



النمذجة المكانية لاحتمالية توطن المياه الجوفية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: محافظة نينوى أنموذجاً

سامي محمود الياس الجانقلي^{1*} ، عمر عبد الله اسماعيل²

^{1,2} قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الانسانية، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

المخلص

اكتسبت الدراسات القائمة على نظم المعلومات الجغرافية أهمية كبيرة في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية نظراً لكفاءتها الكبيرة في معالجة المعلومات المكانية وبذلك ستوفر معلومات مباشرة عن المورد الذي يمكن الاستفادة منها في ترشيد الاستثمار. انطلقت مشكلة البحث من تساؤل رئيسي مفاده (هل للنمذجة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية دور في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية؟ وما هو مشهد احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى؟). وفي ضوء ذلك، صيغت فرضية البحث نحو أن للنمذجة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية المدعومة بتقنيات تحليل القرار متعدد المعايير MCDA دوراً كبيراً في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية، وبذلك يهدف البحث إلى تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية وبيان كيفية الاستفادة من تقانة نظم المعلومات الجغرافية في هذا المجال، إذ إن استخدام هذه التقانة يفتح مساراً جديداً في دراسة الموارد المائية، وإنتاج خريطة للمناطق المحتملة لتوطن تلك المياه. ومن أجل المضي نحو الهدف وللتحقق من الفرضية، تمت نمذجة مجموعة من العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية من مصادر بيانات مختلفة، ثم الاعتماد على تقنية تحليل القرار متعدد المعايير MCDA وفق طريقة عمليات التحليل الهرمية AHP في توليد أوزان تلك العوامل، فضلاً عن تطوير أداة خاصة بنمذجة احتمالية توطن المياه الجوفية التي سميت Ground Water Potential Existence، إذ تعمل على جبر الخرائط آلياً في ضوء الأوزان المستحصلة من عمليات التحليل الهرمية. وقد كشفت الخريطة المنمذجة بالتكنيك الموضوع، أن احتمالية توطن المياه الجوفية تتخفف في المناطق الجنوبية والجنوبية الغربية من محافظة نينوى وترتفع تدريجياً نحو الشمال والشمال الشرقي من المحافظة، ذلك على الرغم من طبيعة سطحها المرتفع والمضرس، إلا إن ارتفاع معدلات الأمطار تدريجياً شمالاً، وقرب هذه المناطق من المسطحات المائية، فضلاً عن ارتفاع كثافة الخطيات والغطاء النباتي وانخفاض معدلات التبخر فيها، كان له الأثر الأكبر في ارتفاع احتمالية توطن المياه الجوفية في هذه المناطق. وقد استكمل العمل في البحث نحو إجراء تحليل حساسية انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية لمعرفة أي العوامل الأكثر تأثيراً في الانموذج بواسطة معامل ارتباط بيرسون، وبعدها تم ادخال العوامل الأكثر حساسية في تحليل الانحدار المتعدد للخروج بأنموذج أمثلية Optimization Model للتنبؤ في حال تغيرت قيم العوامل الأكثر حساسية، وتم إجراء ارتباط بيرسون مرة ثانية للتأكد من صحة انموذج الأمثلية، وتبين أن قوة الارتباط بين انموذج الأمثلية وانموذج احتمالية توطن المياه الجوفية بلغ (0.8) وبذلك يعد هذا الارتباط قوياً ويمكن استخدامه للتنبؤ.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 13-يناير-2024

تاريخ المراجعة: 05-مارس-2024

تاريخ القبول: 01-ابريل-2024

تاريخ النشر الالكتروني: 01-ابريل-2025

الكلمات المفتاحية:

النمذجة المكانية

احتمالية توطن المياه الجوفية

نظم المعلومات الجغرافية

محافظة نينوى

عملية التحليل الهرمي (AHP)

المراسلة:

الاسم: سامي محمود الياس الجانقلي

Email:

sami.21ehp6@student.uomosul.edu.iq

Spatial Modeling of Groundwater Potential Existence Using GIS: Nineveh Governorate as a Model

Sami Mahmoud Elias Al-Janqli ^{1*}, Omar Abdullah Ismaeel ²

^{1,2}Department of Geography, College of Education of Human Sciences, University of Mosul, Mosul, Iraq.

Article information

Received: 13- Jan -2024

Revised: 05- Mar -2024

Accepted: 01- Apr -2024

Available online: 01- Apr – 2025

Keywords:

Spatial modeling

Groundwater Potential

GIS

Nineveh Governorate

Analytic Hierarchy Process (AHP)

ABSTRACT

Geographic Information System (GIS)-based studies have gained substantial importance. This is due to their remarkable efficiency in processing spatial information, thereby providing direct information about the resource is necessary that can be utilized for investment optimization. The issue of the study is stemmed from a fundamental question: "Does spatial modeling using Geographic Information Systems (GIS) play a role in identifying potential areas for groundwater replenishment?". In light of this, the study has formulated the hypothesis that spatial modeling using Geographic Information Systems (GIS) supported by Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques, plays a significant role in identifying potential areas for groundwater replenishment. The study aims to identify these potential areas and elucidate how Geographic Information Systems technology can be leveraged in this context. The use of this technology opens up a new avenue in the study of water resources, enabling the production of maps that depict potential groundwater replenishment areas. To achieve the study's objectives and test the hypothesis, a set of factors influencing the probability of groundwater replenishment is modeled using data from various sources. The Analytic Hierarchy Process (AHP) technique is employed to generate weights for these factors, and a specialized tool for modeling the probability of groundwater replenishment, named "Groundwater Potential Existence," is developed. This tool automates map generation based on the weights derived from hierarchical analysis. The modeled map using the mentioned technique reveals that the probability of groundwater replenishment decreases in the southern and southwestern regions of Nineveh Province and gradually increases in a northerly and northeasterly direction within the province. Despite its elevated and rugged terrain, the gradual increase in rainfall rates towards the north, the proximity to water bodies, as well as higher vegetation cover and lower evaporation rates in these areas, had the most significant impact on elevating the likelihood of groundwater replenishment in these regions. The study further progresses to conduct a sensitivity analysis of the groundwater replenishment probability model to identify which factors had the most significant influence on the model, using Pearson correlation coefficients. Subsequently, the most sensitive factors are incorporated into a multiple regression analysis to derive an optimized predictive model in case the values of these five factors changed. A second Pearson correlation is performed to validate the optimized model revealing a strong correlation of (0.8) between the optimization model and the groundwater probability model indicating a robust connection and making it suitable for predictive purposes.

Correspondence:

Name: Sami Mahmoud Elias Al-Janqli

Email:

sami.21ehp6@student.uomosul.edu.iq

DOI: [10.33899/earth.2024.146050.1217](https://doi.org/10.33899/earth.2024.146050.1217), ©Authors, 2025, College of Science, University of Mosul.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

يستخدم مصطلح المياه الجوفية للإشارة إلى جميع المياه الموجودة تحت سطح الأرض، ويعد من اهم الموارد الطبيعية التي تلعب دورا مهما في تنمية الحياة البشرية، ومن ثم يعد تحديد المناطق المحتملة لتوطن هذا المورد امرا مهما للغاية من اجل الاستخدام الأمثل والحفاظ على هذا المورد الثمين. غالبا ما تكون الطرائق الهيدروجيولوجية التقليدية من

النوع الموثوق لتحديد موقع طبقات المياه الجوفية الأكثر اعتماداً لكن هذه الطرائق مكلفة للغاية وتستغرق بعض الوقت، لذلك ظهرت نظم المعلومات الجغرافية كتقنية فعالة في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية. يعد تحليل القرار متعدد المعايير الأسلوب الأكثر شيوعاً في مجال نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية، كما وتعد عمليات التحليل الهرمية (Analytical Hierarchy Process, AHP) من أهم أدوات القرار متعدد المعايير (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA) التي طورها Tomas Saaty عام 1972 (Saaty, 1972)، وبما أن المشكلة الأساسية في اتخاذ القرار تتمثل في تحديد أفضل خيار لمجموعة من البدائل المتنافسة التي يتم تقييمها وفقاً لمعايير متضاربة، فإن عملية التحليل الهرمي تعمل بإطار شامل لحل مثل هذه المشكلات.

