر عن مواقع الآبار وقدرتها الإنتاجية للمياه الجوفية مع الطبقة الخلية الناتجة من GWPZ ، فبلغت دقة التحليل ٩٢٪ تبعاً لمنحنى ROC Curve وهي دقة (ممتازة) على حسب المقياس المعتمد عالمياً.
- ٥- يزداد الاستخدام الحرج لمياه الآبار في جنوب غرب وشمال منطقة الدراسة تبعاً لتحليل HOTSPOT، بالتالي يزداد الضغط على خزانات المياه الجوفية في القطاع من منطقة الدراسة.

توصيات ومقترحات الدراسة:

- ١- توصي الدراسة بضرورة استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والتحليل الهرمي في تحديد المناطق الجوفية المحتملة ، لما لها من قدرة عالية في إدارة البيانات ومعالجتها وتحليلها ونمذجتها.
- ٢- إنشاء قاعدة بيانات وطنية تدعم البحث العلمي حول استكشافات المياه الجوفية وإنتاجية الآبار .
- ٣- ضرورة إدارة وتنظيم إنتاجية الآبار حتى تتاح الفرصة لاعادة تغذية المياه الجوفية من خلال وضع سياسات جديدة واجهزة قياس لمراقبة عمليات سحب المياه من الآبار.
- ٤-

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد - مجلة علمية محكمة - العدد الثامن عشر (الجزء الثاني)

المراجع باللغة العربية

١. محمد جاب الله & حسام (٢٠١٩). استخدام نمذجة نظم المعلومات الجغرافية في تحديد أفضل الأماكن لاستخراج المياه الجوفية بحوض وادي عباد بصحراء مصر الشرقية، مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية، جامعة المنوفية - كلية الآداب - مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية .
٢. عبد اللطيف & كريم حامد. (٢٠١٨). تحديد مناطق تغذية المياه الجوفية بالمنطقة فيما بين إدفو وأسوان-مصر، باستخدام نمذجة نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البعد. مجلة البحث العلمي في الآداب، ١٩ (العدد التاسع عشر الجزء الرابع)، ١٨-١٠.
٣. كلخه & محي الدين واخرون . (٢٠٢٢). تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في احتمالية خرائط الماء الأرضي في حوض مصيف لتطوير استراتيجيات إدارة الموارد المائية، المجلة السورية للبحوث الزراعية ٤٧٣-٤٦٢.

المراجع الأجنبية

1. Abdel Monem, A. A., El-Kalioubi, B. A., Attawiya, M. Y., Moussa, E. M., & Ragab, A. A. (2004). Chimecal characteristics and petrogenesis of pillowed aec metabasalt, wadi hamad, north eastern desert, Egypt. In *6th International Conference on Geochemistry, Alexandria Univ., Egypt*.
2. Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M., & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool—a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440, 75-89.
3. Ayazi, M. H., Pirasteh, S., Arvin, A. K. P., Pradhan, B., Nikouravan, B., & Mansor, S. (2010). Disasters and risk reduction in groundwater: Zagros Mountain Southwest Iran using geoinformatics techniques. *Disaster Adv*, 3(1), 51-57.
4. Bandyopadhyay, S., Srivastava, S. K., Jha, M. K., Hegde, V. S., & Jayaraman, V. (2007). Harnessing earth observation (EO) capabilities in hydrogeology: an Indian perspective. *Hydrogeology Journal*, 15, 155-158.
5. Banks, D., Robins, N., & Robins, N. (2002). *An introduction to groundwater in crystalline bedrock* (p. 64). Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
6. Bock, M., & Köthe, R. (2008). Predicting the depth of hydromorphic soil characteristics influenced by ground water. *SAGA—Seconds Out*, 19, 13-22.
7. Butler, M., Wallace, J., & Lowe, M. (2002). Groundwater quality classification using GIS contouring methods for cedar valley, Iron County, Utah. *Digital mapping techniques*, 207.
8. Chi, K. H., & Lee, B. J. (1994, November). Extracting potential groundwater area using remotely sensed data and GIS techniques. In *Proceedings of the regional seminar on integrated application of remote sensing and GIS for land and water resource management. Bangkok* (pp. 64-69).
9. Chowdhury, A., Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2010). Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1209-1222.
10. Chowdhury, A., Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2010). Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur

