مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد– مجلة علمية محكمة– ديسمبر 2023

المياه الجوفية فى حوض وادي قنا – مصر دراسة فى الجيومورفولوجيا التطبيقية باستخدام التقنيات الجيومكانية

د/ سحر نور الدين توفيق(*)

ملخص البحث:

تشهد المياه الجوفية في حوض وادي قنا تراجعًا نتيجة انخفاض كمية الأمطار والنمو السكاني المتزايد، مما يزيد من الطلب على هذا المورد، تُقدم هذه الورقة البحثية منهجية موحدة لتحديد مناطق المياه الجوفية المحتملة من خلال دمج تقنيات الاستشعار من البُعد ونظم المعلومات الجغرافية مع التحليل الهرمي متعدد المعايير لتحديد 15 معيارًا مكانيًا لمراقبة وجود المياه الجوفية، تشمل التكوين الجيولوجي، الانحدار، كثافة شبكة التصريف، القرب من خطوط التصريف، المناسيب، وكثافة خطوط الانكسار، بالإضافة إلى عوامل أخرى مثل الأمطار واستخدامات وغطاءات الأرض، واعتمدت الدراسة على آراء الخبراء ومعايير مستمدة من المراجع لإعداد مؤشر إمكانات المياه الجوفية باستخدام طريقة AHP، وتم تصنيف المنطقة إلى خمس فئات: مرتفعة جدًا (11.75%)، مرتفعة (29.30%)، متوسطة (8.86%)، منخفضة (47.55%)، ومنخفضة جدًا (2.50%)، وأظهرت النتائج أن الجزء الجنوبي الغربي من حوض وادي قنا يتمتع بإمكانات مرتفعة جدًا للمياه الجوفية المحتملة، كما تم التحقق من صحة النموذج من خلال مقارنة خريطة المياه الجوفية المحتملة مع بيانات الإنتاجية اليومية لعدد (42 بئرًا) في الحوض، وكشفت الدراسة أن 45.71% من الآبار تقع في مناطق ذات إمكانات جوفية مرتفعة، مما يعكس موثوقية المنهجية المستخدمة، كما توصلت الدراسة إلى نتائج وتوصيات تهدف إلى اتخاذ قرارات مستنيرة للحفاظ على المياه الجوفية، من خلال دمج تقنيتي نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرمي لتحديد مناطق المياه الجوفية المحتملة بشكل فعال ومنخفض التكلفة، مع إمكانية تطبيقها في بيئات مشابهة.

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

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

Groundwater in Wadi Qena Basin – Egypt A Study in Applied Geomorphology Using Geospatial Techniques

Abstract

Groundwater in the Wadi Qena Basin is declining due to declining rainfall and increasing population growth, which increases the demand for this resource. This research paper presents a unified methodology for identifying potential groundwater areas by integrating remote sensing and GIS techniques with multi-criteria hierarchical analysis to identify 15 spatial criteria for monitoring groundwater presence, The study included geological formation, slope, drainage network density, proximity to drainage lines, elevations, and density of fault lines, in addition to other factors such as rainfall and land uses and covers. The study relied on expert opinions and criteria derived from references to prepare the groundwater potential index using the AHP method, The area was classified into five categories: very high (11.75%), high (29.30%), medium (8.86%), low (47.55%), and very low (2.50%). The results showed that the southwestern part of the Qena Valley Basin has very high groundwater potential. The model was validated by comparing the map of potential groundwater areas with daily productivity data for 42 wells in the basin, The study revealed that 45.71% of the wells are located in areas with high groundwater potential, reflecting the reliability of the methodology used. The study also reached conclusions and recommendations aimed at making informed decisions to conserve groundwater, by integrating GIS and hierarchical analysis techniques to identify potential groundwater areas in an effective and low-cost manner, with the potential for application in similar environments.

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

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- ديسمبر 2023

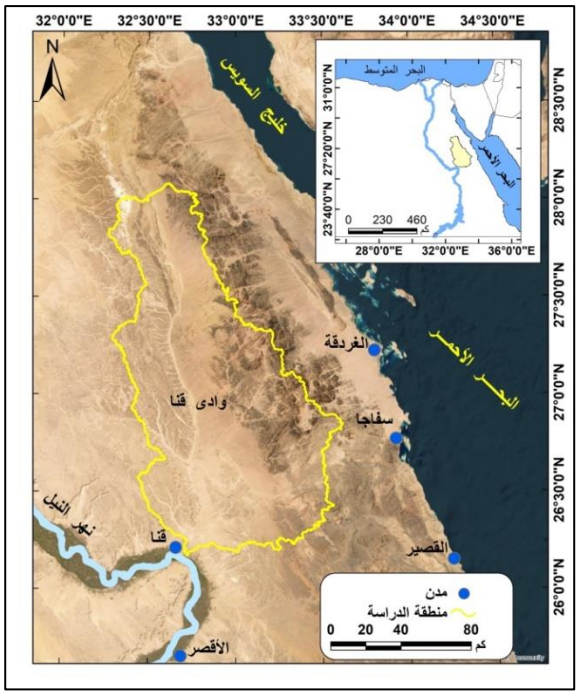
مقدمة:

تعتبر دراسة إمكانات المياه الجوفية بمثابة مبادئ توجيهية مفيدة لصانع القرار وتساعده فى الإدارة السليمة للمياه الجوفية بطريقة مستدامة، لكونها أهم الموارد الطبيعية التى تدعم صحة الإنسان والتنمية الاقتصادية فى البيئات الجافة وشبة 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 فى 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 فى المشاريع الزراعية الجديدة فى منطقة الدراسة، فإن المنطقة جذبت عدد كبير من سكان مدينة قنا ذات الكثافة السكانية المرتفعة 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 وادى 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؛ فى ضوء زراعة جزء من الأراضي الصحراوية بالمحاصيل منخفضة الاستهلاك للمياه ، مثل النباتات الطبية.

مؤخرا تم الاعتماد على الأدوات الجغرافية المكانية الحديثة فى دراسة المياه الجوفية، لتميزها 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 فى مقدمتها نظم المعلومات الجغرافية وتكاملها مع عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) التى تعد أحد طرق تحليل القرار المتعدد المعايير (MCDA) فيمكن استخدامهما بشكل أكثر فاعلية في تحديد ورسم خرائط إمكانات المياه الجوفية ومناطق التغذية ، وتحديد مناطق الندرة، بالمقارنة بالأساليب الأخرى، مثل: الأدوات الجيوفيزيائية والهيدروجيولوجية التي تكون عمومًا ذات تكلفة مرتفعة وقد تستغرق وقتًا 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 بسمة معينة(Saaty, T. L.1990) .

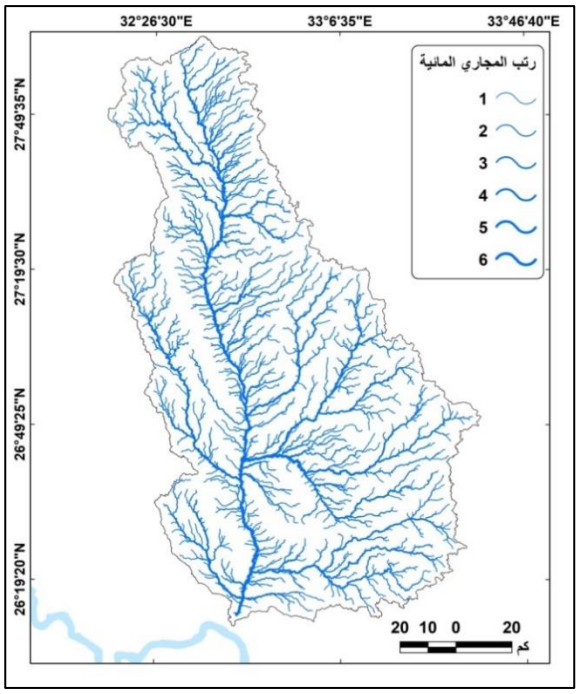
منطقة الدراسة:

يقع حوض وادى قنا جغرافيًا فى القطاع الأوسط بالصحراء الشرقية المصرية ضمن خمس محافظات،وهي قنا، سوهاج، أسيوط، المنيا وبني سويف، ويصل هذه المحافظات مع محافظة البحر الأحمر الساحلية، ويأتى حوض الدراسة فى مقدمة أحواض الأودية الجافة فى مصر من حيث المساحة فتصل مساحته 15588.83كم^2، ويمتد من الشمال إلى الجنوب الغربي بعكس اتجاه نهر النيل لمسافة 218.86كم، ويمتد حوض الدراسة فلكيًا بين درجتي عرض 29.00" 10' 26° و 53.51" 4' 28° شمالاً، وبين خطي طول 26.66" 17' 32° و50.40" 36' 33° شرقًا– شكل(1)، وتتبع شبكة التصريف المائي لحوض الدراسة من جبال البحر الأحمر وتصب فى نهر النيل عند مدينة قنا بعد، وتصل رتبة وادي قنا إلى الرتبة السادسة، ويتخذ نمط التصريف المائي الشجري– شكل(2)، وتشهد منطقة حوض الدراسة توسعات فى فى التنمية الزراعية بالمراوح الفيضية ونموا سكانيًا بشكل متزايد، خاصة بعد إنشاء مدينة قنا الجديدة.



المصدر: التحليل الهيدرلوجي باستخدام برنامج Arc GIS .

شكل(1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: التحليل الهيدرلوجي باستخدام برنامجArc GIS .

شكل (2) شبكة التصريف المائي لحوض وادي قنا.

أهمية الدراسة:–

تُعد المياه الجوفية عنصر أساسي في شتى أوجه التنمية: الاقتصادية، الحد من الفقر، والتنوع البيئي. إلا أنه لم يكن الماء متاحًا دائمًا متى وأينما دعت الحاجة إليه، كما أنه لم يكن مناسبًا دائمًا من حيث الجودة لجميع الاستخدامات؛ لذا تكمن أهمية هذه الورقة البحثية فى تطوير موارد

المياه البديلة (المياه الجوفيه) ودراسة امكاناتها واحتمالية وجودها بمنطقة الدراسة، بالاعتماد على التقنيات الجيومكانية والتحليل متعدد المعايير، كما تكمن أهمية الدراسة فى الكيفية التى يتم من خلالها المحافظة على مورد المياه الجوفية فى ظل التغيرات المناخية الحالية وجعل المياه الجوفية موردا قابلا للاستدامة داخل المنطقة، خاصة أن منطقة الدراسة تشهد توسعات زراعية تعتمد بشكل أساسي على المياه الجوفية-شكل(4).

شكل(4) مخطط يوضح استخدام المياه الجوفية والطاقة الشمسية للري بحوض وادى قنا.

إشكالية الدراسة:-

نظرا للطبيعة المناخية الجافة وشبة الجافة، فإن توفير المياه العذبة يعد المشكلة الرئيسية التي تؤثر على خطط التنمية في منطقة حوض وادي قنا بالصحراء الشرقية في مصر، كما تواجه منطقة الدراسة بعض التحديات الطبيعية والبشرية، مثل: التأثير الديموغرافي لمدينة قنا الجديدة والضغط الشديد على المياه الجوفية فى الحياة الحضرية والتوسعات الزراعية بجنوب المنطقة، والتغيرات الحالية للمناخ والتي لها تأثير كبير على إدارة موارد المياه الجوفية بطريقة مستدامة؛ ونتيجة لذلك جاءت حتمية ضرورة تطوير موارد المياه البديلة، والتي هي الهدف الرئيسي لدراستنا الحالية، ويأتي فى مقدمتها المياه الجوفية التى تعتبر الحل الأنسب لمثل هذه المشكلات، كما تسببت الصخور الصلبة بمنطقة الدراسة والتي تمثل أكثر من 40% من التكوينات الجيولوجية فى صعوبة تحديد وترسيم طبقة المياه الجوفية المحتملة وتوزيعها جغرافيًا، وساعد على ذلك النقص في البيانات سواء النواحي الجيولوجية أو الهيدروجيولوجية.

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة لتحقيق الأهداف العلمية التالية:-

1. رسم خرائط لمواقع المياه الجوفية المحتملة فى حوض وادي قنا.
2. تعزيز الإستفادة من التقنيات الجيومكانية فى زيادة الدقة والكفاءة وتوفير الوقت أثناء إدارة موارد المياه الجوفية وتخطيطها وتطويرها من قبل الهيئات الحكومية وغير الحكومية.
3. توفير التكلفة الاقتصادية الناتجة عن المسوحات الأرضية باستخدام الأدوات الجيوفيزيائية والهيدروجيولوجية التي قد تكون عمومًا مكلفة وتستغرق وقتًا طويلا.
4. المساهمة فى مساعدة المخططين وصناع القرار في إدارة وتخطيط موارد المياه الجوفية بمنطقة الدراسة.
5. توجيه الاستثمار فى المجال الزراعي والرعوي نحو المواقع ذات احتمالية المياه الجوفية المرتفعة.

تساؤلات الدراسة:

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

1. **ماهى المعايير المؤثرة والمحددة لامكانات المياه الجوفية بحوض الدراسة؟**
2. **ما درجة مساهمة عملية التحليل الهرمي فى تحسين أداء عملية تحليل التراكب الموزون؟**
3. **ما مدى فاعلية نتائج التحليلات المكانية لصياغة التوصيات الملائمة؟**

<u>الدراسات السابقة:</u>

اعتمدت الدراسة على عدد من الدراسات السابقة، يأتى فى مقدمتها: دراسة **(Chi and Lee, 1994)** وتناولت تحديد مناطق المياه الجوفية المحتملة باستخدام بيانات الاستشعار من البُعد ونظم المعلومات الجغرافية فى تايلاند، وتم نشرها في: "وقائع الندوة الإقليمية حول التطبيق المتكامل للاستشعار منن البُعد ونظم المعلومات الجغرافية لإدارة الأراضي والموارد المائية". دراسة **(Krishnamurthy and Srinivas, 1995)** وقامت الدراسة باختيار ثلاثة مواقع اختبار مختلفة، على شكل أحواض تصريف مائي، تمثل بيئات جيولوجية متنوعة في أجزاء من ولاية كارناتاكا الهندية، لمقارنة وتقييم العوامل المختلفة التي تحكم وجود المياه الجوفية، وكذلك لتقييم فائدة بيانات استشعار الأقمار الإصطناعية الهندية للاستشعار من البُعد (IRS) في رسم خرائط المياه الجوفية وتقييم حالتها. دراسة **(Saraf and Choudhury, 1998)** وناقشت الدراسة إمكانات بيانات الاستشعار من البُعد فى تغذية المياه الجوفية بالاعتماد على الخصائص الهيدروجيومورفولوجية لتضاريس الصخور الصلبة في منطقة سيرونج بمقاطعة فيديشا بولاية ماديا براديش بالهند. دراسة **(Shahid et al., 2000)** واستخدمت الدراسة نظم المعلومات الجغرافية لتحديد إمكانات المياه الجوفية في المناطق الصخرية باستخدام سبعة محاور هيدروجيولوجية في مقاطعة ميدنابور، غرب البنغال، الهند. دراسة

(**Solomon and Quiel., 2006**) وتناولت دراسة استكشاف المياه الجوفية باستخدام الاستشعار من البُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في المرتفعات الوسطى في إريتريا. دراسة (**Ganapuram et al., 2009**) وتناولت رسم خرائط المناطق المحتملة للمياه الجوفية في حوض موسي باستخدام بيانات الاستشعار منن البُعد ونظم المعلومات الجغرافية. **دراسة (كريم حامد عبد اللطيف،2018)** واهتمت بتحديد مناطق تغذية المياه الجوفية بالمنطقة بين إدفو وأسوان(مصر) واستخدمت الدراسة النمذجة فى نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار من البُعد. دراسة **(حسام محمد جاب الله،2019)** وتناولت استخدام النمذجة فى نظم المعلومات الجغرافية فى تحديد أفضل المواقع لاستخراج المياه الجوفية فى حوض وادى عياد بالصحراء الشرقية لمصر. دراسة (**Ghimire M, Chapagain PS, Shrestha S, 2019**) قامت الدراسة برسم خرائط للمنطقة المحتملة لينابيع المياه الجوفية باستخدام التقنيات الجغرافية المكانية في جبال الهيمالايا الوسطى في نيبال، دراسة حالة لمنطقة ميلامتشي– لارك. دراسة (**Pande CB, Moharir KN, Panneerselvam B et al., 2021**) وناقشت إمكانية دمج نموذج MODFLOW مع البيانات الأرضية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لإدارة موارد المياه الجوفية المستدامة في التضاريس الصخرية الصلبة في التكوينات البازلتية في ماهاراشترا بالهند. **دراسة (محى الدين كلخة واخرون،2022)** وفيها تم دراسة خرائط احتمالية المياه الجوفية في حوض مصياف بالجمهورية السورية، باستخدام تطبيقات الاستشعار من البُعد ونظم المعلومات الجغرافية. دراسة ((**Pande CB, Moharir KN, Singh SK et al., 2022**) وتناولت نمذجة تدفق المياه الجوفية في منطقة الصخور الصلبة البازلتية في ولاية ماهاراشترا، الهند، وطبقت الدراسة النهج المتكامل الذي يتألف من عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، وعوامل التأثير المتعددة (MIF)، ومنحنى تقييم الدقة (ROC).