تكمن مشكلة البحث في تساؤل مفاده: هل للنمذجة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية دوراً في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية؟ ومن التساؤل الرئيس صيغت تساؤلات ضمنية على النحو الآتي:

(1) ما هو مشهد احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى؟ (2) ما هو مستوى تأثير العوامل الجغرافية على احتمالية توطن تلك المياه في ذات المنطقة؟ (3) هل بالإمكان تطوير أداة في نظم المعلومات الجغرافية يمكنها الكشف عن احتمالية توطن المياه الجوفية؟

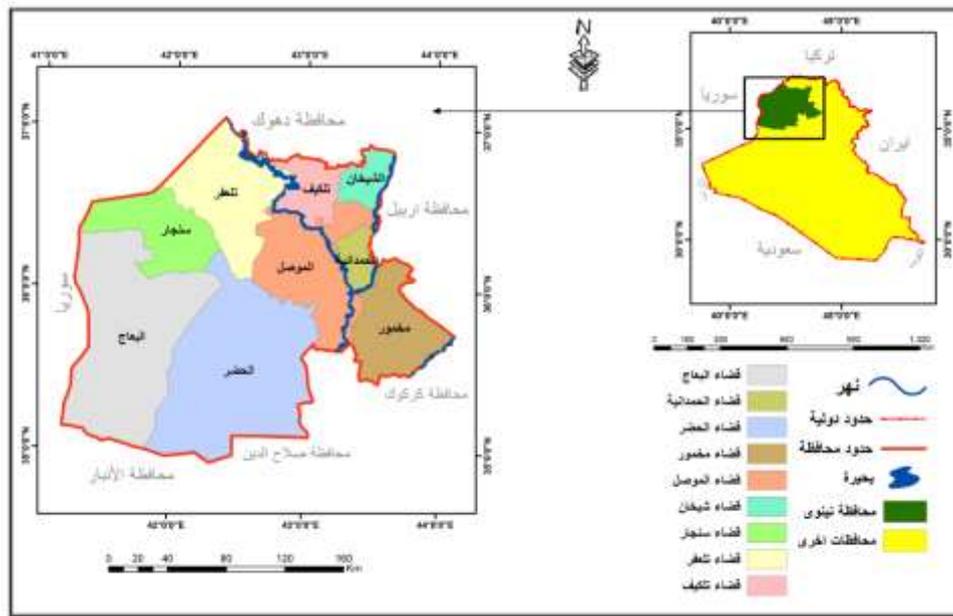
وفي ضوء مشكلة البحث صيغت الفرضية الرئيسة ومفادها: تلعب النمذجة المكانية دوراً بارزاً في الكشف عن المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية، وبذلك تضمنت الفرضية الرئيسة مجموعة من الفرضيات الفرعية، يمكن عرضها على النحو الآتي: (1) هناك تباين مكاني في مستويات احتمالية توطن المياه الجوفية داخل الحيز المكاني لمحافظة نينوى. (2) تتباين العوامل الجغرافية في مدى تأثيرها على احتمالية توطن تلك المياه في ذات المنطقة. (3) يمكن تطوير أداة فعالة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية تعمل على الكشف عن احتمالية توطن المياه الجوفية.

وتحت ظل المشكلة والفرضية صيغت أهداف البحث على النحو الآتي: (1) الكشف عن مشهد احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى. (2) تحديد مدى تأثير العوامل الجغرافية على احتمالية توطن المياه الجوفية في ذات المنطقة محكوم على موثوقيته احصائياً. (3) تطوير أداة للكشف عن احتمالية توطن المياه الجوفية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

وقد اعتمد البحث على المنهج التجريبي حول طبيعة المشكلة ومن ثم اعطاء مؤشرات كمية عن فحوى الموضوع المراد دراسته.

منطقة الدراسة

تقع محافظة نينوى في الجزء الشمالي والشمالي الغربي من العراق بين دائرتي عرض (34°55'51"N) و (37°3'57"N) شمال خط الاستواء وخطي طول (41°11'53"E) و (44°7'56"E) شرق خط غرينتش، يحدها من الشمال محافظة دهوك ومن الشرق محافظتي كركوك واربيل ومن الشمال الغربي والغرب الحدود الدولية لسوريا ومن الجنوب محافظتي الأنبار وصلاح الدين، وتبلغ مساحة المحافظة 38713.35 كم²، وهي بذلك تشكل 9.1% من مجموع مساحة العراق.



الشكل 1. الموقع الجغرافي لمحافظة نينوى.

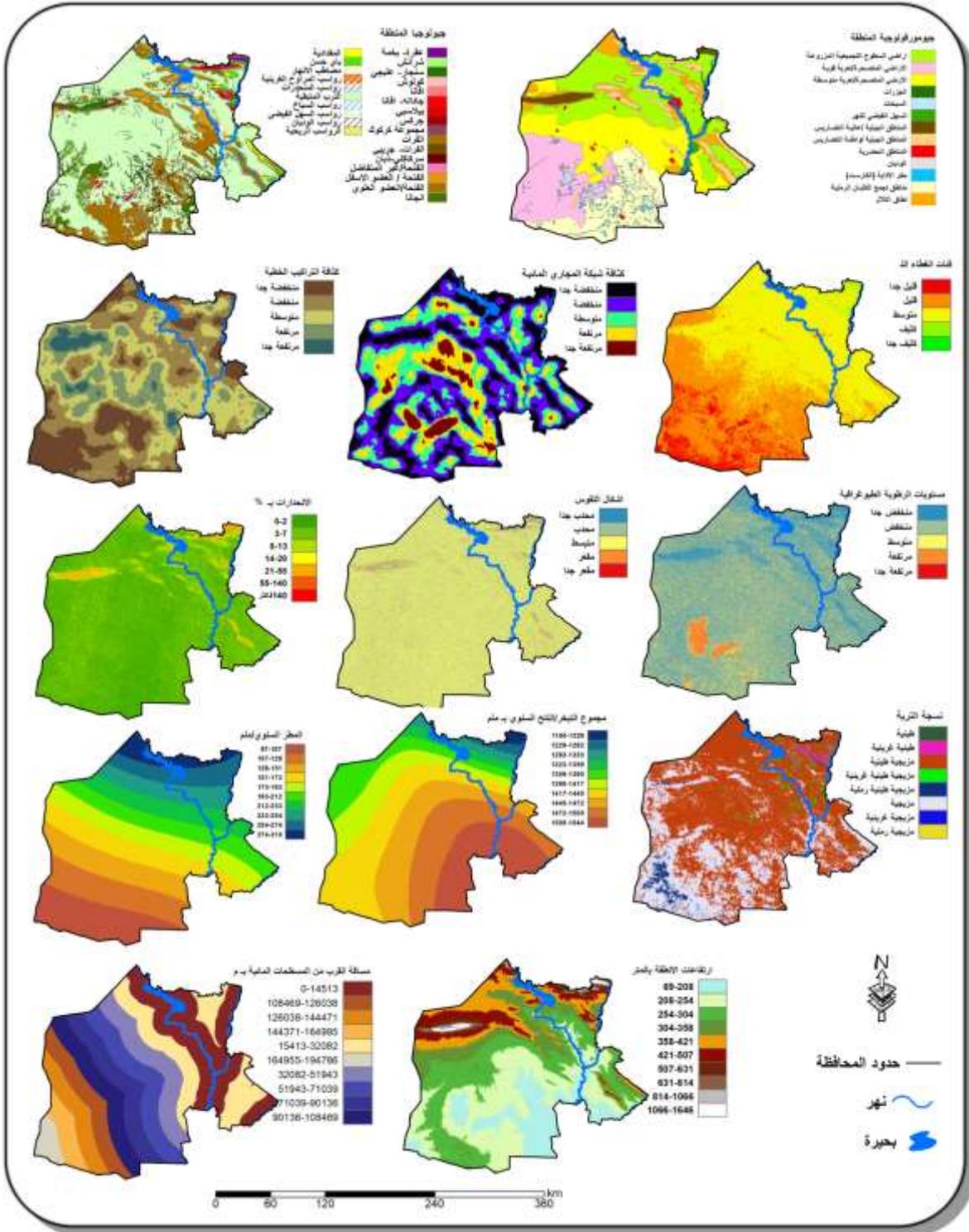
مصادر البيانات

تنوعت مصادر البحث بين 13 عاملاً تتمثل في (الجيولوجيا، كثافة التراكيب الخطية، الجيومورفولوجيا، كثافة شبكة المجاري المائية، مسافة القرب من المسطحات المائية، الارتفاعات، الانحدارات، تقوس المنحدرات، مؤشر الرطوبة الطبوغرافي، الأمطار، التبخر، الغطاء النباتي، نسجة التربة). إذ تم جمع بيانات هذه العوامل من مصادر مختلفة ومعالجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء بيانات خاصة بمنطقة البحث، إذ تم الحصول على الخريطة الجيولوجية للمحافظة من تشبيك سبع لوحات جيولوجية بمقياس رسم 1:250000 والصادرة عن وزارة الصناعة والمعادن، الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، وهي كل من لوحة (الموصل، القيارة، اربيل، كركوك، حديثة، سنجار، سوريا)، أما الخريطة الجيومورفولوجية فقد أخذت عن الداغستاني (Al-Daghastani, 2007)، في حين تم الاعتماد على أنموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة تمييزية 30 م في استخراج خرائط الارتفاعات والانحدارات وتقوس المنحدرات ومؤشر الرطوبة الطبوغرافي وكثافة شبكة المجاري المائية، أما خريطة كثافة التراكيب الخطية فقد تم الحصول عليها من مدخلات صور القمر الاصطناعي Landsat8(OLI) واختيار الحزمة البانكروماتيكية (Band 8) ذات الدقة التمييزية (15 م)، في حين ان خريطة المسطحات المائية فقد استحصلت أيضاً من Landsat8(OLI)، بيد ان خريطة المطر والتبخر فقد أخذت من البيانات الفضائية لموقع NASA و-35 محطة افتراضية، أما خريطة معدل الغطاء النباتي فقد إذ تم حساب معدله لسنوات (1990-2002-2007-2013-2017-2022) وأخذت من المرئيات الفضائية للقمر الاصطناعي Landsat5(TM) و Landsat7 (ETM+) و Landsat8 (OLI) ، وتم استخراج خريطة نسجة التربة على عمق 100 سم من موقع Soil Grids (الشكل 2 و الجدول 1).

