

Soil Properties Prediction and Assessment Using Geographic Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP)

Dr. Toufik Fayyad*
Dr. Mohammad Mhanna**
Amjad Ibraheem***

(Received 27 / 10 / 2022. Accepted 15 / 11 / 2022)

□ ABSTRACT □

Geographic information systems is an effective tool for displaying and analyzing spatial data, and has shown a very important role in various aspects of geotechnical engineering, including the preliminary investigation stage. This study aims to achieve integration between geotechnical investigations and geographic information systems (GIS) to predict soil properties in unexplored places, as this was applied in the study area, which is (Aleddikhar square) in Latakia city, with a total area estimated at (115) acres, and the number of bores is (45) to enter data into the (GIS) environment and (5) bores to calibrate the results. The Inverse Distance Weighted method was adopted as a mathematical statistical method for predicting data in unexplored locations. The accuracy of the work was (87.72%) by comparing the data resulting from the maps of the five bores with the real data of those bores. With the aim of evaluating the study area according to the tested parameters and soil properties, a map was developed using the Analytic Hierarchy Process, based on GIS, and by studying four factors: (soil classification, natural land slope, ground water level and swelling potential). Note that the study area was divided into three categories according to its building suitability.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), Geotechnical Investigations, Inverse Distance Weighted (IDW).

* Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. E-Mail: drtoufikf@gmail.com.

** Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. E-Mail: mohannad.mhanna@gmail.com.

***Postgraduate (Master), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. E-Mail: amjadibraheem@gmail.com

التنبؤ بخصائص التربة وتقييمها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وعملية التحليل الهرمي (AHP)

د. توفيق فياض*

د. مهند مهنا**

أمجد ابراهيم***

(تاريخ الإيداع 27 / 10 / 2022. قُبِلَ للنشر في 15 / 11 / 2022)

□ ملخص □

يعد نظام المعلومات الجغرافية أداة فعالة لعرض وتحليل البيانات المكانية، وقد أظهر دوراً مهماً للغاية في مختلف جوانب الهندسة الجيوتكنيكية بما فيها مرحلة التحريات الأولية. تهدف هذه الدراسة الى تحقيق التكامل بين التحريات الجيوتكنيكية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) للتنبؤ بخصائص التربة في الأماكن غير المسبورة، حيث تم تطبيق ذلك في منطقة الدراسة وهي مشروع سكن الادخار في مدينة اللاذقية وبمساحة إجمالية تقدر بـ (115) دونم وبعدها سبور (45) سبر لإدخال البيانات الى بيئة الـ (GIS) و(5) سبور لمعايرة النتائج. اعتمدت طريقة مقلوب المسافة الموزونة (Inverse Distance Weighted) كطريقة احصائية رياضية للتنبؤ بالبيانات في الأماكن غير المسبورة. بلغت دقة العمل (87.72%) من خلال مقارنة البيانات الناتجة من الخرائط للسبور الخمسة مع البيانات الحقيقية لتلك السبور. وبهدف تقييم منطقة الدراسة بحسب البارامترات المختبرة وخصائص التربة، تم تطوير خريطة باستخدام طريقة التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process) اعتماداً على نظم المعلومات الجغرافية من خلال دراسة أربعة عوامل هي: (تصنيف التربة، ميل الأرض الطبيعية، عمق المياه الجوفية، قابلية انتفاخ التربة). علماً بأنه قد تم تقسيم منطقة الدراسة الى ثلاث فئات بحسب صلاحيتها للبناء.

الكلمات المفتاحية: نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، طريقة التحليل الهرمي (AHP)، التحريات الجيوتكنيكية، طريقة مقلوب المسافة الموزونة (IDW).

* أستاذ - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية - البريد الإلكتروني: drtoufik@gmail.com
**مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية - البريد الإلكتروني: mohannad.mhanna@gmail.com
***طالب ماجستير - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية - البريد الإلكتروني: amjadibraheem@gmail.com

مقدمة:

تعتمد الهندسة الجيوتكنيكية بشكلٍ كبيرٍ على خصائص التربة تحت الموقع وهو ما يعرف بشروط ما تحت السطح (Sub surface site condition)، ولهذا فيتعيّن على المهندس أو الدارس أن يهَيئ البيئة المناسبة للتفاعل بين المنشأة الهندسيّة على الأرض وبين كتلة التربة ذاتها.