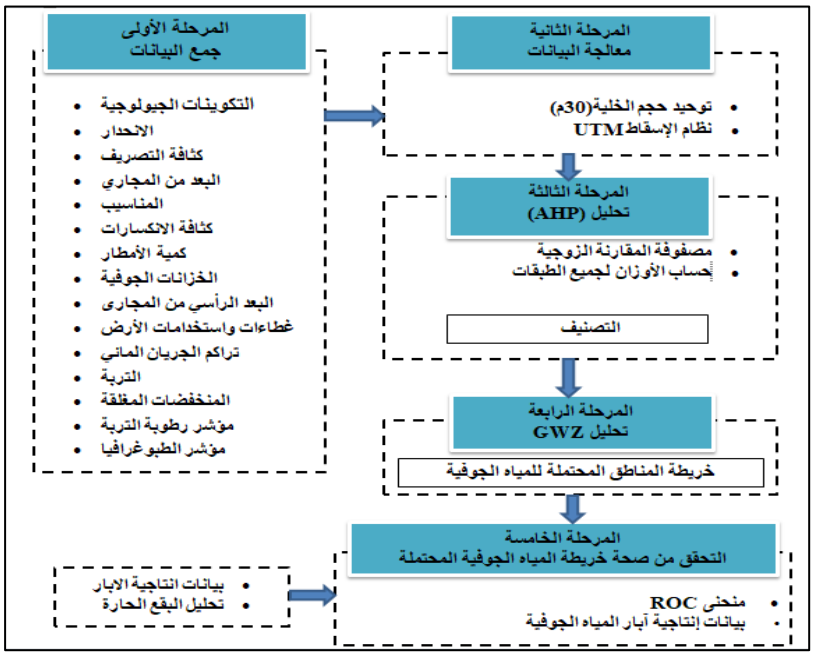
مما سبق نجد أن الدراسات السابقة عرضت أهمية تطبيق التقنية فى تحديد امكانات المياه الجوفية المحتملة، وذلك لتوفير الوقت والتكلفة، بهدف الاستفادة من المياه الجوفية في المنطقة محل الدراسة السابقة، أو منطقة الدراسة الحالية– المتمثلة في منطقة وادي قنا، وتختلف الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة في النطاق الزمني 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.

المنهجية والأساليب البحثية:

اعتمدت الدراسة على مناهج وأساليب عدة فى تطبيق التقنيات الجيومكانية لتحقيق أهداف الدراسة، وجاء فى مقدمتها: **المنهج الوصفي التحليلي،** في وصف المشكلة التى تعانى منها منطقة الدراسة فى نقص امدادات المياه فى التوسع الزراعي، **المنهج الاستقرائى التحليلى،** ومن خلاله تم جمع ومعالجة البيانات المدخلة فى الدراسة وذلك من خلال جمع البيانات والمعلومات عن هذه المشكلة من عدة مصادر وتحليلها، كما تم الاعتماد على **الأسلوب الكارتوجرافى،** من خلال إعداد الخرائط في معالجة وتحليل البيانات ومن ثم رسم الخرائط وعرض النتائج، كما استخدمت الدراسة

الأسلوب التحليلي، فى نمذجة المواقع المحتملة للمياه الجوفية بمنطقة الدراسة باستخدام التحليل الهرمي لعدد (15) معامل مؤثر على إمكانات المياه الجوفية المحتملة، وتم اختيار هذه المعايير نظرًا لاستخدامها بشكل واسع فى بيئات جغرافية متعددة لتحديد المياه الجوفية ، كما نُصح بتطبيقها عدد من الخبراء (Oh, H.-J., Kim, Y.-S., Choi, J.-K., Park, E. & Lee2011)، كما تتوافق مع الخصائص الهيدروجيولوجية والجيولوجية والهيدروطبوغرافية والمناخية لمنطقة الدراسة، وتشمل: التكوين الجيولوجى، الانحدار بالدرجات، كثافة شبكة التصريف، القرب من خطوط التصريف المائي، الارتفاعات الرقمية مقاسة بالمتر، كثافة خطوط الصدوع، الأمطار(مم)، الخزانات الجوفية (السمك- النوع)، المسافة الرأسية من خطوط التصريف المائي(م)، الغطاء الأرضى، تراكم الجريان المائى، مجموعات التربة، المنخفضات المغلقة، مؤشر الرطوبة الأرضية، ودليل الموضع الطبوغرافي.

وتم إعداد الدراسة على أربعة محاور-شكل(4)، وهي: **المرحلة الأولى**، وتم فيها إعداد المعطيات المكانية للدراسة ، المرحلة الثانية واختصت بمعالجة البيانات ، فى حين إختصت **المرحلة الثالثة**، بتحليل المعطيات المكانية بطريقة (AHP) التى تعد أحد أهم طرق التقييم متعدد المعايير MCE (Voogd, H.,1983) شيوعًا والمعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية فى 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 خلال نظم المعلومات الجغرافية مع تحديد الوزن النسبي بواسطة AHP لإنتاج طبقة رقمية تعبر عن إمكانات المياه الجوفية GWPZ ومناطق إعادة التغذية، واهتمت **المرحلة الرابعة**، بتحليل الخريطة المنتجة لامكانات المياه الجوفية المحتملة، تلي ذلك **المرحلة الخامسة**، واهتمت بالتحقق من النتائج باستخدام إنتاجية الآبار وأداة ROC Curve أحد أدوات الذكاء المكاني.



المصدر/إعداد الباحثة وفقًا لمناهج وأساليب الدراسة .

شكل (4) مخطط يوضح مراحل إعداد الدراسة.

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

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 المناسيب الرقمي (DEM) دقة (12.5) مترًا من خلال Earth Data ، وتم تجميعها (موزيك) فى برنامج Arc GIS، لتحديد حدود الحوض باستخدام أدوات التحليل الهيدرولوجي في Arc GIS والتعرف على الخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة، كما استخدمت الدراسة بيانات الأقمار الإصطناعية من نوع لاندسات 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 الأمريكى باستخدام منصة Earth Explore فى (20 فبراير 2022) وطبقت عليها تقنيات المعالجة والتفسير البصري لتحديد استخدامات وغطاءات الأرض LULC باستخدام برامج الاستشعار من البُعدأ كما تم جمع ورقمنة الخريطة المعتمدة لجيولوجية المنطقة من قبل هيئة المساحة الجيولوجية المصرية والهيئة المصرية العامة للبترول (كونكو كورال) والتربة من منظمة (FAO., 2000)، وإعداد طبقة الانحدارات، دليل الرطوبة الطبوغرافيTWI، معامل قوة الأودية SPI والمسافة الرأسية من قيعان الأودية VDSI من بيانات SRTM، وفيما يخص بيانات كمية الأمطار فإنه تم الحصول عليها من هيئة الأرصاد الجوية المصرية، واستخدمت أداة الاستيفاء (SPLINE) لانشاء طبقة رقمية تمثل التوزيع المكاني لكمية الأمطار بحوض الدراسة بدقة (30) مترا بالاعتماد على محطات الرصد الجوي: قنا، سوهاج، سفاجا، والطور (سيناء) للفترة بين (1991-2022)، وتم إسقاط جميع الطبقات باستخدام نظام إحداثيات UTM-WGS 84 36N، وتجهيزها لاتمام التحليلات المكانية فى برنامج Arc GIS لانتاج طبقات المتغيرات لاستكشاف مناطق جديدة محتملة للمياه الجوفية (GWPZs) بمنطقة وادي قنا.

كما اعتمدت الدراسة على نتائج **الزيارات الميدانية** لحوض وادي قنا في الفترة بين شهري يناير ومايو عام 2022م وتم فيها التعرف على بعض أنماط استخدامات وغطاءات الأرض للمساعدة فى عملية إعداد التصنيف باستخدام المرئيات الفضائية، كما تم رصد بعض الآبار وتتبع معدلات انتاجها من المياه الجوفية باستخدام أجهزة قياس وإجراء بعض المقابلات الشخصية، وملاحظة ورصد وقياس لعدد من الظاهرات الطبيعية والتعرف على بعض التكوينات الجيولوجية وخصائصها.

وجاءت الدراسة الحالية تبعًا للمحاور التالية:-

أولا: التمثيل الخلوى للمعايير المكانية وإعادة التصنيف:Raster Parameters

تم تحديد المعايير المكانية التي من شأنها أن تدعم تحليل المناطق المحتملة للمياه الجوفية في حوض وادى قنا فى شكل (15) طبقة رقمية، وتم الإعتماد 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 تم توحيد خرائط المعايير جميعها على مقياس موحد (1 إلى 5) بهدف إجراء المقارنة، وفيما يلى دراسة لهذه المعايير:-

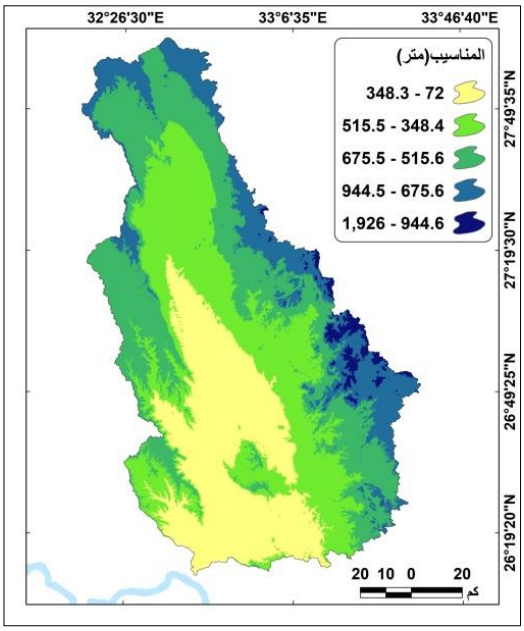
1- ارتفاعات السطح لمنطقة الدراسة:DEM

تم الحصول على ملف DEM بدقة مكانية تبلغ 12.5 مترًا من موقع وكالة الفضاء الأوربية، (تم الحصول عليه في 5 فبراير 2022)، ويعتبر أحد المعطيات المكانية فى تحديد المواقع المحتملة لوجود المياه الجوفية ،حيث يزداد تركز المياه الجوفية فى المواقع الأقل ارتفاعًا عكس المواقع الأكثر ارتفاعًا-شكل (5) ، وتم تصنيف السطح إلى خمس فئات لكل فئة رتبتها وفقًا لمدى ملاءمتها لإمكانات المياه الجوفية وإعادة التغذية، حيث تم تخصيص الوزن المرتفع للأراضى الأقل فى المنسوب وتم تخصيص الوزن المنخفض للأراضى الأعلى منسوبًا.

2- كثافة شبكة التصريف المائي:

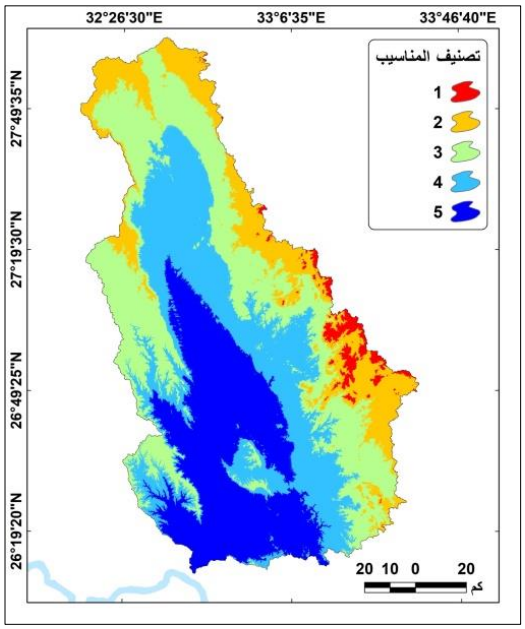
تلعب كثافة التصريف المائى دورًا شديد الأهمية في احتمالية وجود المياه الجوفية،) Ganapuram, S., Kumar, G. T. V., Krishna, I. V. M., Kahya, E. & Demirel, M. C.2009) حيث يسهم القرب من الأودية في جمع أكبر قدر ممكن من المياه السطحية الجارية، خاصة من الفروع إلى المجرى الرئيسي للوادي، وتم إعداد شبكة التصريف المائى لمنطقة الدراسة باستخدام بيانات SRTM-DEM دقة 30 مترًا في ArcGIS باستخدام أداة التحليل المكاني وطريقة ترتيب التدفق -شكل (3) التى تتأثر بشكل كبير بخصائص التكوينات الجيولوجية ,Sreedhar) (G.,2009 وتشير كثافة التصريف المائي (كم/كم^2) عن التقارب أو التباعد فيما بين المجاري المائية، مما يوفر قياسًا كميًا للامتداد النموذجي لمجاري المياه في الحوض بأكمله ;.Singh, P) (Gupta, A.; Singh, M.,2014 ، وللحصول على الطبقة الرقمية لكثافة التصريف المائي بحوض الدراسة، فإنه تم استخدام أداة Kernel Density بأدوات التحليل المكاني فى ArcGIS -شكل(7)، حيث تقوم هذه الأداة بحساب كثافة التصريف عن طريق قسمة امتداد خط التصريف على مساحة مستجمعات المياه المحيطة-.Yeh, H.-F., Cheng, Y.-S., Lin, H.-I. & Lee, C) H.2016) وتمثل كثافة التصريف المرتفعة تسربًا أعلى، وبالتالي تدعم كثيرًا إمكانات المياه الجوفية بحوض التصريف المائي، فى حين تشير كثافة التصريف الأقل إلب تسربًا منخفضا وبالتالي تساعد

بشكل قليل في إمكانات المياه الجوفية، ويشير الشكل(8) إلى طبقة إعادة تصنيف كثافة التصريف المائى لحوض الدراسة، حيث تم تصنيفها إلى (5) فئات لكل فئة رتبتها وفقًا لمدى ملاءمتها لإمكانات المياه الجوفية وإعادة التغذية، حيث تم تخصيص الوزن المرتفع للكثافة المرتفعة والوزن المنخفض للكثافة المنخفضة.



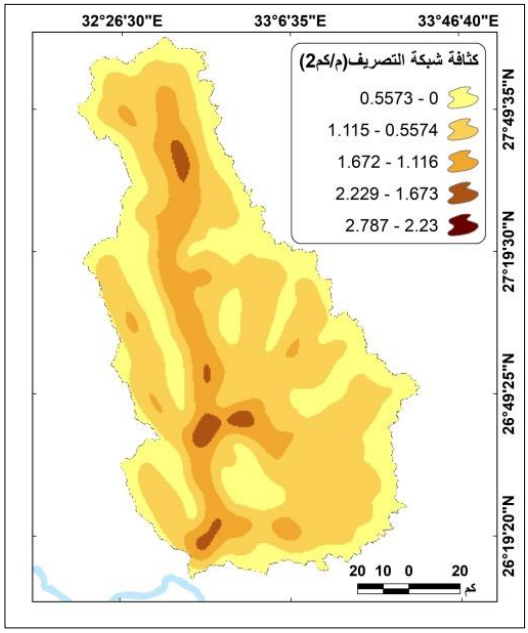
المصدر: موقع USGS واستخدام برنامج Arc GIS .