الجدول 1: مصادر بيانات الدراسة.

العوامل	مصادر البيانات
الجيولوجيا	لوحات الخرائط الجيولوجية (الموصل، قيارة، اربيل ومهاباد، سنجار، سوريا، حديثة، كركوك، وادي المياه)
الجيومورفولوجيا	Geomorphologic Map of Nineveh Governorate
كثافة التراكيب الخطية	Landsat8 (OLI)
كثافة شبكة المجاري المائي	نموذج الارتفاع الرقمي DEM
القرب من المسطحات المائية	Landsat8 (OLI)
الارتفاعات	نموذج الارتفاع الرقمي DEM

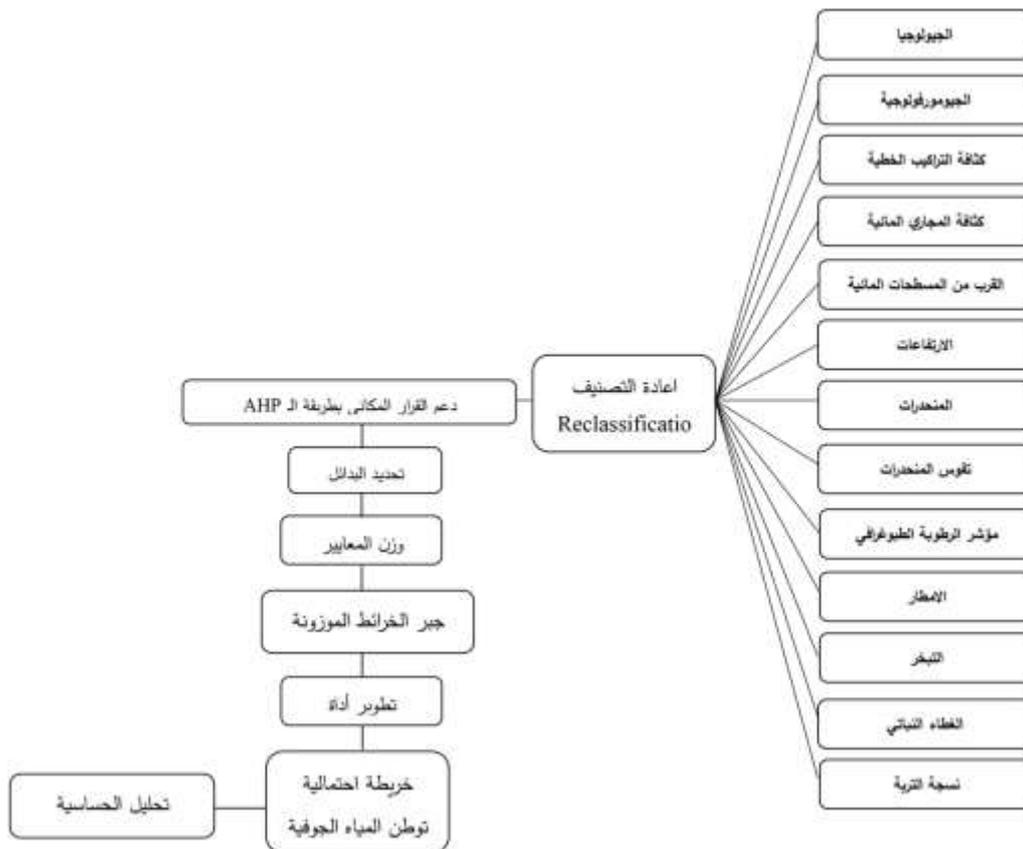
DEM نموذج الارتفاع الرقمي	المنحدرات
DEM نموذج الارتفاع الرقمي	تقوس المنحدرات
DEM نموذج الارتفاع الرقمي	مؤشر الرطوبة الطبوغرافي
NASA https://power.larc.nasa.gov	الأمطار
NASA https://power.larc.nasa.gov	التبخّر
Landsat8 (OLI)/ Landsat7(ETM+)/Landsat5(TM)	الغطاء النباتي
Soil Grids https://www.isric.org/explore/soilgrids	نسجة التربة



الشكل 2. العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية.

المنهجية

تضمنت المنهجية المستخدمة في البحث حصر العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية ثم معالجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برمجية ArcGIS Desktop 10.8 عن طريق نمذجتها وتقييمها ثم تطبيق تحليل القرار متعدد المعايير MCDA بطريقة عمليات التحليل الهرمية AHP في استخلاص الأهمية النسبية لتلك العوامل (الأوزان) اعتماداً على مجموعة من الآراء التي تم الحصول عليها من مجموعة من المحكمين الذين تم انتخابهم لغرض دعم القرار المكاني حول احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى، وجاءت المرحلة الثانية بتطوير أداة خاصة تعمل في بيئة برمجية ArcGIS Desktop 10.8 للكشف عن احتمالية توطن المياه الجوفية. أما المرحلة الثالثة فقد جاءت في تحليل الحساسية Sensitivity Analysis من أجل بناء نموذج أمثلية Optimization Model بغية تقليص العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى بتطبيق تحليل الارتباط Correlation Analysis والانحدار المتعدد Multi Regression Analysis، ذلك للخروج بمعادلة تنبؤية تستخدم في حال تغير قيم العوامل المؤثرة، وبذلك يمكن تطبيق المعادلة مع أي حيز مكاني آخر من أجل الكشف عن احتمالية توطن المياه الجوفية (الشكل 3).



الشكل 3. منهجية البحث.

الجيولوجيا

يكن الهدف من دراسة التكوين الجيولوجي في التعرف على الطبقات الجيولوجية الحاوية على المياه الجوفية، ومعرفة الخصائص التركيبية للصخور المكونة لهذه التكوينات من حيث النفاذية والمسامية (Al-Jawari and Khadr, 2021)، التي تؤدي دوراً رئيسياً في تغذية المياه الجوفية ومما يساعد ذلك في تحديد المناطق المحتملة لتوطنها. تتكشف في محافظة نينوى صخور بعمر يتراوح من العصر الكرييتاسي من الزمن الجيولوجي وحتى الزمن الجيولوجي الرابع، وإن الجزء الأكبر من المنطقة مشغول برواسب حديثة بنسبة (58.14%)، إذ تعد ترسبات مصاطب الأنهار والمراوح الغرينية الأهم من

حيث الاحتمالية لأنها ذات الترسبات غير المترابطة وخشنة الحبيبات التي تعمل على زيادة ترشيح المياه الى باطن الارض مما يزيد من احتمالية توطنها هناك.

كثافة التراكم الخطية

تعتبر كثافة التراكم الخطية عن مدى التكرار لكل وحدة مساحة وتقاس بـ (كم/كم²) (Mallick et al., 2015) إذ ان ارتفاع كثافة الخطيات يعد مؤشراً جيداً على احتمالية توطن المياه الجوفية، كما ان وجود هذه التراكم يزيد من المسامية الثانوية والنفاذية للمنطقة، وقد تم تحديد التراكم الخطية اعتماداً على برمجية Geomatica.

المظاهر الجيومورفولوجية

تلعب الخصائص الجيومورفولوجية دوراً مهماً في الدراسات الهيدرولوجية على نحو عام والمياه الجوفية بشكل خاص كونها الركن الاساسي الذي يوضح المعالم والشواخص الاساسية الموجودة على سطح الارض ولاسيما طبيعة المنحدرات وخصائص ومميزات احواض الانهار والوديان والجبال، فضلاً عن المنخفضات والتلال وبقية الاشكال الجيومورفولوجية الاخرى التي لها دلالات هامة في توطن تلك المياه وزيادة تغذيتها من المظاهر السطحية، لذلك تؤثر المظاهر الجيومورفولوجية في كمية التغذية المائية لباطن الارض ومن ثم تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية (Raml, 2013).

كثافة شبكة المجاري المائية

يتم تعريفها على انها الطول الاجمالي لشبكة الصرف المائية لكل وحدة مساحة وتقاس بـ (كم/كم²) (Agarwal and Garg, 2016)، وهي دالة عكسية للنفاذية، إذ تعد انعكاساً لمعدل تسرب الامطار مقارنة بالجريان السطحي (Gupta and Prashand, 2010)، وتمثل كثافة الصرف عن مدى قرب شبكة الصرف من بعضها البعض، فكلما ارتفعت كثافة الصرف دل على قرب شبكات الصرف من بعضها البعض ضمن مساحة محددة مما يؤدي الى زيادة جريان السطحي اثناء هطول الامطار ويقلل ذلك من تغذية المياه الجوفية (Alcaide and Santos, 2019).

القرب من المسطحات المائية

تم استخراج مسافة القرب والبعد عن المسطحات المائية عن طريق المسافة الاقليدية باستخدام اداة Euclidean Distance، وعادة تحتوي المناطق المحيطة بالمسطحات المائية مثل البحيرات والانهار على مستويات عالية من المياه الجوفية بسبب التدفق الجانبي للمياه، ويعتمد هذا التدفق على الشقوق والقنوات، إذ ان احتمالية توطن المياه الجوفية ترتفع بالقرب من المسطحات المائية، وبالابتعاد عنها تقل هذه الاحتمالية (Shamuyarira, 2017).