- district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1209-1222.
11. Das, S. (2017). Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain in Gangajalghati block, Bankura district, India using remote sensing and GIS techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1589-1599.
 12. Das, S., & Pardeshi, S. D. (2018). Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science*, 8(7), 197.
 13. De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., ... & Crombé, P. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, 186, 39-49.
 14. El-Shamy, I. Z. (1988, March). Quantitative geomorphometry and surface runoff control for Wadi Qena, Eastern Desert. In *EGS Proceedings of the 6th annual meeting* (pp. 13-26).
 15. Gajowniczek, K., Ząbkowski, T., & Szupiluk, R. (2014). ESTIMATING THE ROC CURVE AND ITS SIGNIFICANCE FOR CLASSIFICATION MODELS' ASSESSMENT. *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, 15(2), 382-391.
 16. Ganapuram, S., Kumar, G. V., Krishna, I. M., Kahya, E., & Demirel, M. C. (2009). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40(7), 506-518.
 17. Ganapuram, S., Kumar, G. V., Krishna, I. M., Kahya, E., & Demirel, M. C. (2009). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40(7), 506-518.
 18. Ganapuram, S., Kumar, G. V., Krishna, I. M., Kahya, E., & Demirel, M. C. (2009). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40(7), 506-518.
 19. Hussien, H. M., Kehew, A. E., Aggour, T., Korany, E., Abotalib, A. Z., Hassanein, A., & Morsy, S. (2017). An integrated approach for identification of potential aquifer zones in structurally controlled terrain: Wadi Qena basin, Egypt. *Catena*, 149, 73-85.
 20. Ibrahim-Bathis, K., & Ahmed, S. A. (2016). Geospatial technology for delineating groundwater potential zones in Doddahalla watershed of Chitradurga district, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(2), 223-234.
 21. Jenness, J. (2006). Topographic position index (tpi_jen. avx_extension for Arcview 3. x, v. 1.3 a, Jenness Enterprises [EB/OL]. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
 22. Kabeto, J., Adeba, D., Regasa, M. S., & Leta, M. K. (2022). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing techniques: case study of west Arsi zone, Ethiopia. *Water*, 14(12), 1838.
 23. Kopecký, M., Macek, M., & Wild, J. (2021). Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition. *Science of the Total Environment*, 757, 143785.
 24. Krishnamurthy, J., & Srinivas, G. (1995). Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration: a study using IRS LISS data. *International Journal of Remote Sensing*, 16(14), 2595-2618.
 25. Krishnamurthy, J., Venkatesa Kumar, N., Jayaraman, V., & Manivel, M. (1996). An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a