شكل (5) ملف المناسيب الرقمى لمنطقة الدراسة.



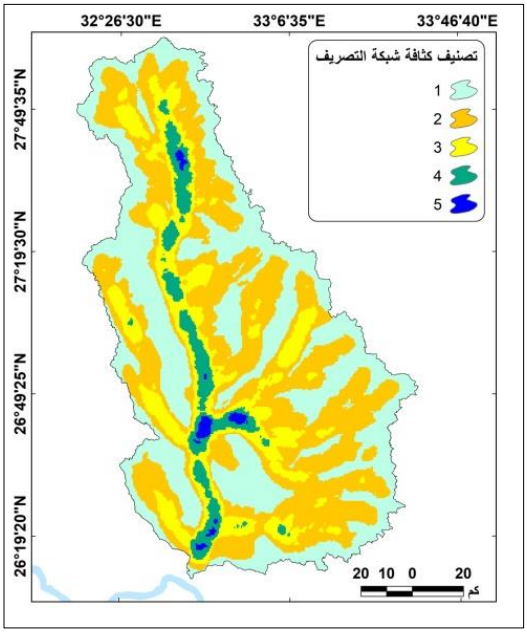
المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف فى Arc GIS.

شكل (6) تصنيف طبقة المناسيب الرقمية لمنطقة الدراسة.



المصدر: استخدام أداة Kernal في برنامج Arc GIS .

شكل (7) كثافة شبكة التصريف المائى بالمنطقة

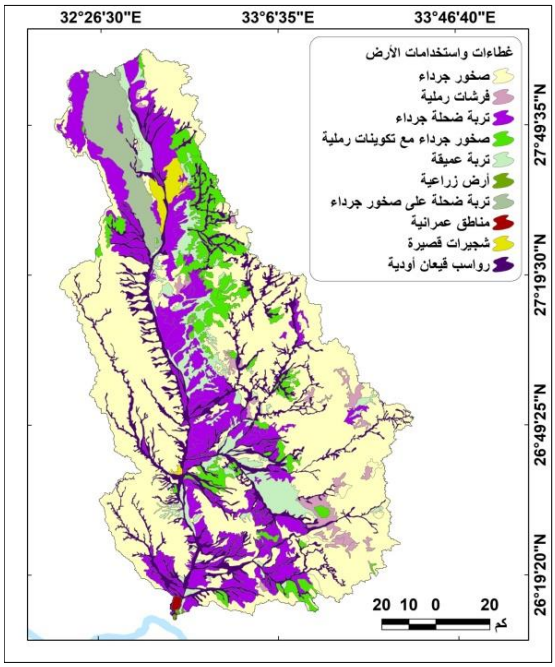


المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(8) تصنيف كثافة شبكة التصريف المائى بالمنطقة.

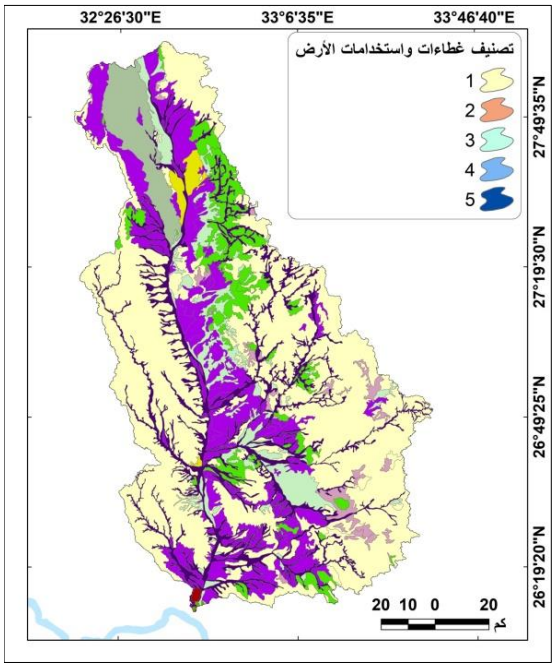
3- استخدامات الأرض والغطاءات الأرضية LULC :

تساعد طبقة LULC فى التعرف على خصائص: التسرب، رطوبة التربة، والمياه السطحية، بالإضافة لاعتبارها مدلول حول امكانات تغذية المياه الجوفية (Yeh, H.-F., Cheng, Y.-S., Lin, H.-I. & Lee, C.-H., 2016)، وتم الحصول على الطبقة الرقمية LULC من تحليل بيانات القمر الإصطناعي الأمريكي من نوع Landsat8 OLI ، واستخدام برنامج (Erdase Imagine) فى تصنيفها بمساعدة أداة إدارة عينة التدريب، والتي تم استخدامها لاختيار الفئات الممثلة لطبقة LULC، تلي ذلك التحقق من دقة التصنيف من خلال 150 نقطة عشوائية تم إسقاطها على Google Earth Professional ومن خلال الطبقة المنتجة لاستخدامات وغطاءات الأرض لحوض وادى قنا تم تحديد (10) فئات تصنيفية تتباين فى خصائصها وتوزيعها الجغرافي – شكل(9) ، وتم إعادة التصنيف لطبقة LULC بما يتوافق مع خصائص منطقة الدراسة من حيث دور كل فئة فى التأثير على تغذية المياه الجوفية؛ لذا تم تعيين الوزن المرتفع لفئات: التربة العميقة، التربة الضحلة، رواسب بطون الأودية والأرض الزراعية ومواقع الشجيرات والأراضي الزراعية. بينما تم تخصيص الوزن المنخفض للأرض العمرانية، الأراضي البور والتكوينات الصخرية المكشوفة – شكل(10).



النصدر : تصنيف المرئيات الفضائية Land SAT- 8 .

شكل(9) الغطاءات الأرضية بمنطقة الدراسة



المصدر : استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامجArc GIS

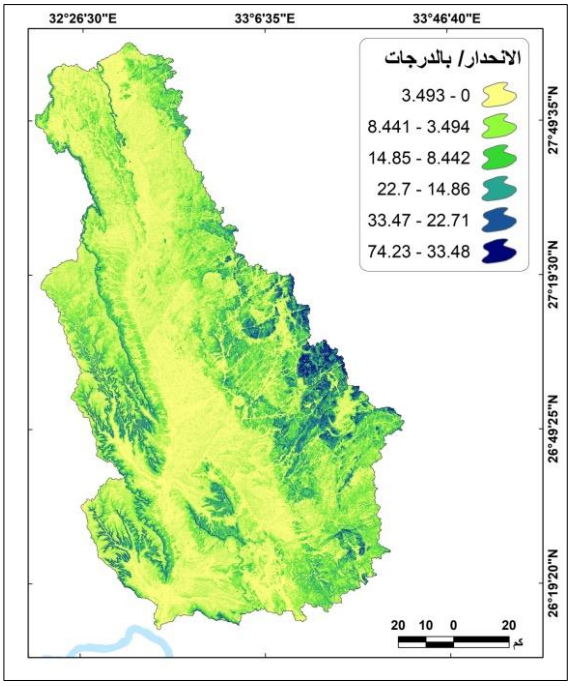
شكل(10) تصنيف طبقة الغطاءات الأرضية بمنطقة الدراسة

4– انحدار السطح:

يعد الاحدار من الخصائص الأرضية المهمة؛ لكونه يوفر معلومات أساسية عن طبيعة العمليات الجيومورفية التي تعمل على المستوى الإقليمي(Riley, S. J.,1999) ، كما يؤثر الانحدار فى 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 يننتج عن المنحدرات الشديدة عملية تغذية للمياه الجوفية بمعدلات أقل؛ لأن المياه الواردة من هطول الأمطار تتدفق سريعًا إلى أسفل المنحدر أثناء هطول الأمطار؛ ولذلك، لا يتوفر وقت كاف للتسرب وإعادة تغذية الخزان الجوفي، وتم اشتقاق طبقة المنحدرات باستخدام أداة Slope الخاصة بأدوات التحليل المكاني من ملف DEM باستخدام برنامج ArcGIS – شكل(11) ، تلي ذلك إعادة تصنيف قيم المنحدرات إلى (5) فئات بما يتماشى مع تصنيفها حسب مدى ملاءمتها لدراسة إمكانات المياه الجوفية بمنطقة الدراسة: أرض مستوية (0– 4.075)، بسيطة الانحدار (4.076 – 10.19)، متوسطة الانحدار (10.2 – 18.63)، شديدة الانحدار (18.64 – 29.98)، جرفي (حاد الانحدار) (29.99 – 74.23)، تلى ذلك تخصيص أوزان أعلى للمنحدرات المستوية والبسيطة. فى حين تم تعيين أوزان منخفضة للمنحدرات الشديدة الانحدار والحادة، شكل(12) .

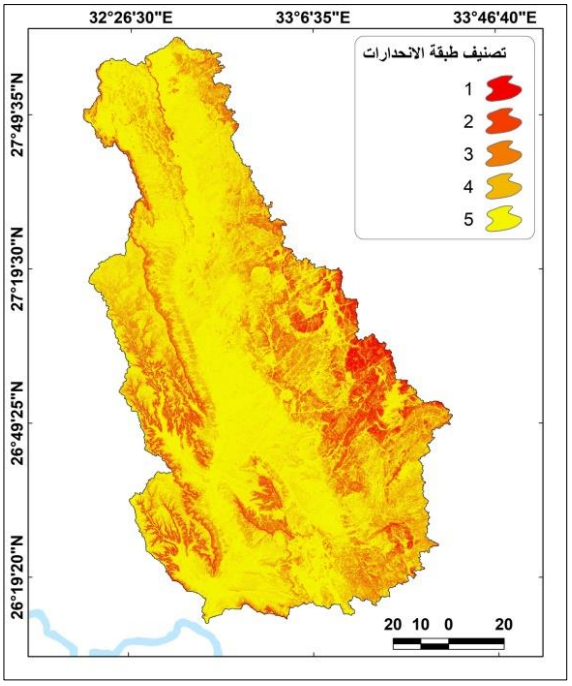
5– كمية الأمطار:

يعتمد التسرب على شدة ومدة هطول الأمطار، حيث ينتج عن الأمطار ذات الكثافة العالية وقصيرة المدة تسرب أقل؛ بينما ينتج عن الأمطار المنخفضة الشدة والمستمرة لفترة طويلة تسرب عالي مقارنة بالجريان السطحي،(brahim–Bathis, K. & Ahmed, S. A) وبالاعتماد على ثلاث محطات للرصد المناخي تابعة لهيئة الأرصاد الجوية المصرية تم الحصول على بيانات كمية الأمطار بمنطقة الدراسة لمدة (28) عامًا (1991–2019) Egyptian Meteorological Authority (EMA),، وبالاعتماد على هذه البيانات تم إعداد خريطة التوزيع المكاني لهطول الأمطار باستخدام طريقة الاستيفاء المكاني Spline فى ArcGIS –شكل (13) ، وتم إعادة التصنيف لخريطة توزيع الأمطار، حيث تم تصنيفها إلى (5) فئات بما يتوافق مع طبيعة البيانات ومنطقة الدراسة، فتم تخصيص الأوزان العالية لفئات هطول الأمطار ذات الكميات الكبيرة، والعكس صحيح –شكل (14).



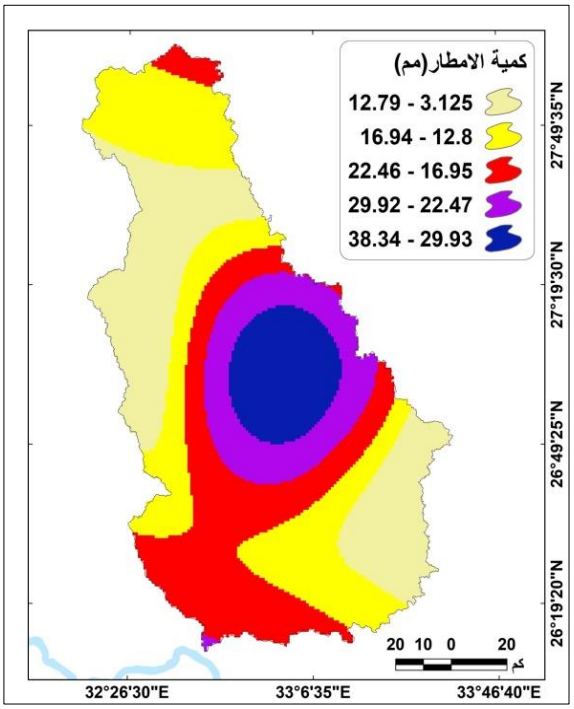
المصدر: نموذج المناسيب الرقمي بدقة 12.5متر.

شكل(11) انحدار السطح بمنطقة الدراسة.



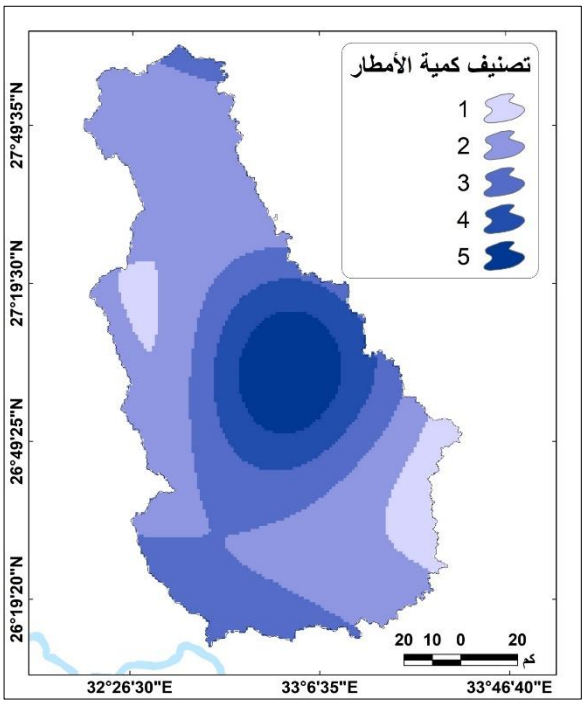
المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(12) تصنيف طبقة الانحدارات بمنطقة الدراسة.



المصدر: هيئة الأرصاد الجوية واستخدام برنامج Arc GIS.

شكل(13) كمية الأمطار السنوية بمنطقة الدراسة.

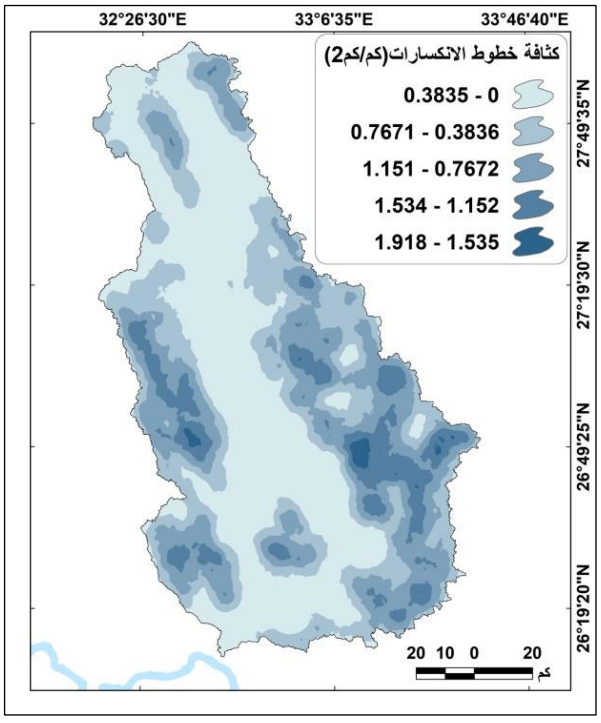


المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(14) تصنيف كمية الامطار السنوية بمنطقة الدراسة.