الارتفاعات

ان تباين ارتفاعات سطح الارض يؤثر في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية، إذ كلما قل ارتفاع سطح الارض قلت سرعة الجريان السطحي وازدادت معدلات ترشيح المياه الى باطن الارض مما يساعد على تغذية المياه الجوفية فتوطنها، وبخلاف ذلك في الارتفاعات العالية (Zhu and Mohamed, 2021).

المنحدرات

يعد الانحدار من الخصائص الطبيعية المؤثرة في توطن المياه الجوفية لوجود علاقة عكسية بين انحدار الارض وترشيح المياه، إذ كلما قلت درجة الانحدار زادت امكانية ترشيح المياه الى باطن الارض مما يؤدي ذلك الى تغذية المياه الجوفية فتوطنها، وبخلاف ذلك في الانحدارات العالية التي تساعد على سرعة الجريان السطحي فتقلل من كمية ترشيح

المياه (Bathis and Ahmed, 2016). تم اشتقاق خريطة انحدارات الارض لمحافظة نينوى من أنموذج الارتفاع الرقمي بالاعتماد على التصنيف الذي اعده (Zuidam) والذي يعد تصنيفا هرميا متصلا (Ghathwan, 2011).

تقوس المنحدرات

يعرف التقوس بأنه معدل التغير في زاوية الانحدار قياسا الى المسافة الارضية في اتجاه قاع المنحدر نسبة الى المنحدر الحقيقي ويعبر عنه بالدرجات (Blaga, 2012)، إذ يعبر عن مدى تحذب او تقعر منطقة ما على سطح الارض ويتم اشتقاق خريطة التقوس من أنموذج الارتفاع الرقمي، وبذلك فان الشكل المقعر هو اعلى احتمالية على توطن المياه الجوفية مقارنة بالشكل المحدب، وذلك لان الشكل المقعر يحتوي على المزيد من المياه ويحتفظ بها لفترة اطول وخاصة اثناء سقوط الامطار الغزيرة (Moghaddam et al., 2015).

مؤشر الرطوبة الطبوغرافي

يدل المؤشر على مناطق تراكم المياه بناء على تدرج المنحدرات، ويظهر ايضا قابلية المجاري المائية للاحتفاظ بالرطوبة، كما يعبر على السيطرة الطبوغرافية في العمليات الهيدرولوجية اعتمادا على الخصائص المورفومترية لشبكة التصريف المائي متمثلة بطبقة التدفق (Accumulated Flow) ودرجات انحدار السطح (Abdulateef and Hussain, 2013)، وله اهمية في تحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية، اذ كلما كانت قيمة المؤشر عالية كانت احتمالية توطن المياه اعلى اذ يدل ذلك على تراكم المياه وتركز الرطوبة على المنحدرات الارضية (Haghizadeh et al., 2017).

الامطار

تعد الامطار عاملا مهما وأساسيا في تغذية المياه الجوفية، اذ يؤثر توزيع تساقط الامطار جنبا الى جنب مع تدرج المنحدرات على معدلات التسرب والجريان السطحي (Gnanachandrasamy et al., 2018)، فكلما زادت معدلات تساقط الامطار زادت احتمالية توطن المياه الجوفية (Bathis and Ahmed, 2016)، وقد تم استكمال Interpolation بيانات معدل مجاميع المطر السنوي لمدة زمنية مقدارها 31 سنة (1990 - 2020) ولـ 35 محطة مناخية فضائية.

التبخر

يؤثر التبخر على توطن المياه الجوفية من خلال دوره في التأثير على كمية الامطار المتسربة الى باطن الارض، لذلك يسهم في زيادة كمية الضائعات المائية عن طريق تنشيط فعالية الخاصية الشعرية في جذب المياه الجوفية الى السطح وبعد تعرضها الى التبخر الشديد ينتج عنه جفاف التربة (Ibrahim and Ghaffar, 2006). ان اعلى قيمة للتبخر الناتج سجلت خلال شهر تموز في محافظة نينوى، اما اقل قيمة فقد سجلت في شهر كانون الثاني وكانون الاول للمحطات المناخية الفضائية الـ (35) التي تم اعتمادها في البحث.

الغطاء النباتي

يعيق الغطاء النباتي عملية الجريان السطحي ويزيد من نفاذية التربة، لأنه يلعب دورا هاما في استقرار المنحدرات، كما يتميز الغطاء النباتي المرتفع بخصائص تربة جيدة، لذلك كلما زادت كثافة الغطاء النباتي زادت احتمالية توطن المياه الجوفية (Mallick et al., 2019). وقد قدرت كثافة الغطاء النباتي في محافظة نينوى اعتمادا على معدل NDVI لسبع فترات زمنية (1990-2022) بما يتوافق مع معدل مجموع المطر السنوي اعتمادا على المرئيات الفضائية للقمر الاصطناعي Landsat5(TM) وLandsat7 (ETM+) وLandsat8 (OLI)، اذ يتم احتساب الـ NDVI كما في المعادلة الاتية (Tucker, 1980):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

ولتقدير كثافة الغطاء النباتي لكل فترة زمنية بشكل منفصل تم استخدام المعادلة المذكورة اعلاه في برمجية Arc GIS Desktop 10.8 اعتمادا على الاداة Raster Calculator، تم بعد ذلك استخدام الاداة نفسها لحساب معدل مؤشر الغطاء النباتي المطبوع لجميع الفترات الزمنية المذكورة كما في المعادلة الآتية:

$$AN = \frac{NDVI1991 + NDVI1996 + NDVI2002 + NDVI2007 + NDVI2013 + NDVI2017 + NDVI2022}{7}$$

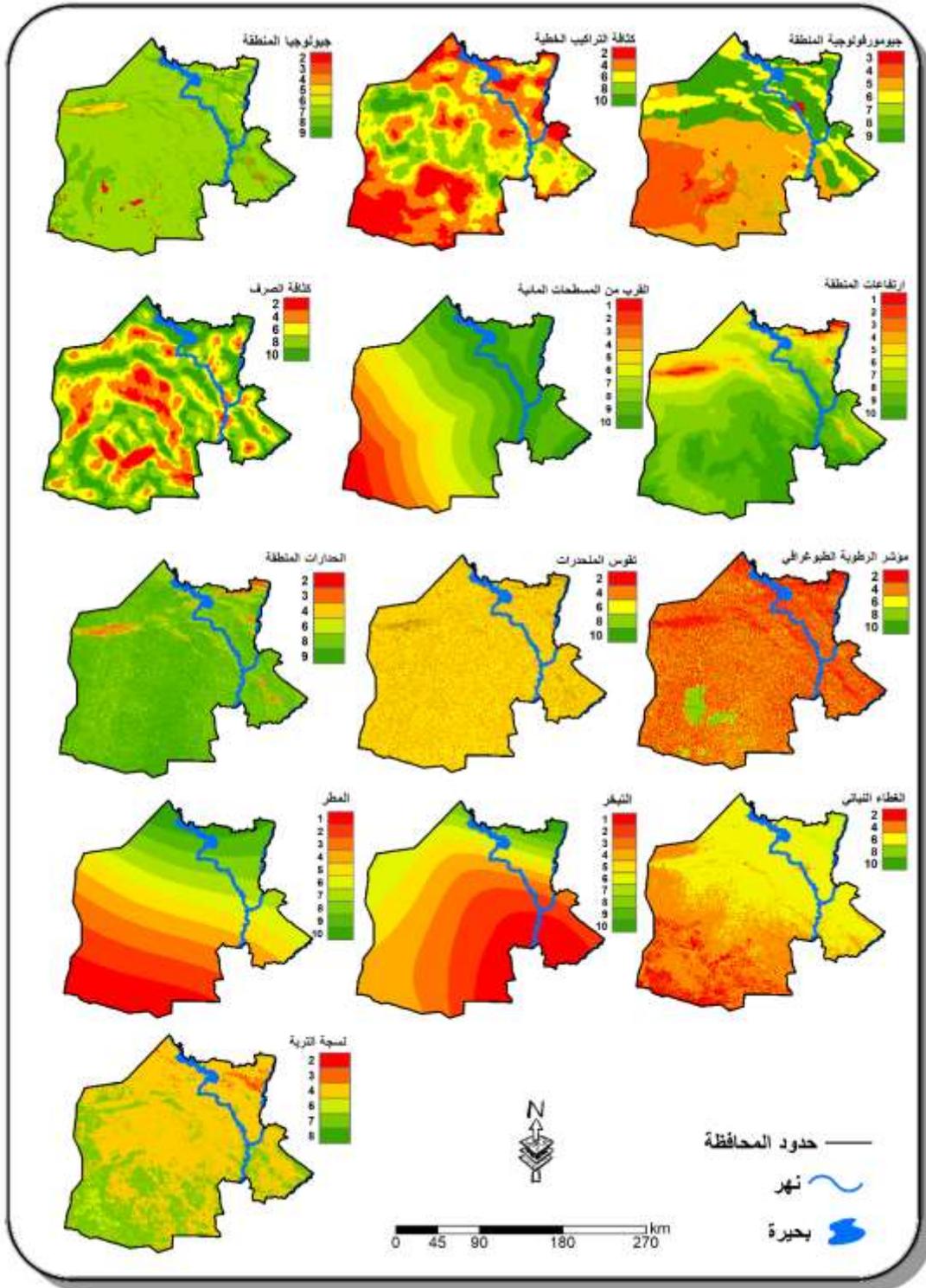
اذن ان: Average NDVI = AN معدل مؤشر الغطاء النباتي المطبوع، NDVI = مؤشر الغطاء النباتي.