- geographical information system. *International journal of Remote sensing*, 17(10), 1867-1884.
26. Li, J., Pang, Z., Liu, Y., Hu, S., Jiang, W., Tian, L., ... & Tian, J. (2023). Changes in groundwater dynamics and geochemical evolution induced by drainage reorganization: Evidence from 81Kr and 36Cl dating of geothermal water in the Weihe Basin of China. *Earth and Planetary Science Letters*, 623, 118425.
 27. Machiwal, D., Rangi, N., & Sharma, A. (2015). Integrated knowledge-and data-driven approaches for groundwater potential zoning using GIS and multi-criteria decision making techniques on hard-rock terrain of Ahar catchment, Rajasthan, India. *Environmental Earth Sciences*, 73, 1871-1892.
 28. Mokarram, M., Roshan, G., & Negahban, S. (2015). Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran). *Modeling Earth Systems and Environment*, 1, 1-7.
 29. Nampak, H., Pradhan, B., & Abd Manap, M. (2014). Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513, 283-300.
 30. Oh, H. J., Kim, Y. S., Choi, J. K., Park, E., & Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), 158-172.
 31. Oliveira, E. A., Pires, R. S., Oliveira, R. S., Furtado, V., Herrmann, H. J., & Andrade Jr, J. S. (2019). A universal approach for drainage basins. *Scientific Reports*, 9(1), 9845.
 32. Pande, C. B., Moharir, K. N., Panneerselvam, B., Singh, S. K., Elbeltagi, A., Pham, Q. B., ... & Rajesh, J. (2021). Delineation of groundwater potential zones for sustainable development and planning using analytical hierarchy process (AHP), and MIF techniques. *Applied Water Science*, 11(12), 186.
 33. Pande, C. B., Moharir, K. N., Singh, S. K., Elbeltagi, A., Pham, Q. B., Panneerselvam, B., ... & Kouadri, S. (2022). HGroundwater flow modeling in the basaltic hard rock area of Maharashtra, India. *Applied Water Science*, 12, 1-14.
 34. Pardo-Igúzquiza, E., & Dowd, P. A. (2020). Fractal analysis of karst landscapes. *Mathematical Geosciences*, 52(4), 543-563.
 35. Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran. *Catena*, 137, 360-372.
 36. Rajesh, J., Pande, C. B., Kadam, S. A., Gorantiwar, S. D., & Shinde, M. G. (2021). Exploration of groundwater potential zones using analytical hierarchical process (AHP) approach in the Godavari river basin of Maharashtra in India. *Applied Water Science*, 11(12), 182.
 37. Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of sciences*, 5(1-4), 23-27.
 38. Saaty, T. L. (2001). *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. RWS publications.
 39. Saha, D., Dhar, Y. R., & Vittala, S. S. (2010). Delineation of groundwater development potential zones in parts of marginal Ganga Alluvial Plain in South Bihar, Eastern India. *Environmental monitoring and assessment*, 165, 179-191.
 40. Sahu, P., & Sikdar, P. K. (2011). Groundwater potential zoning of a peri-urban wetland of south Bengal Basin, India. *Environmental monitoring and assessment*, 174, 119-134.MMM

41. Said, R. (1960). Planktonic foraminifera from the Thebes formation, Luxor, Egypt. *Micropaleontology*, 6(3), 277-286.
42. Saraf, A. K., & Choudhury, P. R. (1998). Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. *International journal of Remote sensing*, 19(10), 1825-1841.
43. Schutts, J. W. (2016). *The use of receiver operating characteristic curve analysis for academic progress and degree completion*. The University of Southern Mississippi.
44. sensing and GIS techniques, Egypt. *J. Remote Sens. Space Sci.* 2014, 17, 111–121
45. Shahid, S., Nath, S., & Roy, J. (2000). Groundwater potential modelling in a soft rock area using a GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 21(9), 1919-1924.
46. Singh, P., Gupta, A., & Singh, M. (2014). Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), 111-121.
47. Singh, P., Thakur, J. K., & Kumar, S. (2013). Delineating groundwater potential zones in a hard-rock terrain using geospatial tool. *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), 213-223.
48. Solomon, S., & Quiel, F. (2006). Groundwater study using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the central highlands of Eritrea. *Hydrogeology Journal*, 14, 1029-1041.
49. Voogd, H. (1983). Multi-criteria evaluation for urban and regional planning, Pion, London. *Water Resour. Manag.* 24, 921-939.
50. Wang, L., & Liu, H. (2006). An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2), 193-213.
51. Willems, L., Rodet, J., Pouclet, A., Melo, S., Rodet, M. J., Compère, P., ... & Auler, A. S. (2008). Karsts in sandstones and quartzites of Minas Gerais, Brazil. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 33.
52. Yeh, H.-F., Cheng, Y.-S., Lin, H.-I. & Lee, C.-H. Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. *Sustain. Environ. Res.* 26, 33–43 (2016).