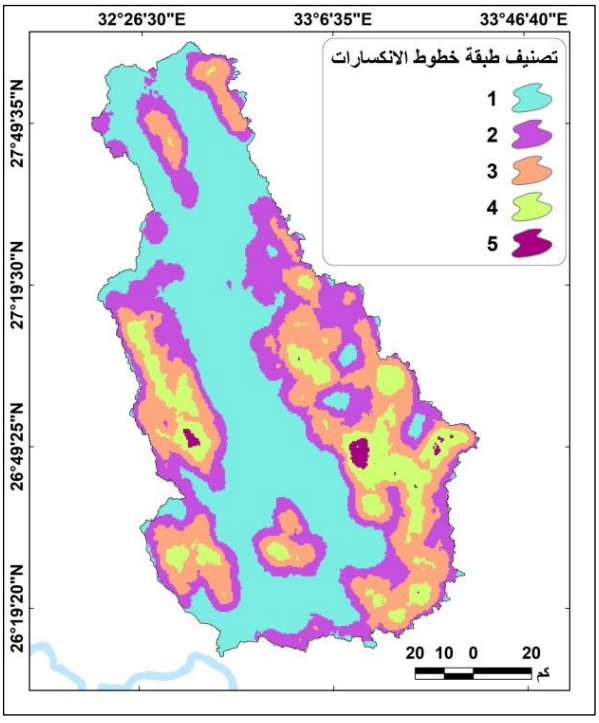
6– كثافة خطوط الفواصل والصدوع:

تشكل هذه الخطوط مناطق التصدع بالتكوينات الصخرية، وينتج عنها زيادة المسامية والنفاذية، وتم استخراج خطوط الصدوع بمنطقة الدراسة من بيانات الأقمار الاصطناعية باستخدام طريقة استخراج الخطوط التلقائية بالاعتماد على برنامج PCI Geomatica، تلي ذلك إعداد خريطة الكثافة لخطوط الانكسارات باستخدام أداة Line Density في برنامج Arc GIS–شكل(15)، ومن خلال فحص القيم التي تم الحصول عليها، تم إعادة تصنيف البيانات إلى (5) فئات: كثافة منخفضة جدًا (0 – 0.3835) كم/كم^2، كثافة منخفضة (0.3836 – 0.7671) كم/كم^2، كثافة متوسطة (0.7672 – 1.151) كم/كم^2، كثافة مرتفعة (1.152 – 1.534) كم/كم^2، وكثافة مرتفعة جدًا (1.535 – 1.918) كم/كم^2، وتلي ذلك تصنيف كثافة الخطوط بناءً على عامل قرب الخطوط مع الأخذ فى 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(16).



المصدر: الخرائط الجيولوجية واستخدام برنامج Arc GIS.

شكل(15) كثافة خطوط الانكسارات بمنطقة الدراسة

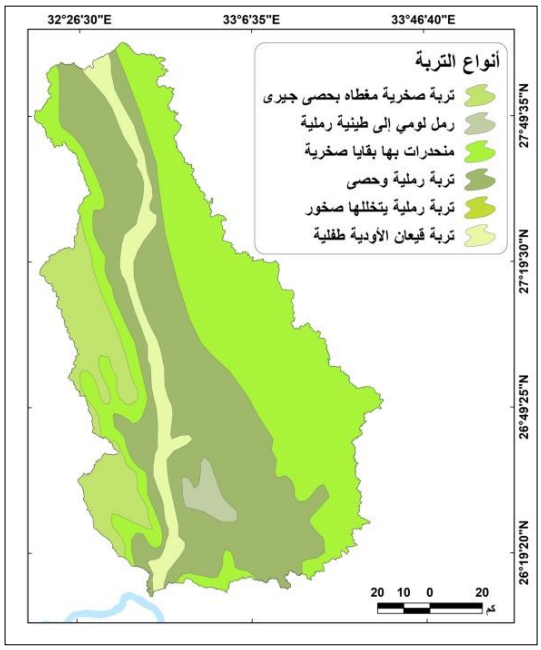


المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(16) تصنيف طبقة الانكسارات بمنطقة الدراسة

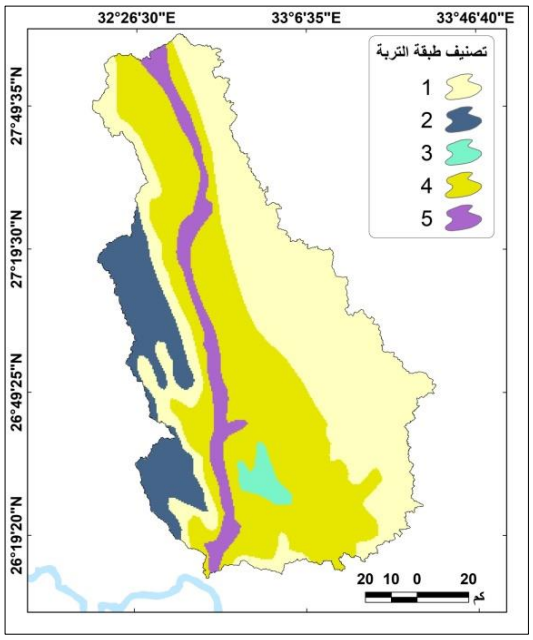
7- أنواع التربة:

تعتبر نوعية التربة عاملا مهمًا 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 الاغذية والزراعة (FAO,2020) واشتملت منطقة الدراسة على (5) مجموعات تتباين فى خصائصها حسب عوامل التكوين والوضع الطبوغرافي والتكوين الجيولوجي- شكل(17)، وتم تحويل خريطة التربة إلى بيانات نقطية باستخدام أداة Raster أحد أدوات التحويل داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية، تلي ذلك إعادة تصنيفها إلى (5) فئات باستخدام أداة إعادة التصنيف الخاصة بأدوات التحليل المكاني وفقًا لرتبتها ومدى ملاءمتها لتغذية المياه الجوفية المحتملة-شكل(18) .



المصدر: منظمة FAO واستخدام برنامج Arc GIS.

شكل(17) أنواع التربة بمنطقة الدراسة.



المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

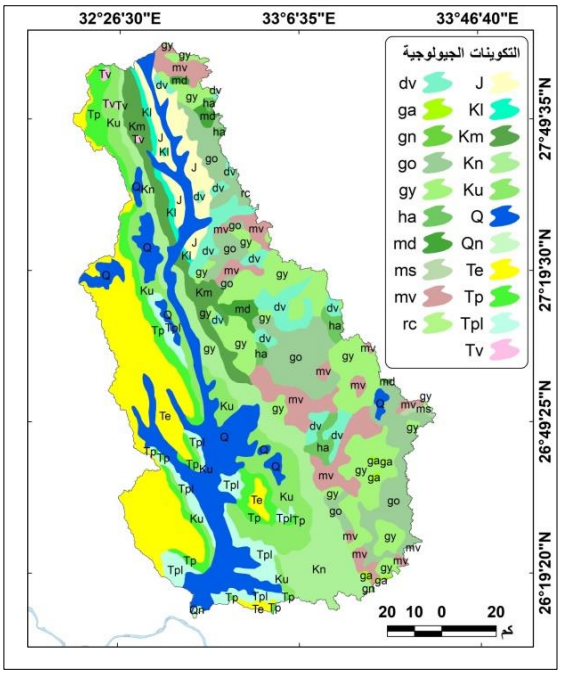
شكل(18) تصنيف طبقة التربة بمنطقة الدراسة.

8- التكوين الجيولوجي لمنطقة الدراسة:

للتكوين الجيولوجي دورًا حيويًا 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) (الهيئة العامة للبترول، مصر، عام 2022م). 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 – شكل(19) ، ويتضح من الخريطة الجيولوجية لمنطقة حوض الدراسة بعض الخصائص، وهي: أن

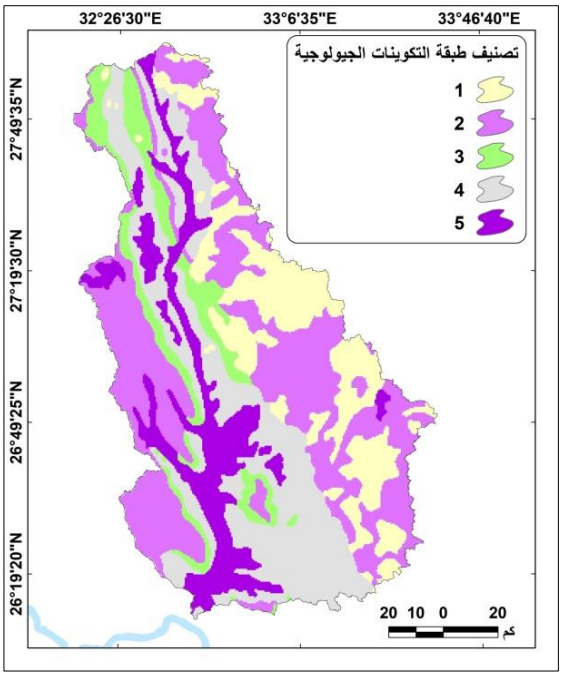
مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- ديسمبر 2023

الغطاء الرسوبي لوادي قنا يمتد من عصر الباليوسين إلى الزمن الرباعي (Said, R., 1960)، كما تقع منطقة الدراسة ضمن التكوينات الجيولوجية لمنطقة البحر الأحمر،وتتكون الوحدات الجيولوجية لمنطقة الدراسة من: تكوين دخان البركانى(Dv)، تكوين صخور الجابرو (ga)، تكوين الحفافيت ما قبل الكمبري(gn) ، صخور الجرانيت ما قبل الكمبري(go)، صخور الجرانيت الحديثة(gy) ، تكوين الحمامات ما قبل الكمبري(ha) ، تكوين العصر الجوراسي(J)، تكوين العصر الطباشيري السفلي(Kl)، تكوينات الباليوسين(Km)، تكوين النوبي(Kn)، صخور الجابرو والدايورايت ماقبل(md)، صخور متحولة ما قبل الكمبري (ms)، صخور بركانية ما قبل الكمبري(mv)، تكوينات الزمن الرابع(Q)، رواسب نيلية(Qn)، تكوين الإيوسين(Te)، تكوينات الميوسين(Tp)، تكوين الباليوسين(Tpl)، صخور مختلطة(Tv).



المصدر : الخرائط الجيولوجية مقياس 1:500000

شكل (19) التكوين الجيولوجي لمنطقة الدراسة



المصدر : استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS .

شكل(20) تصنيف طبقة التكوين الجيولوجي لمنطقة الدراسة

وترتكز تكوينات الحجر الرملي النوبي على مركب صخور القاعدة بعدم توافق فى الأجزاء الوسطى والجنوبية (El Shami, I. Z., 1988.,1988) ما تشكل صخور العصر الباليوسيني والإيوسيني والبليوسيني التلال الواقعة أسفل مجرى الوادي والأجزاء الغربية، فى حين توجد رواسب الزمن الرباعي فى منطقة المروحة الفيضية والمدرجات الرسوبية (Abdel M. Y., Moussa, E. M. Monem, A. A., El-Kalioubi, B. A., Attawiya,

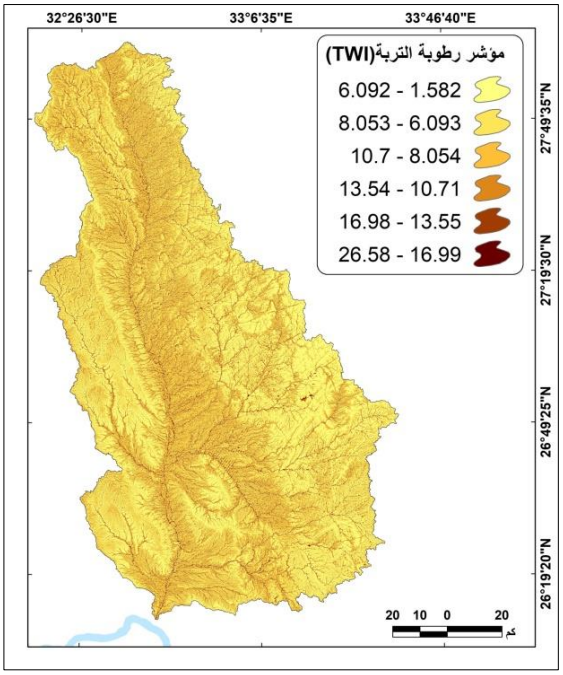
And Ragab, A. A., 2004، ويتمثل تأثير العامل الجيولوجي على احتمالية وجود المياه الجوفية وتغذيتها بمنطقة الدراسة، فإنه تعتبر الصخور الرسوبية أكثر ملاءمة لحركة المياه الجوفية وتخزينها مقارنة بالأنواع الصخرية الأخرى، وتم تصنيف خريطة التكوينات الجيولوجية إلى (5) فئات لكل رتبتها على حسب درجة تأثير كل فئة فى احتمالية المياه الجوفية، وفى ذلك تم استخدام أداة إعادة التصنيف فى برنامج Arc GIS، وتم إنشاء طبقة جديدة– شكل (20).

9–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 المائى 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 تجمع المياه السطحية التى تعتبر أحد مصادر تغذية الخزان الجوفي، فالمنحدرات المستوية والمتوسطة ترتفع بها قيمة مؤشر TWI ، وبالتالي يحتمل أن تزداد مساحة مستجمع المياه، على العكس من ذلك ، فإن المواقع التى 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 (1) واستخدام برنامج SAGA GIS – شكل (21) ، وتبين من خلال الطبقة المنتجة أن قيم مؤشر TWI تتباين جغرافيًا بمنطقة الدراسة، حيث تراوحت بين 1.582 إلى 26.58 ، تلي ذلك إعادة تصنيف قيم TWI إلى (5) فئات تصنيفية بما يتوافق مع طبيعة حوض الدراسة، وفيها تم تخصيص الأوزان العالية لقيم TWI المرتفعة والعكس صحيح – شكل (22).

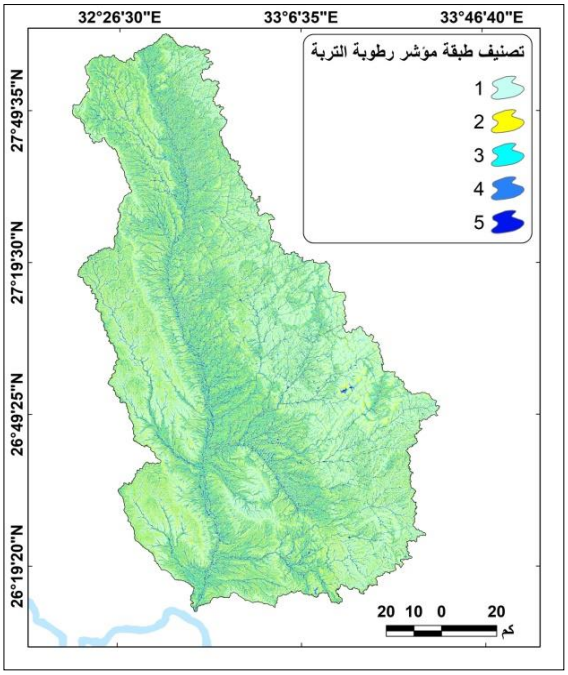
$$TWI = In\left(\frac{(Flowaccmulation + 1) \times Pixlesize^2}{\text{"0.00565"} - \tan\left(Slope(rad)\right)}\right)$$ معادلة.....(1)

kopecký, M., Macek, M., (2021)



المصدر: نموذج المناسيب الرقمى واستخدام برنامج SAGA GIS

شكل(21) مؤشر(TWI) بمنطقة الدراسة.



المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(22) تصنيف طبقة مؤشر (TWI) بمنطقة الدراسة.

10 – دليل الموضع الطبوغرافي Topographic Position Index:(TPI)

تم تطوير هذا المؤشر بواسطة (Riley et al. 1999) ، ويستخدم كدليل طبوغرافي يشير إلى درجة تضرس السطح وتصنيف الظاهرات الطبيعة، 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)، ويعتمد حساب هذا المعامل على مقدار فرق الارتفاع بين الخلايا المجاورة لنموذج المناسيب الرقمي DEM، ويعتمد على حساب الفرق في قيم الارتفاع من خلية مركزية والخلايا الثمانية المجاورة لها مباشرةً، ثم يتم تربيع كل من قيم فرق الارتفاع الثماني لجعلها جميعًا موجبة ، وجمعهما، وتؤخذ قيم الجذر التربيعي، ويتم إجراء هذه العملية الحسابية على مستوى كل خلية من خلايا نموذج المناسيب الرقمي.