نسجة التربة

تعرف نسجة التربة بانها نسبة مفصولات التربة من المواد الناعمة الذرات (الطين، الغرين والرمل) والذرات الخشنة من الحجارة والحصى (Daoud, 2002)، وهي تؤثر على العلاقة بين معدلات الجريان السطحي والتسلل التي تتحكم بدورها في درجة النفاذية (Gintamo, 2015)، فالتربة ذات النسيج الخشن كالتربة الرملية تكون مسامياتها كبيرة مما يزيد من حجم المياه المتسربة في الاعماق وبذلك يزداد حجم تغذية المياه الجوفية من جانب ويقل حجم المياه السطحية من جانب اخر، مما يساعد على توطن المياه الجوفية، وذلك على عكس التربة الطينية ذات النسيج الناعم، اذ يزداد حجم الجريان السطحي ونقل تغذية المياه الجوفية بفعل انخفاض حجم التسرب الداخلي (Al-Assadi, 2017). وقد تم استخراج نسجة التربة على عمق (100 سم) عن طريق الموقع (Soil Grids) الذي يصنف النسجة على وفق تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية (USDA).

تقييس العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية بالمقياس المرتبي

من خلال مناقشة العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى وبشكل ظاهر للعيان، تبين أن تلك العوامل هي ذات مقاييس مختلفة، فالعامل الجيولوجي والجيومورفولوجي ونسجة التربة ذات مقاييس اسمية Nominal Scales، أما بقية العوامل فهي ذات مقاييس كمية Quantitative Scales مختلفة، ولغرض ابراز التباين المكاني لتأثير كل عامل من العوامل التي نوقشت سابقا لابد من توحيد مقاييسها بما يتلاءم مع طبيعة كل عامل من جهة، فضلا عن الحصول على استنتاج معلوماتي اكثر تفصيلا من جهة اخرى، ولتحقيق ذلك لابد من اجراء عملية اعادة تصنيف وفقا لمقياس مرتبي Ordinal Scale لكل عامل على حدة، ذلك من اجل الوقوف على اثر عناصر كل عامل من تلك العوامل على احتمالية توطن المياه الجوفية، وقد تم ذلك باستخدام امكانية اعادة التصنيف Reclassification ضمن ادوات المحلل المكاني Spatial Analyst في برمجية ArcGIS desktop 10.8 (الشكل 4).



الشكل 4. تقييم العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية بالمقياس المرتبي.

عمليات التحليل الهرمية

تحل طريقة الـ AHP مشكلة اتخاذ القرار بتسلسل هرمي، بدءاً بتحديد الهدف، مروراً بتحديد المعايير، وانتهاءً باختيار البدائل. وبناءً على العلاقة بين مجموعة من المعايير مع مجموعة من البدائل في الشكل الهرمي، يتم تحديد البدائل اعتماداً على المقياس الذي وضعه Saaty، إذ إن كل معيار له مجموعة من البدائل قابلة للمقارنة الزوجية بينه وبين المعيار الآخر، وتقاس هذه البدائل بمقياس خاص وضعه Saaty يتراوح بين الـ (1) و (9)، إذ تمثل الدرجة (1) أهمية متساوية بين العاملين، وتشير الدرجة (9) إلى الأهمية القصوى لعامل واحد عند مقارنته بالعامل الآخر. (Saaty, 2008)

تم إعداد استبانة بهدف الحصول على آراء مجموعة من المحكمين حول اختيار البديل المناسب لكل عامل مؤثر على احتمالية توطن المياه الجوفية، إذ وزعت الاستبانة على عينة قصدية تتألف من 35 محكماً، وذلك عبر استخدام استبانة إلكترونية لغرض تحويل البدائل التي تم إقرارها من قبل المحكمين إلى أوزان تُستخدم في عملية جبر الخرائط، وجاءت المرحلة الثانية بإعداد مصفوفة المقارنة الزوجية لكل عاملين مؤثرين بدلالة بديليهما.

قبل البدء في بناء مصفوفة المقارنة الزوجية، تم تعديل المتوسط الموزون لاستجابات العينة وفقاً للأهمية النسبية لكل عامل مؤثر. يهدف استخراج المتوسط الموزون إلى إدراج جميع البدائل التي تم الحصول عليها وفقاً لمقياس AHP بحيث يتم تصحيح القيم الحقيقية لاستجابات العينة لتتوافق مع أقرب قيمة صحيحة في مقياس AHP. هذا التعديل يُسهّل عملية المقارنة الزوجية في المصفوفة التي تم انشاؤها اعتماداً على موقع AHP Online بهدف استنتاج الأهمية النسبية لكل عامل مؤثر على احتمالية توطن المياه الجوفية داخل المصفوفة مع استخراج مؤشر مستوى ثبات الاحكام (نسبة التناسق). إذ يقصد بنسبة التناسق هي النسبة الناتجة عن قسمة مؤشر التناسق Consistency index على مؤشر العشوائية Random Index وفقاً للمعادلة الآتية (Brunelli, 2014):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

اذ ان: CR = نسبة التناسق، RI = مؤشر العشوائية، CI = مؤشر التناسق يحسب بدوره طبقاً للمعادلة الآتية:

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

اذ ان: CI = مؤشر التناسق، $\lambda \max$ = الجذر الكامن لمصفوفة المقارنة الزوجية، n = عدد المعايير محل المقارنة.

اما مؤشر العشوائية فيمكن استخراجه من المعادلة الآتية:

$$RI = \frac{1.98(m - 2)}{m}$$

اذ ان: RI = مؤشر العشوائية، m = حجم المصفوفة.

تكمن الغاية من استخراج نسبة التناسق في معرفة مدى ثبات الأحكام التي تم جمعها من المحكمين عبر الاستبانة، والتحقق من عدم وجود تناقض بين هذه الأحكام وبناءً على ذلك وضع الـ Saaty نسبة تناسق قيمتها 10% (0.1) كمعيار لتقييم ثبات الأحكام في المصفوفة، فكلما كانت قيمة التناسق أقل من 10% دل ذلك على اقتراب الاحكام من الثبات وعدم التناقض والعكس صحيح (Wind and Saaty, 1980).

وعند بناء مصفوفة المقارنة الزوجية في موقع AHP Online تم الحصول على الأهمية النسبية (الأوزان) للعوامل الداخلة في عملية التحليل الهرمية، مع نسبة تناسق عالية جداً مقدارها 1.4% (0.014)، وهذه النسبة هي المسموح بها وفقاً لعملية التحليل الهرمية (الجدول 2).

الجدول 2: تقريب المتوسط الموزون لاستجابات العينة الى أقرب قيمة في مقياس AHP والاوزان.

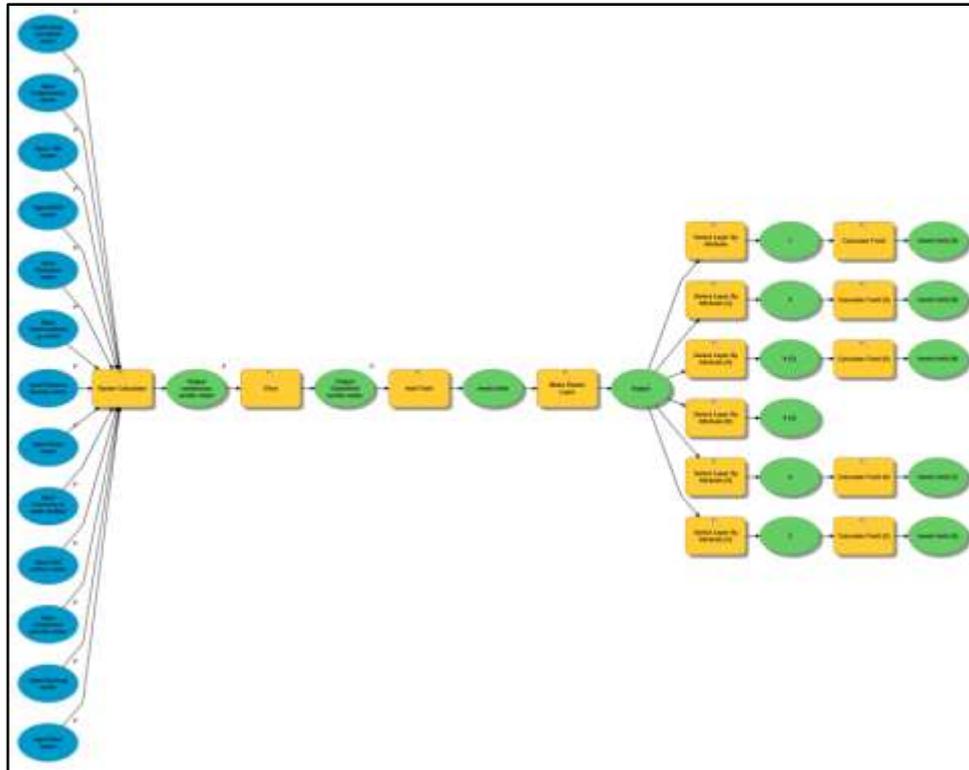
المعايير	المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الأهمية	التصحيح الى مقياس AHP	الوزن المطلق
الامطار	6.54	7	0.156
جيولوجيا المنطقة	6.02	6	0.1095
كثافة التراكيب الخطية	5.57	6	0.1095
انحدار سطح الارض	4.94	5	0.079
نسجة التربة	4.82	5	0.079
القرب من المسطحات المائية	4.82	5	0.079
كثافة الصرف	4.71	5	0.079