ويتم 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، وفي حالة زيادة القيم وتكون موجبة فإنها تدل على ظاهرات مرتفعة المنسوب، مثل: الهضاب والجبال؛ لذا يرتبط التأثير الجيوموفولوجى للعمليات الطبيعية على الظاهرات التضاريسية، مثل: قمم التلال وقيعان الأودية والتلال المكشوفة والسهول

وحركات المنحدرات بمؤشر الموضع الطبوغرافي، وتم اعداد طبقة مؤشر TPI لمنطقة الدراسة من خلال الاعتماد على معادلة (2) وبرنامج SAGA GIS– شكل(23).

معادلة.....(2)

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

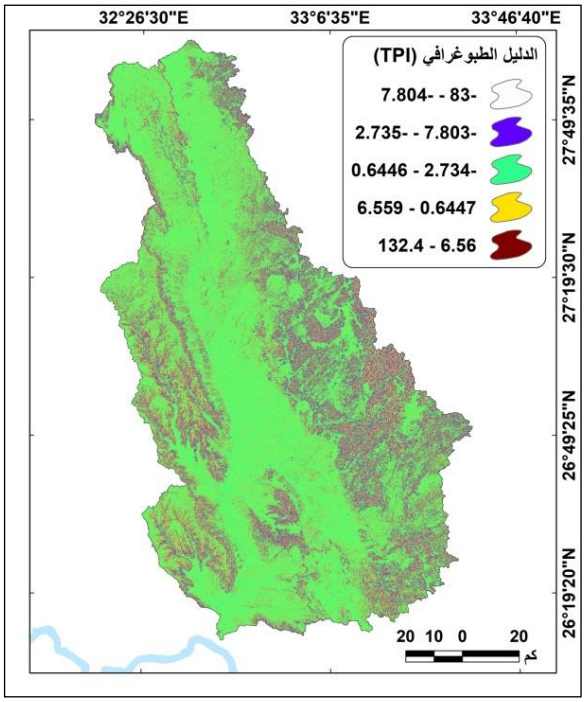
Jenness, J.,2006

M_o = ارتفاع نقطة النموذج قيد التقييم

M_n = ارتفاعات الرستر

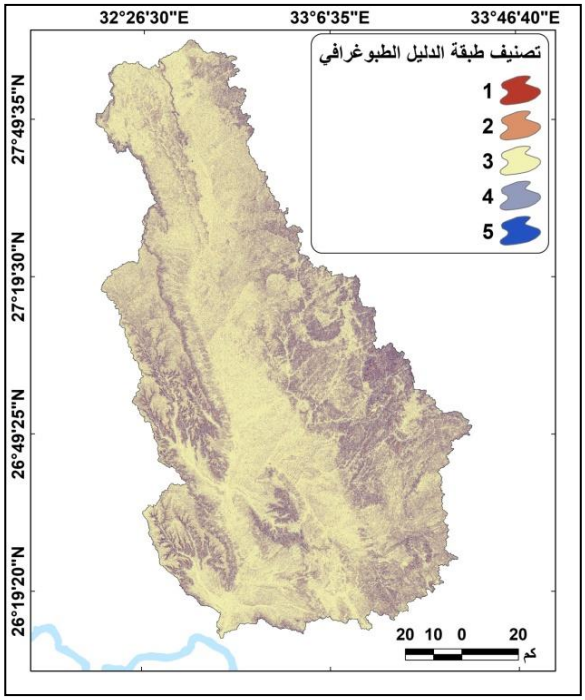
n =عدد النقاط المحيطة المستخدمة في التقييم

ومن خلال الطبقة المنتجة تبين أن قيم مؤشر TPIتتراوح من (−83) إلى (132.4) بحوض الدراسة، وجاءت نتائج قيم TPI متوافقة مع طبيعة حوض الوادى، حيث تشير القيم التى تقترب من صفر إلى سطح شبه مستوى ومستوى، فى حين تشير القيم العليا لمؤشر TPI إلى المناطق المرتفعة، مثل جبال البحر الأحمر شرقي الوادي، وتم إعادة تصنيف طبقة TPI إلى (5) فئات، وفيها تم تخصيص الأوزان المرتفعة لقيم TPI المنخفضة، والعكس صحيح بما يتوافق مع تأثير فئات هذا المؤشر على احتمالية المياه الجوفية– شكل (24).



المصدر: نموذج المناسيب الرقمى واستخدام برنامج SAGA GIS

شكل(24) مؤشر الدليل الطبوغرافي (TPI) بمنطقة الدراسة

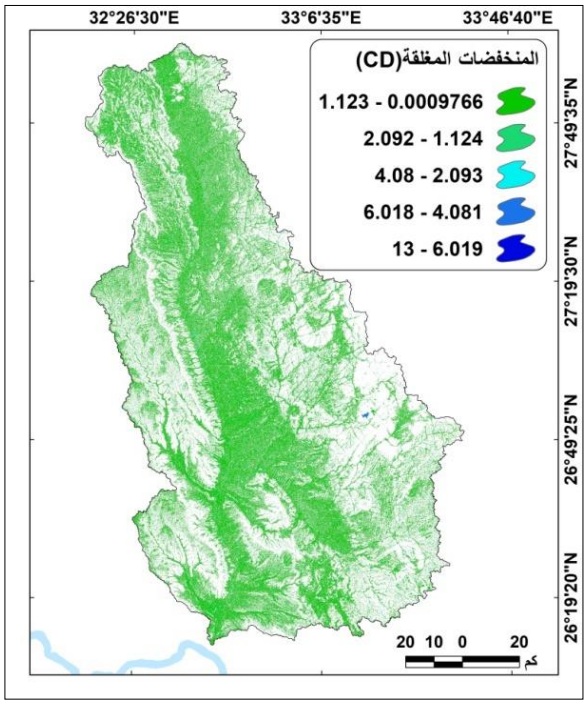


المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(25) تصنيف طبقة مؤشر (TPI) بمنطقة الدراسة

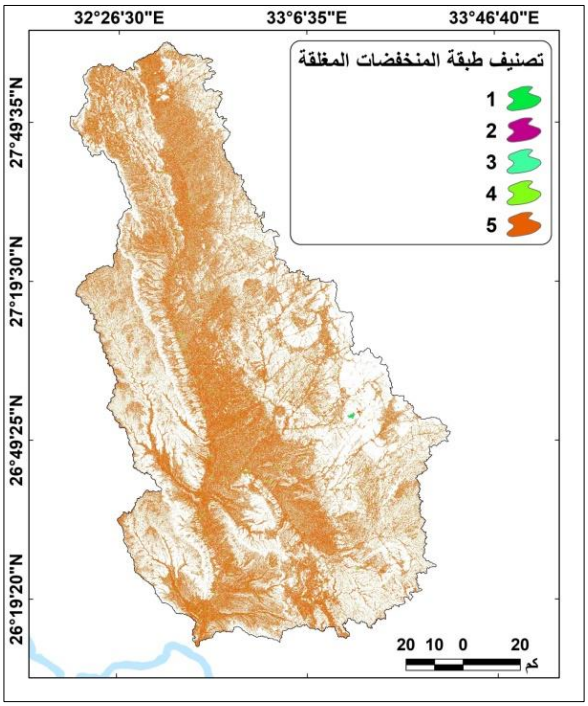
11–المنخفضات المغلقة Closed Depressions

المنخفضات المغلقة أحد الأشكال الطبيعية لسطح الأرض التى تؤثر على إعادة تغذية المياه الجوفية، كما تؤثر في التنوع الجيوموفولوجى 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 شيوعًا فى تكوينها، وخاصة في مواقع التضاريس الكارستية، بسبب قابلية ذوبان الكربونات والجبس والمتبخرات بشكل كبير نسبيًا، يليها عملية الهبوط (Willems, L., Rodet, J., Pouclet, A., Melo, S., Rodet, M. J., Compère, P., & Auler, A. S. ,2008). وتؤثر المنخفضات المغلقة فى احتمالية وجود المياه الجوفية، حيث تتحكم فى تكوين الأراضي الرطبة (Oliveira, E. A., Pires, R. S., Oliveira, R. S., Furtado, V., Herrmann, H. J., & Adrade, J. S., Jr., 2019) ، ولرسم خريطة المنخفضات المغلقة يمكن استخدام خوارزمية وانغ وليو (Wang, L., & Liu, H., 2006) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية في برنامج QGIS ، وفيما يخص منطقة الدراسة فإنه تم تحديد المنخفضات المغلقة باستخدام أداة Closed Depressions فى برنامج SAGA GIS– شكل(26)، وتم إعادة تصنيف طبقة المنخفضات المغلقة بحوض الدراسة، وفيها تم تخصيص الأوزان المرتفعة للقيم التى تقترب من صفر، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل للقيم التى تبتعد عن الصفر– شكل (27).



المصدر: نموذج المناسيب الرقمى واستخدام برنامج SAGA GIS

شكل (26) المنخفضات المغلقة بمنطقة الدراسة

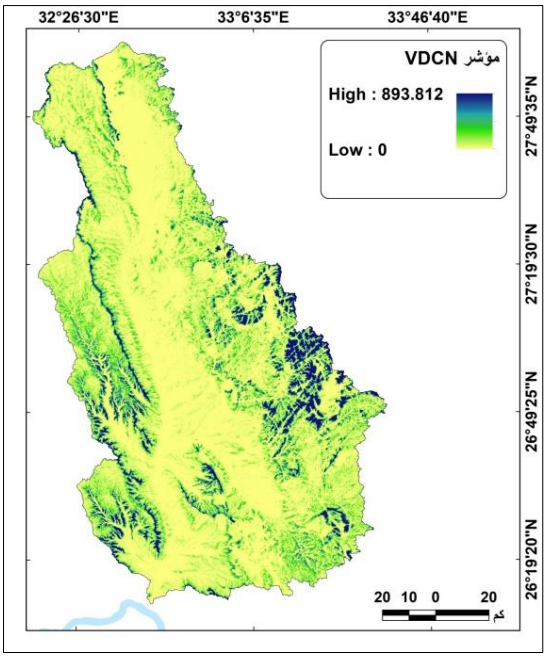


المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل (27) تصنيف طبقة المنخفضات المغلقة بمنطقة الدراسة

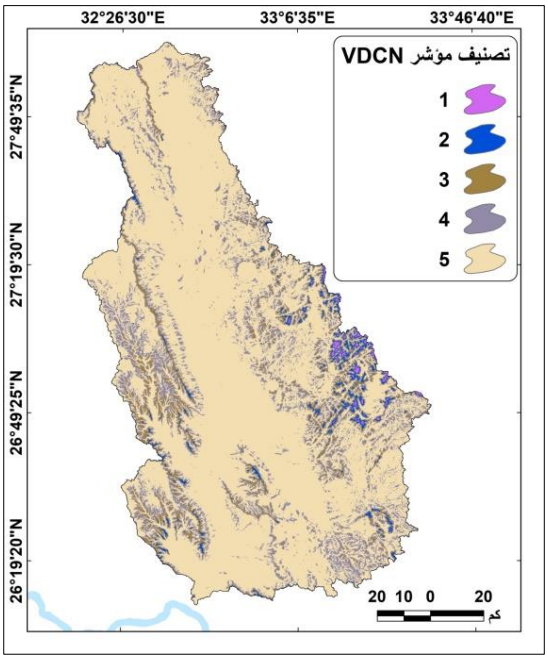
12-مؤشر المسافة العمودية من المجارى المائية: VDCN

يعبر هذا المعامل عن المسافة العمودية بدءًا من قيعان الأودية Vertical Distance to Channel Network، وتم حساب هذا المؤشر وإعداد الطبقة الرقمية الخاصة به، بالاعتماد على بيانات نموذج المناسيب الرقمي (DEM) واستخدام خوارزمية التضاريس VDCN ضمن أدوات Terrain Analysis فى برنامج SAGA GIS- شكل(28)، حيث أتاحت هذه الخوارزمية قياس الارتفاع النسبي للقاعدة النظرية لشبكة القنوات المشتقة من بيانات DEM (Bock, M. & Köthe, R., 2008) حيث تعرض بيانات VDCN توزيعات القنوات التي تتطابق بشكل وثيق مع شبكة القنوات المرئية في الصورة المركبة لبيانات Land sat، وبالتالي تبين مدى التأثير الفعلي لقنوات التصريف المائى فى احتمالية المياه الجوفية؛ لذا تم اختيارها كمحدد من ضمن معايير احتمالية وجود المياه الجوفية، وتشير قيم مؤشر VDCN التى تقترب من الصفر على احتمالية مرتفعة للمياه الجوفية، والعكس صحيح، وتتراوح قيم مؤشر VDCN بمنطقة الدراسة بين (صفر : 893.81)، وتم إعادة تصنيف طبقة VDCN لحوض الدراسة، وتخصيص الأوزان المرتفعة للقيم التى تقترب من صفر، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل للقيم التى تبعد عن الصفر- شكل (29).



المصدر: نموذج المناسيب الرقمى واستخدام برنامج SAGA GIS

شكل (28) مؤشر المسافة العمودية من المجارى المائية



المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل (29) تصنيف طبقة مؤشر المسافة العمودية من المجارى المائية

13-الطبقات الحاملة للمياه الجوفية:

تتوفر المياه الجوفية فى منطقة الدراسة من تكوينات متعددة حاملة للمياه الجوفية، يطلق عليها الخزانات الجوفية، وهذه 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 الكمبري) (Hussien, M. H.,2017) ، وتتحكم الخصائص الهيدروجيولوجية لهذه الطبقات في وجود المياه الجوفية وحركتها وجودتها، وفيما يلى خصائص هذه الطبقات بحوض الدراسة:-

- طبقة المياه الجوفية الرباعية (الخزان الرباعي):

وهي تمثل خزانات المياه الجوفية الواعدة في منطقة الدراسة، وتُعد حاليًا المصدر الرئيسي للمياه المستخدمة من قبل السكان فى حوض وادي قنا، وتقع 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 100متر.

- طبقة الخرسان النوبي (الخزان النوبي)

وهى طبقة رئيسية للمياه الجوفية تتكون من الحجر الرملي مع تداخلات من الطين intercalations، ويتراوح سمك الخزان الجوفى بها من 100 إلى 350 م.

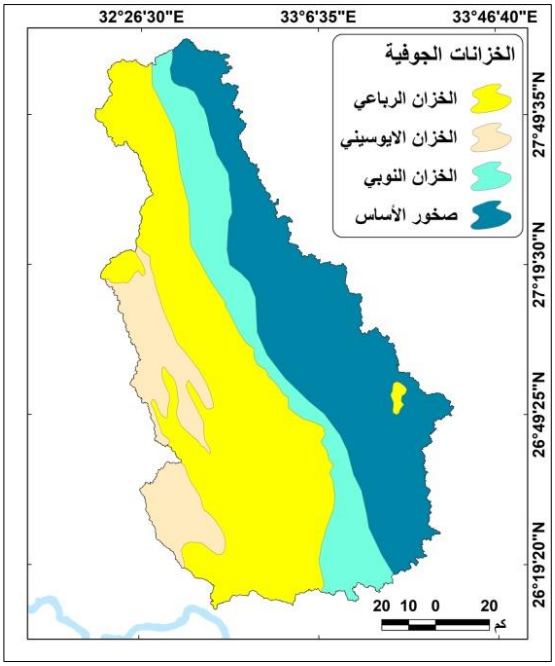
- الخزان الجوفى الإيوسينى:

ويتكون بشكل رئيسي من الحجر الجيري المتكسر fractured limestone والدولوميت مع تداخلات من المارل والجبس، ويتراوح سمك هذا الخزان بين 100 إلى 250م وتشير القياسات لانتاجية الآبار إلى أن هذا الخزان متوسط الإنتاجية.