0.059	4	4.25	المظاهر الجيومورفولوجية
0.059	4	4.2	ارتفاعات المنطقة
0.059	4	4.14	الغطاء النباتي
0.044	3	3.4	التبخر
0.044	3	3.34	تقوس المنحدرات
0.044	3	3.28	مؤشر الرطوبة الطبوغرافي
1			المجموع

النتائج والمناقشة

تطوير اداة لتحديد المناطق المحتملة لتوطن المياه الجوفية

بعد الشروع في عملية التحليل الهرمية والحصول على الأوزان والأهمية النسبية لكل عامل مؤثر على احتمالية توطن المياه الجوفية، تم تطوير اداة خاصة بنمذجة احتمالية توطن المياه الجوفية تعمل في بيئة برمجية ArcGIS desktop 10.8، اذ تقوم الاداة المطورة بالجبر الموزون للخرائط على نحو آلي، وبذلك سوف تختصر تلك الاداة الاجراءات السابقة حول تحليل القرار متعدد المعايير، فضلا عن افادتها للباحثين الاخرين الذين يرومون الى نمذجة احتمالية توطن المياه الجوفية اعتمادا على ذات العوامل المعتمدة في هذا البحث. وبذلك لن يتطلب الامر القيام بإجراءات تحليل القرار متعدد المعايير مرة ثانية، وعلى الجانب الاخر سوف تقدم الاداة المطورة نتائجاً موضوعية لكونها مدعومة بقرارات مكانية نتيجة لاحتوائها على الازون الداخلية في بنيتها. بدأ تطوير الأداة ببناء الأنموذج المفاهيمي باستخدام التطبيق Model Builder، ثم حوّل الأنموذج إلى أداة بعد تحديد ماهية المعاملات Parameters الرئيسية التي يجب أن تبقى بين ايدي المستخدم بحيث يستطيع التحكم بالنمذجة المكانية لاحتمالية توطن المياه الجوفية على نحو شامل. سميت الاداة المطورة بـ Groundwater Potential Existence استنادا الى العمل الوظيفي الذي طورت الاداة من اجله وهي تعمل على النمذجة المكانية المنشودة استنادا إلى مجموعة من العوامل التي يجب أن يتم نمذجتها أولاً، ومن ثم يمكن إدخال النماذج آنفة الذكر كمدخلات إلى الاداة المطورة (الشكلان 5 و6).



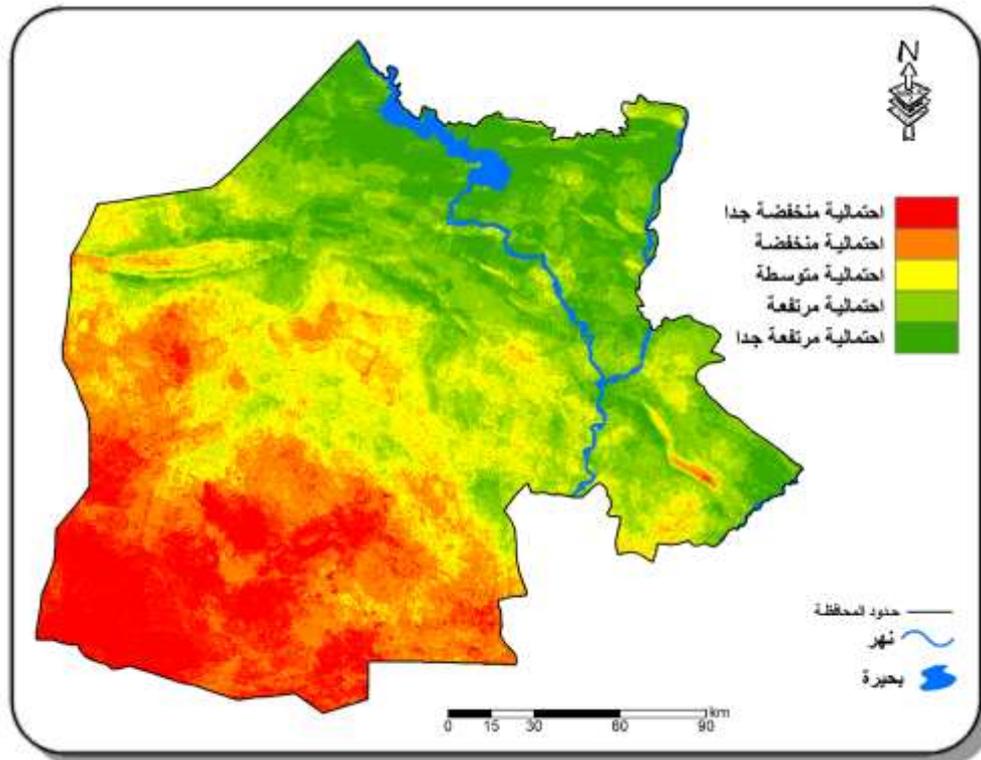
الشكل 5. الانموذج المفاهيمي للأداة المطورة الخاصة بنمذجة احتمالية توطن المياه الجوفية.



الشكل 6. معاملات الاداة المطورة لاحتمالية توطن المياه الجوفية.

تحديد مناطق احتمالية توطن المياه الجوفية

بناء على ما سبق تم استخدام الاداة المطورة في النمذجة المكانية لاحتمالية توطن المياه الجوفية لإنتاج خريطة نمذجة مكانية ومدعومة بقرارات مكانية. اذ يلاحظ ان احتمالية توطن المياه الجوفية تتخفف في المناطق الجنوبية والجنوبية الغربية من محافظة نينوى وترتفع تدريجياً بالاتجاه نحو الشمال والشمال الشرقي على الرغم من طبيعة سطحها المرتفع المضرس الا ان ارتفاع معدلات الامطار تدريجياً نحو الشمال قرب هذه المناطق من المسطحات المائية فضلاً عن ارتفاع كثافة الخطيات والغطاء النباتي وانخفاض معدلات التبخر فيها، كان كل ذلك له الأثر الاكبر في ارتفاع احتمالية توطن المياه الجوفية في هذه المناطق (الشكل 7 والجدول 3).



الشكل 7. احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى.

صنفت خريطة احتمالية توطن المياه الجوفية إلى خمسة اصناف بمستوى تصاعدي وهي (منخفضة جدا، منخفضة، متوسطة، مرتفعة ومرتفعة جدا)، وقد ابرزت نتائج البحث أن المناطق ذات الاحتمالية المنخفضة جدا شكلت مساحة قدرها نحو 5697.65 كم² بنسبة (14.72%) من مساحة محافظة نينوى، والمنخفضة شكلت 7692.43 كم² بنسبة (19.87%)، اما المتوسطة فقد شكلت 9072.5 كم² بنسبة (23.32%)، في حين شكلت المرتفعة 9433.82 كم² بنسبة (24.37%)، اما المرتفعة جدا فقد وصلت مساحتها الى ما يقرب من 6345.96 كم² بنسبة (16.39%) من مساحة المحافظة.

الجدول 3: مستويات احتمالية توطن المياه الجوفية في محافظة نينوى.

النسبة %	المساحة كم ²	اصناف الاحتمالية
14.72	5697.65	احتمالية منخفضة جدا
19.87	7692.43	احتمالية منخفضة
23.32	9027.5	احتمالية متوسطة
24.37	9433.82	احتمالية مرتفعة
16.39	6345.96	احتمالية مرتفعة جدا
98.67	38197.36	المجموع
1.33	515.98	المسطحات المائية
100	38713.35	المجموع النهائي

تحليل الحساسية

يعرف تحليل الحساسية Sensitivity Analysis بأنه عملية تحديد المتغيرات الرئيسة التي تؤثر بشكل أساسي على أداء النموذج وتشغيله، تقوم هذه المتغيرات بأدوار حيوية في تحديد معايير النموذج وضبطه وتحسين أدائه وتقدير مستوى عدم اليقين (Song et al., 2015)، كما انه أسلوب حسابي يستخدم لتوقع تأثيرات التغييرات في قيم المدخلات على النتائج المُخرجة للنظام (Jovanovic, 1999). وفي سياق انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية يكون تحليل الحساسية قائماً على منهجين: الاول، يكمن في قياس مدى وقوة ارتباط العوامل المؤثرة في انموذج الاحتمالية لمعرفة أكثر العوامل حساسية، اما الثاني، فيعنى بالخروج بمعادلة تنبؤية لبناء انموذج أمثلية Optimization Model قائم على أكثر العوامل حساسية لأنموذج احتمالية توطن المياه الجوفية اذ يمكن استخدامه في حال تغيرت قيم العوامل مستقبلاً.