- طبقة صخور الأساس:

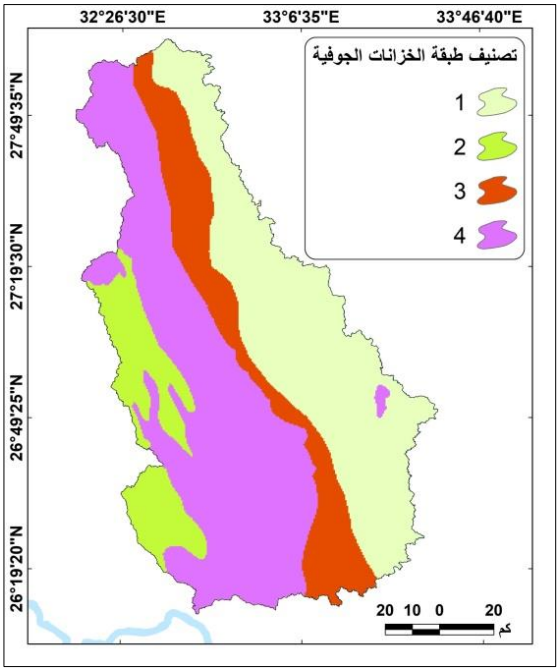
وتتكون من أنواع مختلفة من الصخور النارية، وتحتوي عادة على فواصل وشقوق وتكون ذات أهمية كبيرة لتغذية كافة الخزانات الجوفية الأخرى (إعادة التغذية) في منطقة حوض الوادي، ويعتبر هذا النوع من الصخور بمثابة خزانات للمياه الجوفية بعمق يصل أكثر من 2000 م.

وقد تم إعداد خريطة خزانات المياه الجوفية تبعًا لمشروع المسح الجيولوجى الفنلندي، شكل (30)، وتم إعادة تصنيفها إلى (4) فئات، وتم تخصيص الأوزان المرتفعة للخزان الرباعى والخرسان النوبي، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل لصخور ما قبل الكمبرى والإيوسينى- شكل (31).



المصدر: الخرائط الجيولوجية مقياس 1:500000

شكل(30) طبقات المياه الجوفية بمنطقة الدراسة



المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

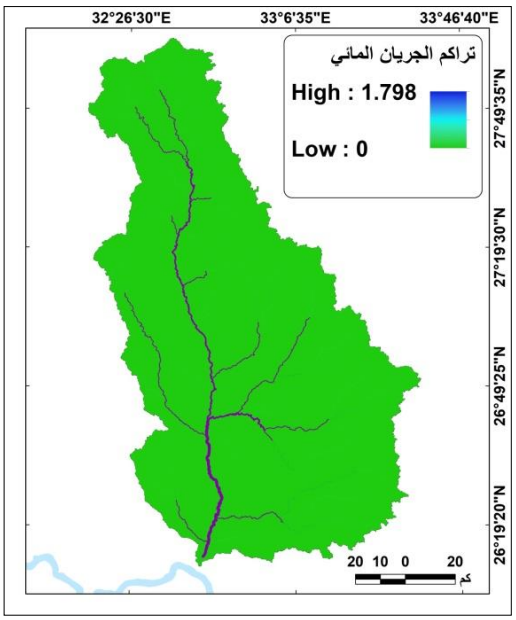
شكل(31) تصنيف طبقات المياه الجوفية بمنطقة الدراسة

14-تراكم الجريان المائي: Flow Accumulation

تُعبر طبقة تراكم الجريان المائى على علاقة نمط التصريف المائي بالتضاريس، كما تحدد اتجاه التدفق، وتم إعداد خريطة تراكم الجريان المائي بالاعتماد على بيانات ملف المناسيب الرقمى واستخدام أداة Flow Accumulation فى برنامج Arc GIS – شكل (32)، وتم إعادة تصنيف الطبقة المنتجة إلى خمس فئات، واعتمد التصنيف على تخصيص الأوزان المرتفعة للخلايا ذات تراكم الجريان المائى المرتفع، في حين تم تخصيص الأوزان الأقل للخلايا ذات تراكم الجريان المائي المنخفض-شكل (33).

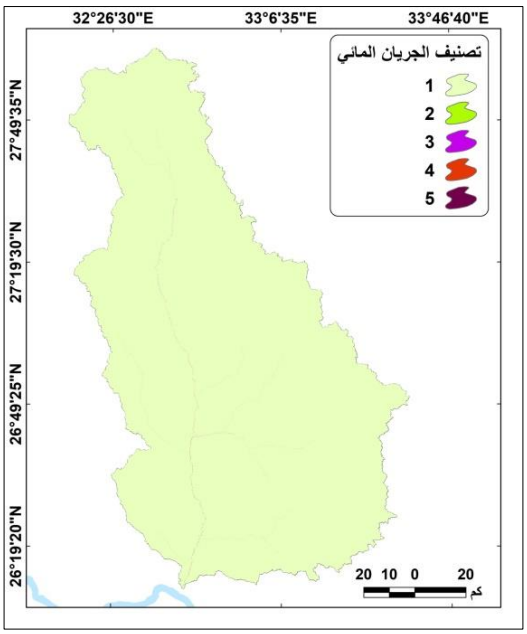
15-المسافة من خطوط التصريف المائى: Dist for Streams

تعتبر خطوط التصريف المائي بمثابة القنوات المائية التى تتبعها مياه الأمطار والسيول على سطح منطقة الدراسة، ومن المتفق عليه أنه كلما اقتربنا من تلك الخطوط تزداد كمية مياه الجريان المائي فى ظل توافر العوامل الأخرى من مياه الأمطار وغيرها من العوامل، مما يترتب عليه زيادة فى عمليات التسرب ومن ثم تغذية طبقات المياه الجوفية تحت السطح، وتم إنشاء طبقة المسافات من خطوط التصريف المائى باستخدام أداة المسافة الإقليدية Euclidean Distance فى برنامج Arc GIS ، وتم تصنيفها إلى خمس فئات بما يتوافق مع طبيعة سطح منطقة الدراسة وتحليل إمكانات المحتملة للمياه الجوفية -شكل(34)، وتلي ذلك تخصيص الأوزان المرتفعة للفئات الأقرب للمجارى المائية وتخصيص الأوزان الأقل للفئات التى تبعد عن امتداد المجارى المائية- شكل(35).



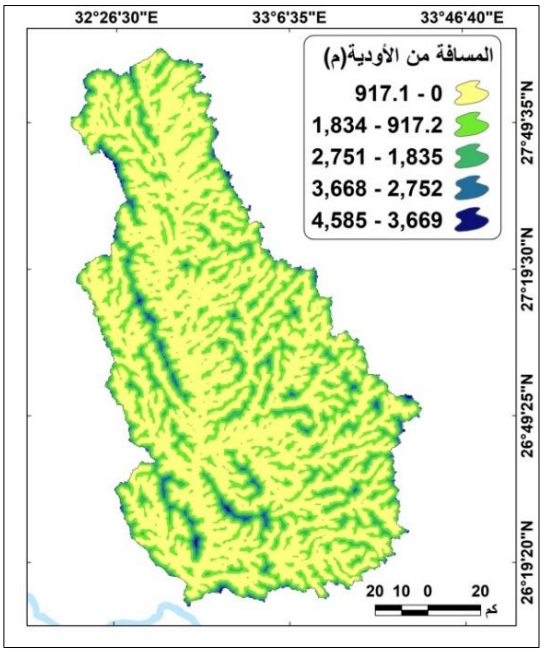
المصدر: استخدام التحليل الهيدرلوجي فى برنامج Arc GIS.

شكل(32) طبقة تراكم الجريان المائي بمنطقة الدراسة



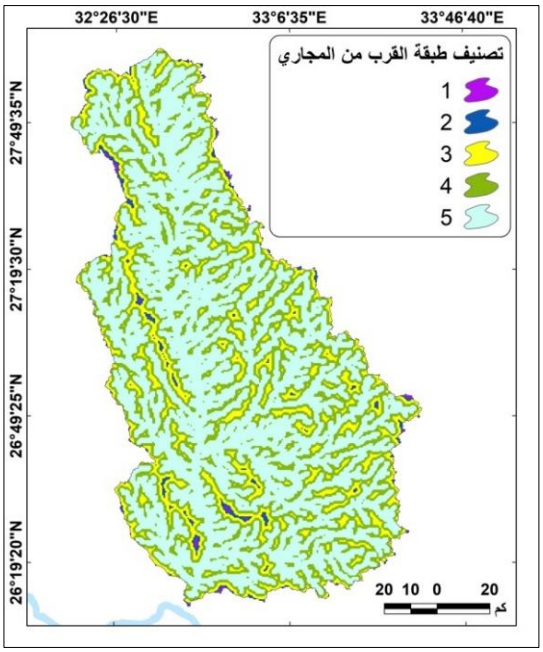
المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل(33) تصنيف طبقة تراكم الجريان المائي بمنطقة



المصدر: نموذج المناسيب الرقمى واستخدام برنامج SAGA GIS

شكل (34) المسافة بالنسبة لخطوط التصريف المائي



المصدر: استخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS.

شكل (35) تصنيف طبقة المسافة بالنسبة لخطوط التصريف المائي

ثانيا: تحليل البيانات والمناقشة:

لانتاج الخريطة المحتملة للمياه الجوفية بحوض الدراسة تم تطبيق طريقة التحليل الهرمي AHP على المعايير التى تم تحديدها وتصنيفها مسبقًا والنمذجة فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية، كما يلي:

1- عملية التحليل الهرمي لتحديد الأوزان: (AHP)

تعرف هذه العملية بأنها منهجية متعددة المعايير وضعها الساعاتى عام 1990 ,Saaty) (T.L.,1990، لتطبيقها فى دعم اتخاذ القرار، حيث تمكن المستخدم من الوصول إلى العوامل الأكثر تأثيرا (Das, S.; Pardeshi, S.D.2018)، ومؤخرا أدخلت عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) فى رسم خرائط إمكانات المياه الجوفية بناءً على معايير يتم تحديدها، ووفقًا لطبيعة منطقة الدراسة تم تحديد (15) معيار تعبر عن جميع خصائص حوض التصريف المائي (سبق الإشار اليهما)، وتتحكم هذه المعايير في عامل تدفق وتخزين المياه الجوفية في حوض الدراسة، وتم ترجيح ارتباط هذه العوامل المؤثرة وفقًا لتفاعلها مع حدوث المياه الجوفية وآراء الخبراء، وتبعا لتحليل(AHP) توضح المعطيات المكانية ذات الوزن المرتفع التأثير العالي فى تحديد احتمالية المياه الجوفية، والعكس صحيح، وتم تعيين أوزان كل متغير وفقًا لمقياس الساعاتي (Saaty, T. L.,1990) للأهمية النسبية وفيه تتراوح الأوزان بين (1) للأهمية البسيطة و(9) للأهمية المطلقة، جدول(1) .

جدول(1) المقياس الأساسي للمقارنات الزوجية

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

المصدر: Saaty Scale (2008)

وتم ترتيب جميع المعطيات المكانية بشكل منطقي في ورقة Excel الخاصة بتحليل AHP فى منصة AHP online المخصصة لتحليل AHP، واعتمد الترتيب بشكل أساسي على درجة الملاءمة وأهمية المعطيات المكانية لإمكانات المياه الجوفية ومساهمتها فى منطقة التغذية مع الأخذ في الاعتبار مراجعة الدراسات السابقة والاختبارات الميدانية؛ وبناء على ذلك، تمت مقارنة طبقات جميع المعطيات المكانية مع بعضها البعض في مصفوفة المقارنة الزوجية تبعًا لمقياس من 1 إلى 9، وفقًا لتأثيرها النسبي على تنمية المياه الجوفية، ويتضح ذلك فى جدول(2).

جدول (2) مصفوفة المقارنة الزوجية للمعايير المدخلة فى عملية التسلسل الهرمي.

المعايير	التكوينات الجيولوجية	الانحدار	كثافة التصريف	البعد من المجاري	المناسيب	كثافة الانكسارات	كمية الأمطار	الخزانات الجوفية	البعد الرأسي من المجارى	غطاءات واستخدامات الأرض	تراكم الجريان المائي	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
الخزانات الجوفية	1/6	1/4	1/4	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
البعد الرأسي 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 المائي	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

جدول (3) نتائج نسبة الاتساقConsistency Ratio بالتحليل الهرمي.

المعطيات المكانية	التكوينات الجيولوجية	الانحدار	كثافة التصريف	البعد من المجاري	المناسيب	كثافة الانكسارات	كمية الأمطار	الخزانات الجوفية	البعد الرأسي من المجارى	غطاءات واستخدامات الأرض	تراكم الجريان المائي	التربة	المنخفضات المغلقة	مؤشر رطوبة التربة	مؤشر الطبوغرافيا	مجموع الاوزان	المتوسط	عدد المعايير	الأهمية النسبية %
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
الانحدار	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 المجاري	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
الخزانات 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 الرأسي 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 المائي	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

المصدر: التحليل الهرمي لطبقات المعطيات المكانية.

ولحساب نسبة الاتساق consistency ratio (CR) لتقييم التماسك بين المعايير فى مصفوفة المقارنة الزوجية؛ فإنه تم حساب القيمة الذاتية الرئيسية لمصفوفة الأحكام Principal Eigen – Eigen value جدول (2) و (3) وتم حساب مؤشر الاتساق Consistency Index(CI) من خلال المعادلات التالية:–

معادلة رقم.....(3) $CR = CI/RCI$

ولاستخراج مؤشر الاتساق (CI) تم تطبيق المعادلة (4)

معادلة رقم .....(4) $$\mathrm{CI} = \frac{\lambda max - n}{n-1}$$

$$\lambda \max = 225/15 = 15$$

حيث تشير n إلى عدد المعايير المدخلة فى التحليل.

λmax = المجموع العامودى للمعيار فى المقارنة الزوجية

λmax = (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

λmax = 15.1202

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

$CI = 0.008$

واستنادًا إلى معادلة حساب نسبة الاتساق Consistency Ratio (CR) من خلال المعادلة (3)، فإنه تم استخراج مؤشر الثبات العشوائي Random consistency Index value (RCI) من جدول الساعاتى، 2008، الذي يعتمد على عدد المعايير المستخدمة، ونظرًا لاعتماد الدراسة على (15) معيار فإن قيمة (RCI) هو (1.58) كما هو موضح فى جدول (4).

جدول (4) مؤشر الثبات العشوائي(Random Index (RCI

.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RCI	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															
Saaty, T. L., 1990															

CR = CI/RCI

CR = 0.008/1.58

CR = 0.0054

وتم الحصول على قيمة نسبة الاتساق الخاصة بالتحليل الهرمي للمعايير المكانية، وقد بلغت (0.0054) ولم تتعدى الحد الأقصى لقيمة التحليل الهرمي، حيث عندما تكون قيمة CR تساوى 0.10 أو أقل فإنه يؤخذ بالنتائج ويتم اعتمادها ومواصلة التحليل، أما إذا كانت قيمة الاتساق أكبر

من 0.10، فهناك حاجة إلى مراجعة الأحكام لتحديد أسباب عدم الاتساق وتصحيحه وفقًا لذلك، وإذا كانت قيمة CR تساوى (صفر)؛ فهذا يعني وجود مستوى مثاليًا من الاتساق في المقارنة الزوجية بين المعطيات المكانية، لكنه يفضل أن لا تتجاوز قيمة الاتساق 0.1، مما يعني أن مصفوفة الأحكام متسقة بشكل معقول.