1- ارتباط العوامل في انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية

في سياق العلاقة الارتباطية بين انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية والمعايير المؤثرة فيه، يكون الهدف من تحليل الحساسية هو اكتشاف رؤى أعمق حول تفاعل المعايير المؤثرة وقوة الارتباط بينها وبين هذه النماذج، وهنا يلعب معامل ارتباط بيرسون دوراً مهماً في تسليط الضوء على درجة الترابط بين هذا الانموذج والمعايير المؤثرة فيه، اذ يعبر عن معامل ارتباط بيرسون في المعادلة الآتية (Bakar and Sofian, 2017):

$$\sum_{i=1}^n r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

اذ ان: r = معامل ارتباط بيرسون، x, y = قيم المتغيرين، n = عدد القيم (الملاحظات)

اظهر تحليل الحساسية ان العامل الاكثر ارتباطا في انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية هو عامل المطر بقيمة ارتباط بلغت (0.9)، يليه كل من العامل الجيولوجي والقرب من المسطحات والغطاء النباتي بقيمة ارتباط بلغت (0.8)، ثم يأتي العامل الجيومورفولوجي بقيمة (0.7)، وتعد هذه العوامل الخمس هي الاكثر حساسية في الانموذج (الجدول 4).

الجدول 4: علاقة ارتباط بيرسون بين انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية والعوامل المؤثرة فيه.

العوامل	قيمة الارتباط	نوع العلاقة	قوة العلاقة
عامل المطر	0.9	طردية	قوية
العامل الجيولوجي	0.8	طردية	قوية

معتدلة	طرديّة	0.6	عامل كثافة الخطيات
ضعيفة	عكسية	-0.1	عامل الانحدار
ضعيفة	عكسية	-0.3	عامل نسجة التربة
قوية	طرديّة	0.8	القرب من المسطحات المائية
ضعيفة	طرديّة	0.3	عامل كثافة شبكة المجاري المائية
قوية	طرديّة	0.7	العامل الجيومورفولوجي
معتدلة	عكسية	-0.5	عامل ارتفاعات سطح الارض
قوية	طرديّة	0.8	عامل الغطاء النباتي
ضعيفة	طرديّة	0.3	عامل التخر
ضعيفة	طرديّة	0.1	عامل تقوس المنحدرات
ضعيفة	عكسية	-0.3	عامل مؤشر الرطوبة الطبوغرافي

2- بناء انموذج أمثلية

يلعب تحليل الانحدار المتعدد Multi Regression Analysis دوراً متميزاً في بناء أنموذج تنبؤي الذي يعد بمثابة أداة فعالة لفهم وتحليل العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية، الذي يطلق عليها بأنموذج الأمثلية Optimization Model، هذا الانموذج الرياضي يساعد في التنبؤ بالقيم المستقبلية للمتغير التابع (انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية) في حال تغيرت قيم المتغيرات المستقلة (العوامل المؤثرة في انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية) و فهم التأثيرات المتبادلة بين المتغيرات، إذ تأخذ معادلة الانحدار المتعدد الصيغة الآتية (Montgomery et al., 2021):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$$

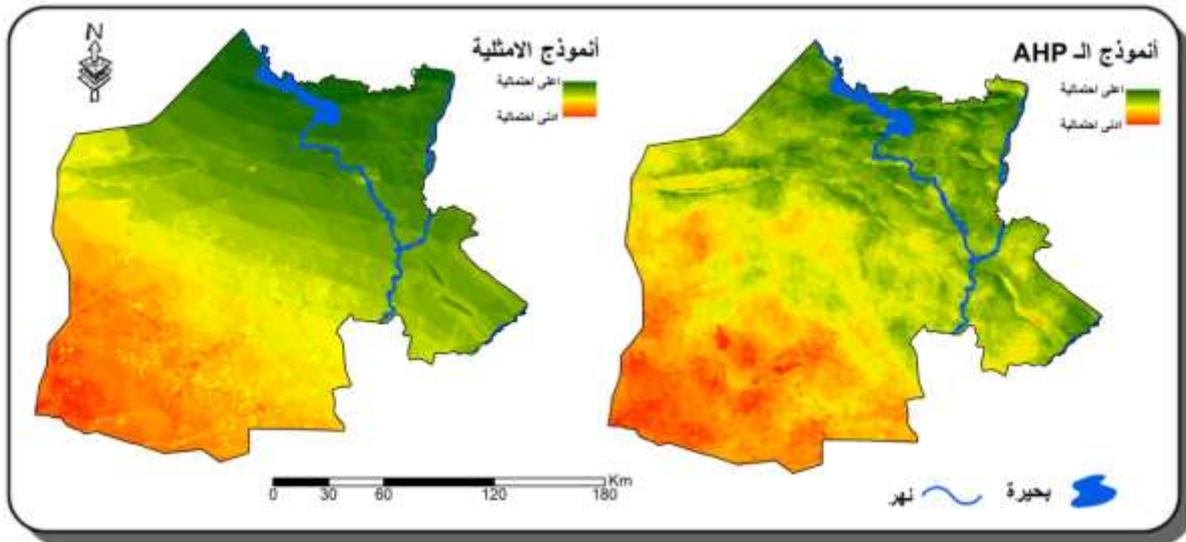
اذ ان: Y = المتغير التابع؛ X_1, X_2, X_p = المتغيرات المستقلة (المتغيرات التي تؤثر على المتغير التابع)؛ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_p$ = معاملات الانحدار (الميل) التي يتم تقديرها من البيانات؛ ε = الخطأ العشوائي الذي لا يمكن تفسيره بواسطة المتغيرات المستقلة.

وبذلك انتخبت خمس عوامل رئيسية هي (عامل المطر، العامل الجيولوجي، عامل القرب من المسطحات المائية، عامل الغطاء النباتي، العامل الجيومورفولوجي) بناءً على العلاقات الارتباطية القوية لهذه العوامل مع انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية وفقاً لما اظهره تطبيق معامل ارتباط بيرسون، ثم ادخلت تلك العوامل المنتخبة الى تحليل الانحدار المتعدد بغية التنبؤ بقيم المتغير التابع استناداً إلى القيم المعطاة للمتغيرات المستقلة، وبذلك تم انتاج معادلة تنبؤية بالصيغة الآتية:

$$OM = 2.213 + 0.1303 X_1 - 0.078 X_2 + 0.0681 X_3 + 0.344 X_4 + 0.285 X_5 + 0.0241 X_2^2 - 0.0463 X_4 * X_5$$

اذ ان: OM = Optimization Model أنموذج الأمثلية (متغير تابع)؛ X_1 = عامل المطر (متغير مستقل)، X_2 = العامل الجيولوجي (متغير مستقل)؛ X_3 = عامل القرب من المسطحات المائية (متغير مستقل)، X_4 = عامل الغطاء النباتي (متغير مستقل)؛ X_5 = العامل الجيومورفولوجي (متغير مستقل).

وبتطبيق المعادلة اعلاه باستخدام الأداة Raster Calculator في برمجية Arc GIS Desktop 10.8، تم بناء أنموذج أمثلية لاحتمالية توطن المياه الجوفية. ولغرض تقييم دقة انموذج الأمثلية، تم فحص العلاقة الارتباطية بينه وبين انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية الذي تم انتاجه سابقاً بتطبيق عمليات التحليل الهرمية AHP وذلك باستخدام معامل ارتباط بيرسون الذي اظهر ان قوة العلاقة بين الأنموذجين بلغت نحو (0.8)، وهذا يدل على صحة ودقة المعادلة التنبؤية لبناء انموذج أمثلية قادر على التنبؤ في حال تغيرت قيم العوامل المؤثرة على احتمالية توطن المياه الجوفية في المستقبل (الشكل 8 والجدول 5).



الشكل 8. نماذج احتمالية توطن المياه الجوفية بطريقتي الـ AHP والامتثلية.

الجدول 5. العلاقة الارتباطية بين انموذج احتمالية توطن المياه الجوفية بطريقة الـ AHP وانموذج الامتثلية.