2- التراكب الموزون للمعطيات المكانية:Weighted Overlay Analysis

لاعداد تحليل التراكب(المرجح) الموزونweighted overlay لطبقات المعايير المكانية استنادًا على التحليل الهرمي، فإنه تم إعطاء الرتب rank لجميع الفئات التصنيفية لطبقات المعايير المكانية باستخدام أداة إعادة التصنيف في برنامج Arc GIS، 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 (1-2-3-4 و5) ، ويشير الرقم (1) إلى تأثير منخفض جدا، الرقم (2) يشير لتأثير منخفض، الرقم (3) يشير لتأثير متوسط، الرقم (4) يشير لتأثير مرتفع في حين يشير الرقم (5) إلى تأثير مرتفع جدا، وذلك بالتوافق مع إمكانية مساهمة كل فئة فى التأثير على المياه الجوفية المحتملة- جدول(5)، ويكمن الغرض في الحصول على جميع أوزان كل المعايير المساهمة لانتاج خريطة الامكانات المحتملة للمياه الجوفية بالاعتماد على المدخلات لجميع الطبقات التى أعيد تصنيفها على مقياس موحد (1 : 5)، وباستخدام أداة Weighted Overlay تم دمج جميع طبقات المعايير المكانية بطريقة تحليل التراكب الموزون في برنامج Arc GIS باستخدام المعادلة (5)، وتم الحصول على خريطة إمكانات المياه الجوفية المحتملة من خلال إعادة تصنيف وترجيح وتصنيف (15) عامل مؤثر على إمكانات المياه الجوفية بمنطقة الدراسة في ArcGIS ، كما هو موضح في الجدول (5) .

$$\mathrm{GWPZ} = \sum_{i}^{n} (X_A \times Y_B)$$ معادلة رقم .....(5)

حيث GWPZ = المنطقة المحتملة للمياه الجوفية، وتمثل X وزن طبقات المعطيات المكانية؛ Y تمثل رتبة الفئة الفرعية لنفس طبقات المعطيات المكانية .

جدول (5) تصنيف العوامل المؤثرة على مناطق المياه الجوفية المحتملة بمنطقة الدراسة.

م	المعطيات المكانية	الفئات التصنيفية	رتبة التصنيف (Rank)	الأهمية النسبية %	ترتيب الأوزان
1	التكوينات الجيولوجية	dv-ga-gn-gy-ms-rc-Tv-	منخفض جدًا	23.17739	1
		go-ha-Kl-Te-md-mv	منخفض		2
		Km-Tp	متوسط		3
		J-Kn-Ku-Qn-Tpl	مرتفع		4

		Q	مرتفع جدا		5
2	الانحدار	29.99 - 74.23	منخفض جدًا	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 جدا		1
3	كثافة التصريف	0 - 0.5573	منخفض جدًا	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 جدا		5
4	المسافة من المجاري	0 - 917.1	منخفض جدًا	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 جدا		5
5	المناسيب	944.6 - 1,926	منخفض جدًا	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 جدا		5
6	كثافة الانكسارات	0 - 0.3835	منخفض جدًا	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 جدا		5
7	كمية الأمطار	3.125 - 12.79	منخفض جدًا	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 جدا		5
8	الخزانات الجوفية	صخور الأساس	منخفض	3.85567	1
		الخزان النوبي	متوسط		4
		الخزان الأيوسينى	مرتفع		2
		الخزان الرباعي	مرتفع جدا		5
9	البعد الرأسي من المجارى	308.46 - 893.81	منخفض جدًا	3.85567	1
		154.24 - 308.45	منخفض		2
		70.104 - 154.23	متوسط		3
		21.032 - 70.103	مرتفع		4
		0 - 21.031	مرتفع جدا		5
10	غطاءات واستخدامات الأرض	صخور جرداء	منخفض جدًا	3.85567	1
		مناطق عمرانية	منخفض		2
		صخور جرداء مع تكوينات رملية	متوسط		3

3		متوسط	تربة ضحلة على صخور جرداء		
4		مرتفع	فرشات رملية		
5		مرتفع جدا	تربة ضحلة جرداء		
5		مرتفع جدا	أرض زراعية		
5		مرتفع جدا	شجيرات قصيرة		
5		مرتفع جدا	رواسب قيعان الاودية		
5		مرتفع جدا	تربة عميقة		
1	3.85567	منخفض جدًا	0 - 564,000	تراكم الجريان المائي	11
2		منخفض	565,000 - 2,540,000		
3		متوسط	2,550,000 - 5,150,000		
4		مرتفع	5,160,000 - 7,550,000		
5		مرتفع جدا	7,560,000 - 18,000,000		
1	3.85567	منخفض جدًا	تربة مغطاة بحصى جيرى	التربة	12
1		منخفض جدًا	تربة منحدرات يتخلله بقايا صخرية		
2		منخفض	تربة جيرية		
3		متوسط	رمل لومى إلى طينية رملية		
4		مرتفع	تربة رملية يتخللها حصى صخري		
5		مرتفع جدا	تربة قيعان الأودية		
1	2.07608	منخفض جدًا	6.0181 - 13.004	المنخفضات المغلقة	13
2		منخفض	4.0804 - 6.018		
3		متوسط	2.0917 - 4.0803		
4		مرتفع	1.1229 - 2.0916		
5		مرتفع جدا	0.0009 - 1.1228		
1	2.07608	منخفض جدًا	1.582 - 6.288	مؤشر رطوبة التربة	14
2		منخفض	6.289 - 8.641		
3		متوسط	8.642 - 11.78		
4		مرتفع	11.79 - 15.7		
5		مرتفع جدا	15.71 - 26.58		
1	2.07608	منخفض جدًا	6.56 - 132.4	مؤشر الطبوغرافيا	15
2		منخفض	0.6447 - 6.559		
3		متوسط	-3.3786		
4		مرتفع	-5.068		
5		مرتفع جدا	-75.196		

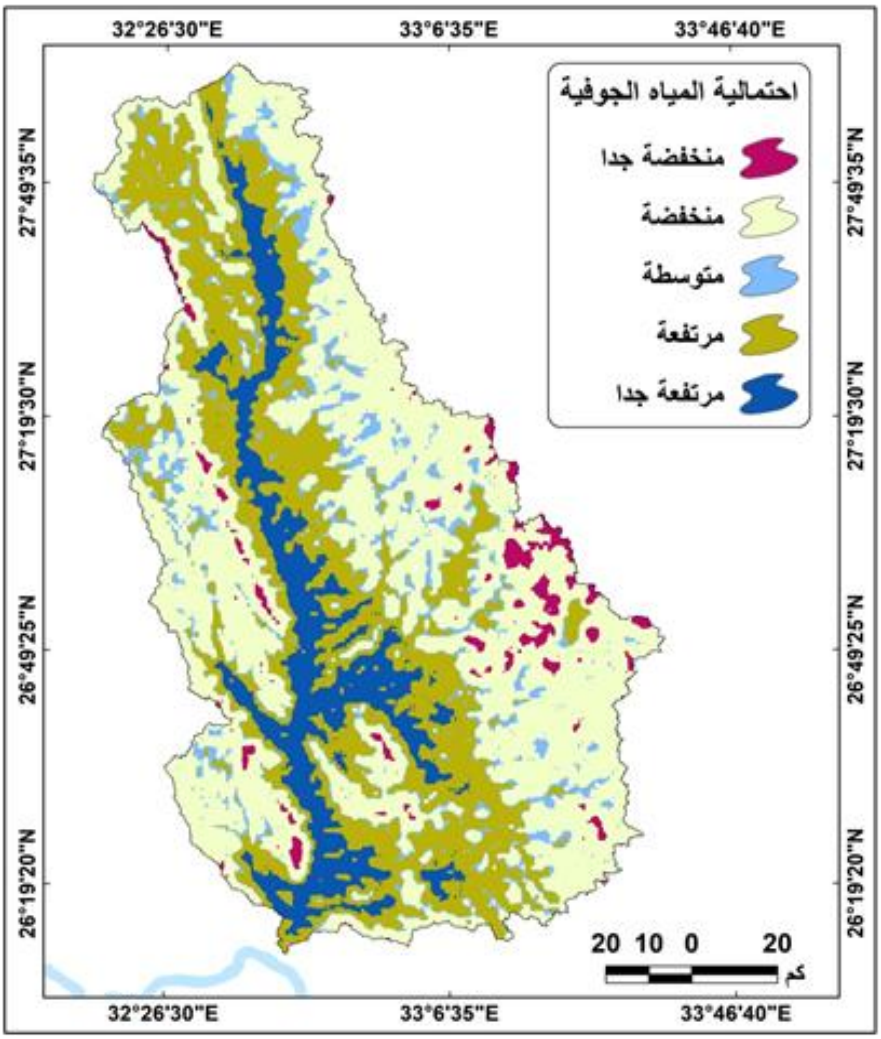
المصدر: تصنيف طبقات المعطيات المكانية باستخدام برنامج Arc GIS والتحليل الهرمي.

3- تحليل الخريطة المنتجة للمياه الجوفية المحتملة: GWPZs

تكشف تحليلات المعايير المكانية لتحديد امكانات المياه الجوفية لحوض الدراسة أن المياه الجوفية تتركز فى مواقع الخزان الرباعي والخرسان النوبي، بالتالي هناك حاجة إلى تقييم مفصل ودقيق لموارد المياه الجوفية، والمعايير التي يتم الاعتماد عليها فى دراسة المياه الجوفية، وتم تطبيق طريقة التراكب

الموزون للتعرف على مناطق المياه الجوفية المحتملة في حوض وادى قنا، وتنقسم الخريطة الناتجة إلى مناطق ذات احتمالية عالية جدًا، وعالية، ومتوسطة، ومنخفضة، ومنخفضة جدًا للمياه الجوفية.

من خلال شكل (36) يتضح أن نتائج الدراسة تتفق جيدًا مع الناحية الهيدرولوجية للتدفق في حوض وادي قنا، وتبين أن اتجاه تدفق المياه الجوفية بالحوض يتجه نحو الجنوب والجنوب الغربي.



المصدر: التحليل الهرمي والنمذجة باستخدام برنامج Arc GIS .

شكل (36) إمكانات المياه الجوفية المحتملة في منطقة الدراسة.

جدول(6) الفئات المساحية للمياه الجوفية المحتملة بحوض وادي قنا.

م	درجة الأهمية المحتملة	المساحة/ كم^2	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	–	15588.83	100

المصدر: تحليل النمذجة للمعطيات المكانية فى برنامج Arc GIS .

ويتضح من الخريطة المنتجة لامكانات المياه الجوفية المحتملة لحوض وادي قنا– شكل(36) التباين الجغرافي 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 الدرسة، وتم تصنيف الطبقة الرقمية لمناطق إمكانات المياه الجوفية المحتملة إلى (5) فئات: منخفضة جدًا، منخفضة، معتدلة، مرتفعة، ومرتفعة جدًا ، وهى كما يلى:-

- الفئة الأولى (إمكانات المياه الجوفية المرتفعة جدًا): تضم مساحة نحو 1833.17 كم^2 من إجمالى مساحة منطقة الدراسة بنسبة 11.75٪ ، وهذا يجعل لمنطقة الدراسة إمكانات كبيرة فى تعزيز الإستفادة من موارد المياه الجوفية، وتتوزع هذه الفئة جغرافيًا في المناطق الوسطى بالحوض المنخفضة المنسوب وذات الانحدار المنخفضة والتكوينات الصخرية المنفذة للمياه.
- الفئة الثانية (إمكانات المياه الجوفية المرتفعة): بلغت مساحة فئة الملاءمة المرتفعة لاحتمالية وجود المياه الجوفية بمنطقة الدراسة نحو 4568.45 كم^2 بنسبة 29.30% من إجمالى المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وتضم المناطق التى تحيط بالفئة الأولى وتشمل المواقع المتوسطة الانحدار وذات التكوينات الصخرية المنفذة للمياه.
- الفئة الثالثة (إمكانات المياه الجوفية المتوسطة): تصل مساحة هذه الفئة بمنطقة الدراسة نحو 1382.55كم^2 بنسبة 8.86% من إجمالى مساحة المنطقة، وتشمل المواقع ذات التكوينات الصخرية متوسطة النفاذية والمنحدرات المتوسطة الانحدار .
- الفئة الرابعة (إمكانات المياه الجوفية المنخفضة): تصل مساحة المواقع ذات الملائمة المنخفضة لاحتمالية وجود المياه الجوفية بمنطقة الدراسة نحو 7413.97كم^2 بنسبة 47.55% من إجمالى مساحة المنطقة، وتتوزع جغرافيًا بشرقى وغربي منطقة الدراسة.

- الفئة الخامسة (إمكانات المياه الجوفية المنخفضة جدا): وتبلغ مساحتها نحو 390.67كم^2 بنسبة 2.50% من إجمالى مساحة المنطقة، وتتركز في الجنوب الشرقى بمنطقة الدراسة فى مواقع التكوينات الصخرية المنخفضة النفاذية والشديدة الانحدار.

ومن خلال هذا العرض يتضح مدى إمكانية التوسع نحو الإستفادة من المياه الجوفية فى منطقة الدراسة لتعزيز المساهمة فى تلبية الإحتياجات المائية فى الشرب والزراعة، خاصة أن منطقة الدراسة تشهد تنمية زراعية وعمرانية فى منطقة المراوح الفيضية ووسط المنطقة، حيث يتم الاعتماد بشكل كبير على الطاقة الشمسية فى عملية رفع المياه الجوفية من الآبار لاستخدامها فى المجالات الزراعية والشرب- صورة (2)، كما تساعد بعض العوامل الجغرافية على التنمية المكانية لمنطقة الدراسة ومنها موقعها المتوسط بين محافظات: قنا، سوهاج، وأسيوط ومحافظة البحر الأحمر الساحلية، كما يمر بها طرق رئيسة، مثل: طريق قنا/سفاجا، وطريق قنا/ القصير، وطريق قنا/ القاهرة.

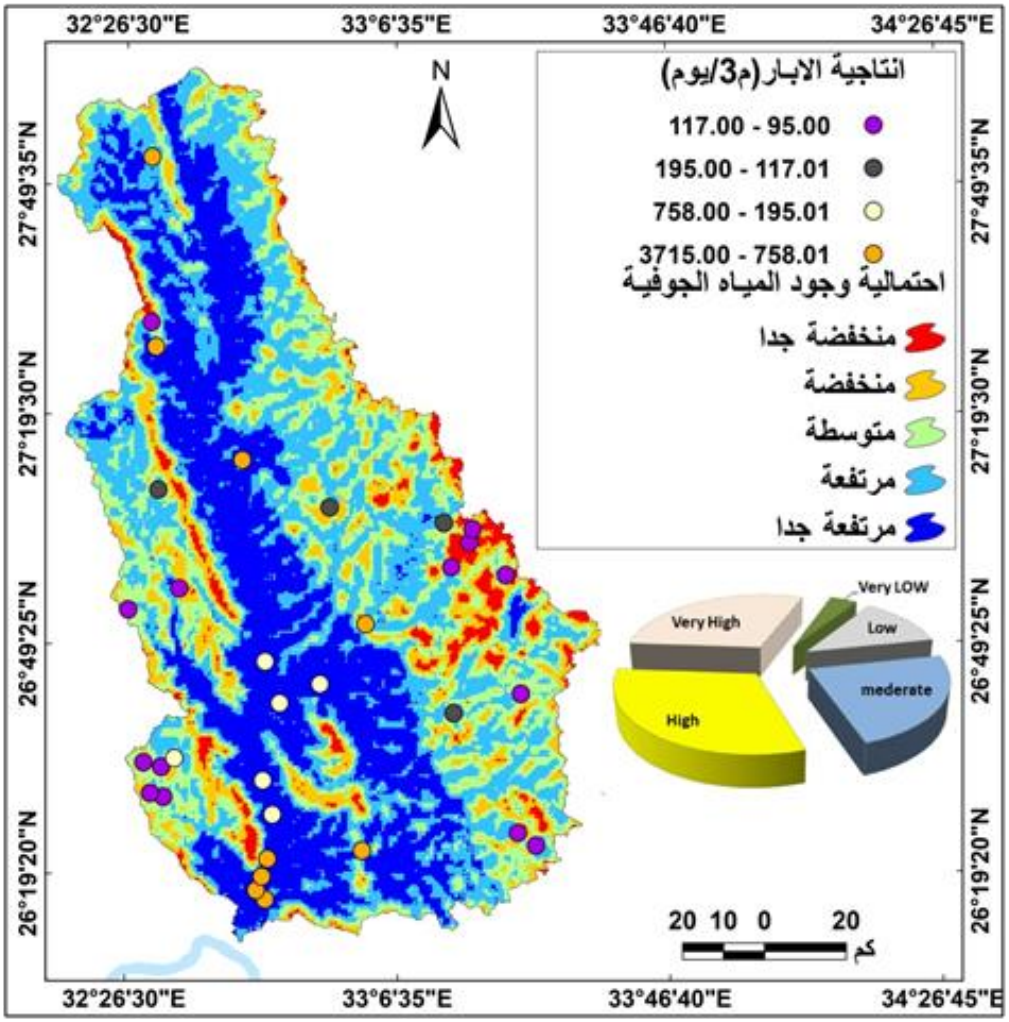
صورة (2) توضح استخدام الطاقة الشمسية فى عمليات سحب المياه الجوفية بواسطة محرك 25 حصان بوادى طريق قنا الصحراوي(الكيلو 80) .