الانموذج	قيمة الارتباط	نوع العلاقة	قوة العلاقة
انموذج الأمتثلية	0.8	طردية	قوية

الاستنتاجات

- 1- بين البحث قدرة نظم المعلومات الجغرافية على النمذجة المكانية لاحتمالية توطن المياه الجوفية بوصفها تقانة فعالة من حيث الوقت والجهد والتكلفة لتحديد المناطق المحتملة لتوطن هذه المياه.
- 2- يتميز سطح محافظة نينوى بتنوع فيزيوغرافي لافت للنظر مما ساهم في وجود تباينات مكانية كبيرة في احتمالية توطن المياه الجوفية داخل المحافظة، اذ شكلت المناطق ذات الاحتمالية المنخفضة جدا نسبة 14.72% من اجمالي مساحتها، اما المناطق ذات الاحتمالية المنخفضة، والمتوسطة، والمرتفعة، والمرتفعة جدا، شكلت (19.72%) (23.32%) (24.37%) (16.39%) على التوالي، وبذلك يأخذ سياق التوزيع المكاني لانتشار مناطق احتمالية توطن المياه الجوفية انخفاضا في المناطق الجنوبية والجنوبية الغربية من محافظة نينوى وترتفع تدريجيا بالاتجاه نحو الشمال والشمال الشرقي من حيزها المكاني.
- 3- تتطلب النمذجة المكانية لاحتمالية توطن المياه الجوفية تكاملات ضمنية بين نظم المعلومات الجغرافية من جانب ونظم دعم القرار المكاني من جانب آخر، ذلك للتقليل من حتمية الرياضيات المستخدمة في جبر الخرائط؛ إذ تعمل نظم المعلومات الجغرافية على تحويل البيانات العددية وفقا لمعادلات رياضية إلى طبقات خلوية Raster Layers، في حين يعمل نظام دعم القرار المكاني على تقديم الأوزان اللازمة للمتغيرات الداخلة في عملية جبر الخرائط وفقا لآراء جملة من المحكمين وبمستوى ثقة مقبول إحصائيا.
- 4- يشير انموذج الأمتثلية لاحتمالية توطن المياه الجوفية الى أن عوامل المطر والجيولوجيا والجيومورفولوجية، والقرب من المسطحات المائية، والغطاء النباتي، هي العوامل الأكثر حساسية في أنموذج احتمالية توطن المياه الجوفية الذي تم انتاجه بعمليات التحليل الهرمية AHP.
- 5- يمكن استخدام الأداة Groundwater Potential Existence التي طُورت في هذا البحث مع أي حيز مكاني يشبه الخصوصية المكانية لمحافظة نينوى، كما يمكن تداول الأداة المطورة والعمل عليها من لدن الباحثين الجغرافيين والمخططين بعد الحصول على رخصة من مؤسسة ESRI، شريطة أن يتوفر في حواسيبهم برمجية ArcGIS Desktop ضمن الاصدار 10.8، وكذلك الاصدارات الأحدث ان وجدت.

المصادر

- Abdulateef, Z.A. and Ali, H.Z., 2013. Calculating Topographic Index Using Arc GIS. Iraqi Journal of Science and Technology, Vol. 4, No. 2, 2 P. <https://www.iasj.net/iasj/download/4514ba8aa52080cf>
- Abu Bakar, N. and Rosbi, S., 2017. Robust Statistical Pearson Correlation Diagnostics for Bitcoin Exchange Rate with Trading Volume: An Analysis of High Frequency Data in High Volatility Environment, International Journal of Advanced Engineering, Management and Science, Vol. 3 No. 12, pp. 1135-1142. DOI: <https://dx.doi.org/10.24001/ijaems.3.12.7>
- Agarwal, R. and Garg, P., 2016. Remote sensing and GIS Based Groundwater Potential and Recharge Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision-Making Technique, Water resources management, Vol.30, No.1, 235 P. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1159-8>
- Al-Daghestani, H.S., 2007. Geomorphologic Map of Nineveh Governorate, Northwestern Iraq Using Visual Image Interpretation. Raf. Jour. Sci, Vol. 18, No.1, pp. 81-90.
- Al-Assadi, S.A.A., 2017. Geography of Natural Resources, Dar Al-Maaref, Lebanon, 29 P. (In Arabic)
- Al-Jawari, W.H. and Khadr, S.H.K., 2021. Evaluating the Quality of Groundwater for Different Uses in Rabia District, Al-Rafidain Journal of Arts, University of Mosul, Vol. 51, No. 86, 475 P. (In Arabic)
- Blaga, L., 2012. Aspects Regarding the Significance of the Curvature Types and Values in the Studies of Geomorphometry Assisted by GIS, Anal. Univ. Oradea Ser. Geogr, Vol. 2, No. 12, pp. 327-337. https://geografie-uradea.ro/Reviste/Anale/Art/2012-2/AUOG_599_Blaga.pdf
- Brunelli, M., 2014. Introduction to the Analytic Hierarchy Process. Springer, pp. 24-25. <https://aalto.doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15146/isbn9783319125022.pdf?sequence>
- Daoud, T.G., 2002. Applied Earth's Surface Forms, University House for Printing, Publishing and Translation, Basra, 206 P. (In Arabic)
- Díaz-Alcaide, S. and Martínez-Santos, P., 2019. Advances in Groundwater Potential Mapping. Hydrogeology Journal, Vol. 27, No. 7, 6 P. DOI: [10.1007/s10040-019-02001-3](https://doi.org/10.1007/s10040-019-02001-3)
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., and Vining, G.G., 2021. Introduction to Linear Regression Analysis. John Wiley and Sons, 26 P.
- Ghathwan, M.I., 2011. Land Slopes in the Alqosh Region: a Study in Applied Geomorphology, Unpublished MSc. Thesis, College of Education, University of Mosul, 49 P. (In Arabic)
- Gintamo, T.T., 2015. Ground Water Potential Evaluation Based on Integrated GIS and Remote Sensing Techniques, in Bilate River Catchment: South Rift Valley of Ethiopia. American Scientific Research Journal for Engineering Technology and Science, Vol. 10, No.1, pp. 85-120.

- Gnanachandrasamy, G., Zhou, Y., Bagyaraj, M., Venkatramanan, S., Ramkumar, T., and Wang, S., 2018. Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential Zone Mapping in Ariyalur District, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, Vol. 92, pp. 484-490. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12594-018-1046-z>
- Gupta, M., and Srivastava, P. K., 2010. Integrating GIS and Remote Sensing for Identification of Groundwater Potential Zones in the Hilly Terrain of Pavagarh, Gujarat, India *Water International*, Vol. 35, No. 2, 237 P. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508061003664419>
- Haghizadeh, A., Moghaddam, D.D., and Pourghasemi, H.R., 2017. GIS-Based Bivariate Statistical Techniques for Groundwater Potential Analysis (an Example of Iran). *Journal of Earth System Science*, Vol. 126, No. 23, pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0888-x>
- Ibrahim, H.A. and Ghaffar, S.H., 2006. Spatial Analysis of Groundwater and its Investment in Saladin Governorate, Sir Min Ray Magazine, Vol. 3, Issue 3, Tikrit University, 109 P. (In Arabic)
- Ibrahim-Bathis, K. and 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*, Vol. 19, No. 2, pp. 223-234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.002>
- Jovanovic, P., 1999. Application of Sensitivity Analysis in Investment Project Evaluation Under Uncertainty and Risk, *International Journal of Project Management*, Vol. 17, No. 4, 218 P. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00035-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00035-0)
- Mallick, J., Singh, C.K., Al-Wadi, H., Ahmed, M., Rahman, A., Shashtri, S., and Mukherjee, S., 2015. Geospatial and Geostatistical Approach for Groundwater Potential Zone Delineation, *Hydrological Processes*, Vol. 29, No. 3, 408 P. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10153>
- Mallick, J., Khan, R.A., Ahmed, M., Alqadhi, S.D., Alsubih, M., Falqi, I., and Hasan, M.A., 2019. Modeling Groundwater Potential Zone in a Semi-Arid Region of Aseer Using Fuzzy-AHP and Geoinformation Techniques. *Water*, Vol. 11, No. 12, 2656 P. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11122656>
- Moghaddam, D.D., Rezaei, M., Pourghasemi, H.R., Pourtaghie, Z.S., and Pradhan, B., 2015. Groundwater Spring Potential Mapping Using Bivariate Statistical Model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 8, No. 1, pp. 913-929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1161-5>
- Raml, Q.A, 2013. Geographical Analysis of Groundwater in Anah District, Sir Min Ra Magazine, Samarra University, Vol. 9, No. 34. 150 P. (In Arabic)
- Saaty, T., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, No. 3, pp. 234-281. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T., 1986. Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, Vol. 32, No. 7, pp. 841-855. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.841>
- Saaty, T. L., 2008. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 85 P. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

- Shamuyarira, K.K., 2017. Determination of Recharge and Groundwater Potential Zones in Mhinga Area, South Africa, PhD Thesis, unpublished, School of Environmental Sciences, Venda University, 24 P.
- Song, X., Zhang, J., Zhan, C., Xuan, Y., Ye, M., and Xu, C., 2015. Global Sensitivity Analysis in Hydrological Modeling: Review of Concepts, Methods, Theoretical Framework, and Applications, Journal of Hydrology, Vol. 523, pp. 739-757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.013>
- Tucker, C. J., 1980. A Spectral Method for Determining the Percentage of Green Herbage Material in Clipped Samples. Remote Sensing of Environment, Vol. 9, No. 2, pp. 175-181. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(80\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(80)90007-3)
- Wind, Y. and Saaty, T.L., 1980. Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. Management science, Vol. 26, No. 7, 646 P. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>
- Zhu, Q. and Abdelkareem, M., 2021. Mapping Groundwater Potential Zones Using a Knowledge-Driven Approach and GIS Analysis. Water, Vol. 13, No. 5, 579 P. <https://doi.org/10.3390/w13050579>