4- التحقق من النتائج:Validation

تم التحقق من المناطق المحددة لامكانات المياه الجوفية فى منطقة الدراسة بالاعتماد على بيانات انتاجية الآبار الجوفية، وفى ذلك تم الاعتماد على 42 بئر للمراقبة- شكل (37)، ووجد أن الآبار الواقعة في الفئة الخامسة (إمكانات المياه الجوفية المنخفضة جدا) لديها قدرة انتاجية شديدة الانخفاض تتراوح بين 78-95 لتر/يوم، والمواقع ضمن الفئة الرابعة (إمكانات المياه الجوفية المنخفضة) لديها قدرة إنتاجية للمياه تتراوح بين 95.01-117 لتر / اليوم، والآبار الواقعة في ضمن فئة إمكانات المياه الجوفية المتوسطة لديها قدرة إنتاجية للمياه تتراوح بين 117.01-195 لتر /

اليوم، والآبار الواقعة ضمن فئة إمكانات المياه الجوفية المرتفعة والمرتفعة جدًا لديهما قدرة إنتاجية للمياه تتراوح بين 195.01–2217.01 لتر/يوم.

ومن بين إجمالي 42 بئر يوجد 35 بئرًا تتفق تماماً مع فئات المناطق المحتملة للمياه الجوفية في حوض الدراسة، بينما بقية الآبار (7 آبار) غير متطابقة بشكل كامل لأسباب مختلفة، وتقع هذه الآبار إما بالقرب من المراكز الحضرية أو المناطق الزراعية، وعادة ما يتم استغلال مياه هذه الآبار إما للأغراض الحضرية أو الزراعية؛ ومن خلال الدراسة يمكن أن نستنتج أن التقنيات المعتمدة على نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الهرميAHP تمتلك أهمية كبيرة فى تحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية.

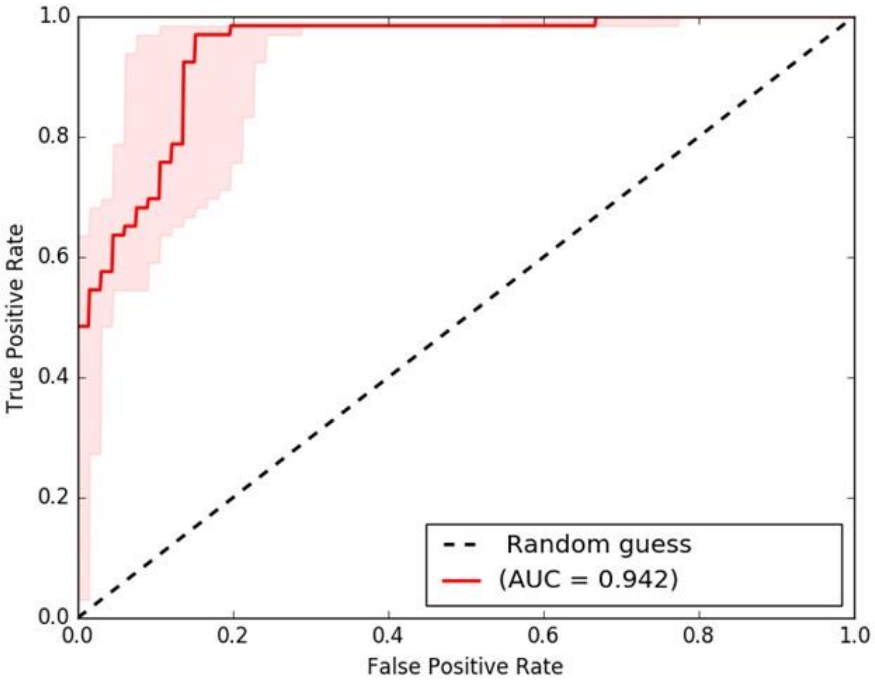


المصدر: تحليلات النمذجة وبيانات معهد بحوث المياه الجوفية،مصر(2022م) .

شكل (37) خريطة إمكانات المياه الجوفية ومقارنتها بانتاجية الآبار بمنطقة الدراسة.

كما اعتمدت الدراسة فى تقييم دقة تحليل امكانات المياه الجوفية المحتملة على تطبيق تحليل منحنى خصائص تشغيل جهاز الاستقبال Receiver Operating Characteristic Curve (ROC) Curve الذي يعد أحد أدوات الذكاء المكاني، ويعتبر من الركائز الأساسية فى 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 1، يكون أكثر قوة ويتم اعتماد نتائج الدراسة، بينما إذا كان المنحنى قريب من الخط المرجعي والمساحة أسفله قريبة من 0.5 ، فإن الاختبار يشير إلى ضعف التحليل وعدم مطابقته للواقع إلا بشكل محدود جدًا (Schutts,J,., 2016).

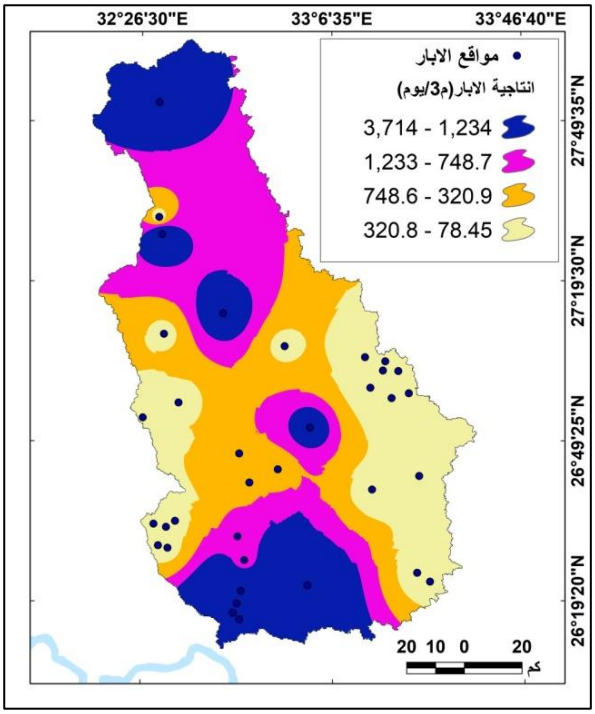
وتم تطبيق منحنى(ROC) فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية، ومن خلاله تم مطابقة عدد (35) عينة تدريبة موجبة تعبر عن مواقع الآبار وقدرتها الإنتاجية للمياه الجوفية مع الطبقة الخلوية الناتجة GWPZ ، ووصلت الدقة المكانية لاختبار AUC (0.942)– شكل (38).



المصدر: تحليل خصائص تشغيل جهاز الاستقبال (ROC Curve) باستخدام برنامج Arc GIS .

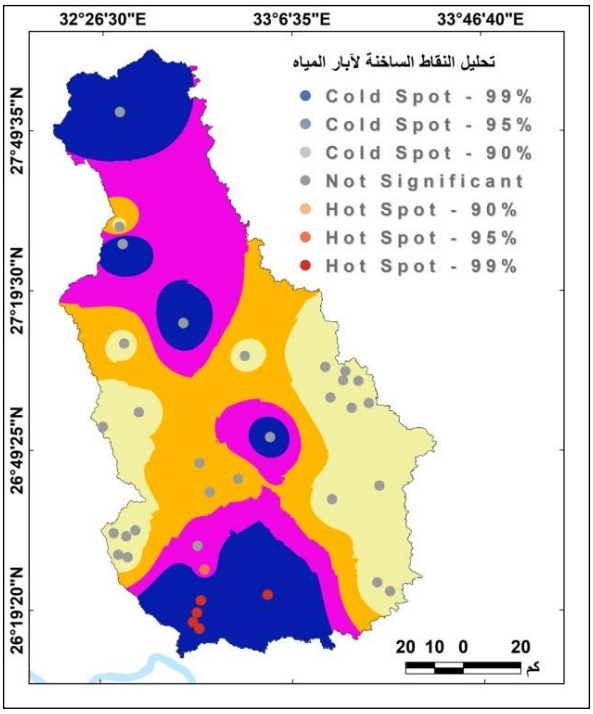
شكل(38) تقييم دقة نتائج تحليل GWPZ باستخدام الذكاء المكاني (ROC Curve)

ومن خلال شكل(39) يتضح أن معدلات إنتاج المياه الجوفية بحوض وادي قنا تتباين من موقع لآخر، إلا أنه يتزايد معدل انتاج المياه الجوفية بجنوب المنطقة خاصة بالمروحة الفيضية، حيث تقع مدينة قنا الجديدة ومشروعات التوسعات الزراعية، مما يستدعى استخراج كميات كبيرة من المياه الجوفية، كما أن هذه المنطقة تعتبر ذات احتمالية وجود مياه جوفية عالية جدا، والموقع الآخر فى أقصى شمال شرق حوض الدراسة، نظرا لعامل القرب من مدن البحر الأحمر، حيث يتم الاستفادة من إنتاجية الآبار ونقلها إلى مدينتي سفاجا والغردقة بمنطقة البحر الأحمر.



المصدر: استخدام أداة الاستسقاء المكاني فى برنامج Arc GIS .

شكل (39) إنتاج المياه من الآبار بحوض قنا



المصدر: أداة تحليل Hotspot فى برنامج Arc GIS .

شكل (40) تحليل البقع الحارة لإنتاج المياه من الآبار بحوض قنا

وبتطبيق تحليل (البقع الحارة والباردة) Hotspot داخل برنامج ArcGIS لدراسة الاستخدامات الحرجة والضغط على الآبار تبين أن الآبار فى جنوب غرب منطقة الدراسة تعتبر فى فئة الاستخدامات الحرجة–شكل (40) وتصل قيمة GiZScore (4.14) وتصل قيمة GiPValue صفر بالتالى نقبل الفرض من العدم وهو أن الآبار فى هذا الموقع تتعرض لضغط شديد الاستخدام متعمد بفعل العامل البشري؛ لذا من الضرورى تنظيم وإدارة عملية سحب المياه من هذه الآبار حتى لا تتعرض المياه الجوفية للاستنزاف وتعطى الفرصة لكى تتجدد المياه ويعاد تغذية الخزان الجوفى من جديد.

مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد- مجلة علمية محكمة- ديسمبر 2023

الخاتمة

تعتبر الدراسة الحالية محاولة لتحديد المياه الجوفية المحتملة باستخدام التكامل بين تقنيات AHP ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البُعد في حوض وادي قنا، وتم استخدام (15) معامل مكاني، ووفقاً لخريطة المخرجات النهائية يمكن تصنيف منطقة الدراسة إلى خمس فئات جغرافية للمياه الجوفية، وهي: مرتفعة جداً، مرتفعة، متوسطة، منخفضة ومنخفضة جداً، وتقع الفئات ذات الإمكانات المرتفعة جدًا والمرتفعة للمياه الجوفية في الغالب في المواقع المنخفضة المنسوب وكذلك في المجرى الأوسط لحوض وادي قنا فى منطقة الخزان الرباعي، وتقدم خريطة المنطقة المحتملة للمياه الجوفية في هذه الدراسة رؤى لصناع القرار للتخطيط السليم وإدارة المياه الجوفية للأغراض الحضرية والزراعية، وتوصلت الدراسة لعدد من النتائج والتوصيات، وهى كما يلى :

النتائج:

توصلت الدراسة للنتائج التالية:

1- كشفت الدراسة قدرة نظم المعلومات الجغرافية GIS والتحليل الهرمي فى التعرف على المياه الجوفية المحتملة بحوض وادي قنا.

2- تمكنت الدراسة من إنتاج خريطة رقمية توضح إمكانات المياه الجوفية بحوض الدراسة تساعد الجهات المعنية وأصحاب القرار من اتخاذ القرارات المناسبة فى الاستغلال الأمثل لمياه الآبار.

3- صنفت الدراسة المنطقة إلى خمس فئات ذات إمكانات متفاوتة للمياه الجوفية، وهي: مرتفعة جدًا (11.75%)، مرتفعة (29.30%)، متوسطة (8.86%)، منخفضة (47.55%)، ومنخفضة جدًا (2.50%)، ويتضح أن جنوبي غربي حوض وادي قنا يتمتع بدرجة مرتفعة جدًا من التغذية والتخزين.

4- أظهرت نتائج الدراسة التطابق المكاني لخريطة إمكانات المياه الجوفية من خلال مطابقة عدد (35) عينة تدريبة موجبة تعبر عن مواقع الآبار وقدرتها الإنتاجية للمياه الجوفية مع الطبقة الخلوية الناتجة GWPZ ، فبلغت دقة التحليل 92% تبعا لمنحنى ROC Curve وهى دقة معتمدة على حسب المقياس العالمي.

5- يزداد الاستخدام الحرج لمياه الآبار فى الجنوب الغربي والشمال لمنطقة الدراسة تبعًا لتحليل HOTSPOT، بالتالى يزداد الضغط على خزانات المياه الجوفية فى هذا القطاع من منطقة الدراسة.

التوصيات والمقترحات:

1- توصى الدراسة بضرورة استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البُعد والتحليل الهرمي فى تحديد المناطق الجوفية المحتملة، لما لها من قدرة عالية فى إدارة البيانات ومعالجتها وتحليلها ونمذجتها.

2- إنشاء قاعدة بيانات تدعم البحث العلمى حول استكشافات المياه الجوفية وانتاجية الآبار.

3- ضرورة إدارة وتنظيم إنتاجية الآبار حتى تتاح الفرصة لإعادة تغذية المياه الجوفية.

4- وضع أجهزة قياس لمراقبة عمليات سحب المياه من الآبار.

5- التوسع فى الزراعة بحوض الدراسة والاعتماد على الطاقة الشمسية فى عمليات رفع المياه من الآبار.

6- المساعدة فى تغذية الخزان الجوفي عن طريق التوسع فى إقامة السدود الإعتراضية لمياه الامطار بهدف تغذية الخزان الجوفي.

المصادر والمراجع باللغة العربية

1. الهيئة العامة للبترول، مصر، عام 2022م.
2. هيئة الأرصاد الجوية المصرية، عام 2022م.
3. محمد جاب الله & حسام(2019).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 .
4. عبد اللطيف & كريم حامد (2018). تحديد مناطق تغذية المياه الجوفية بالمنطقة فيما بين إدفو وأسوان– مصر، باستخدام نمذجة نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البعد. مجلة البحث العلمي في الآداب, (العدد التاسع عشر الجزء الرابع), 1–18.
5. كلخه & محي الدين واخرون (2022). تطبيقات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في احتمالية خرائط الماء الأرضي في حوض مصياف لتطوير استراتيجيات إدارة الموارد المائية، المجلة السورية للبحوث الزراعية 473–462.
6. وزارة الموارد المائية والرى – معهد بحوث المياه الجوفية(2022م).

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, Alexanderia 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. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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).
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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*.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. Pardo-Igúzquiza, E., & Dowd, P. A. (2020). Fractal analysis of karst landscapes. *Mathematical Geosciences*, *52*(4), 543-563.
28. Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of sciences*, *5*(1-4), 23-27.
29. Saaty, T. L. (2001). *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world*. RWS publications.
30. 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.
31. Said, R. (1960). Planktonic foraminifera from the Thebes formation, Luxor, Egypt. *Micropaleontology*, *6*(3), 277-286.
32. 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.
33. Schutts, J. W. (2016). *The use of receiver operating characteristic curve analysis for academic progress and degree completion*. The University of Southern Mississippi.
34. sensing and GIS techniques, Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 2014, 17, 111–121
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. Voogd, H. (1983). Multi-ctiteria evaluation for urban and regional planning, Pion, London. Water Resour. Manag, 24, 921-939.
40. 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.
41. 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*.

42. 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).