1-1. طرق وأساليب التحريات الجيوتكنيكية:

- طرق تقليدية: وهي الطرق المتعارف عليها عالمياً منذ زمن بعيد، وتقسّم بدورها الى قسمين أساسيين:
 - طرق مباشرة: (السيور، التجارب الحقلية، اختبارات التحميل ...).
 - طرق غير مباشرة: (اختبار التوصيل الكهربائي، تجربة الانكسار السيسمي ...).
- طرق غير تقليدية (متقدمة): تعتمد هذه الطرق بشكلٍ أساسي على مواكبة التطور التكنولوجي الحاصل (التجهيزات، البرمجيات ...).

1-2. نظام المعلومات الجغرافية (GIS):

عرّف (Murugan and Stalin, 2016) نظام المعلومات الجغرافية بأنه نظام حاسوبي يساعد في التوصل الى الحلول والقرارات السديدة المبنية على معالجة وتحليل المعطيات والمعلومات بأنواعها المختلفة بعد ربطها بمواقعها الجغرافية مستخدماً نظم إدارة قواعد البيانات من أجل معالجة المشاكل أو حتى التنبؤ بها أو تلافيها قبل حدوثها من خلال توفير بيئة كاملة تختصر الزمن والكلفة على المهندسين أو المجموعة الدارسة. وتجب على معظم التساؤلات التي قد تنشأ خلال مرحلة التخطيط الأولي لإعداد الدراسة.

1-2-1. تطبيقات عن استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لدراسات مرجعية سابقة:

قام (Habibullah et al., 2012) بنشر ورقة علمية اختصت بدراسة ظاهرة التسيل، واستخدم فيها نظام (GIS) لوضع خرائط جيوتكنيكية بهدف تحديد ووصف خطورة المنطقة لإمكانية حدوث هذه الظاهرة من ذلك من خلال تحديد قيم معامل التسيل المحتمل. استخدم الباحثون الطريقة الإحصائية الرياضية **Kriging** في دراستهم المنجزة، حيث كانت الحالة الدراسية لمدينة ساتي سايتام اليابانية، والتي سبق لها وأن دمرت بشكلٍ شبه كامل (8 مرات. إنّ العدد الكلي للسيور هو (50) سبر متوزعة في أنحاء مختلفة من المدينة، تم دراسة معامل التسيل المحتمل بعد الحصول على المعطيات اللازمة واجراء الحسابات في برنامج Excel لتكون هذه القيم معطيات إدخال لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية.

استخدم نظام المعلومات الجغرافية من قبل (Murugan and Stalin, 2016) في إعداد خرائط جيوتكنيكية للبارامترات (تصنيف التربة في المنطقة، عدد ضربات SPT، قدرة تحمل التربة). إنّ المنطقة المدروسة كانت مدينة Chennai الهندية بمساحة (159Km²)، وقد تمّ جمع المعلومات اللازمة من أجل وضع هذه الخرائط من خلال (900) سبر موزع على كامل مساحة المنطقة المدروسة، واستخدموا في دراستهم الطريقة الإحصائية الرياضية **Kriging**. أعدّ (Labib and Nashed, 2013) خريطة لخصائص التربة الانتفاخية وكذلك ضغط الانتفاخ المحتمل في مواقع مختلفة ضمن منطقة الدراسة (ترعة الشيخ زايد في منطقة توشكى في مصر). بلغ عدد السيور المعتمد (53) سبراً بأعماق تتراوح بين (4.65~26)m، وتوصلت الدراسة إلى أنّ القيمة العظمى لضغط الانتفاخ كانت (22.6 kg/cm²)، بينما بلغت القيمة الدنيا لضغط الانتفاخ (3 kg/cm²).

وفي دراسةٍ أخرى، استخدم (Kadhim and Al-abody, 2015) نظام (GIS) لوضع خريطةٍ لقدرة تحمل تربة منطقة الإمام في مدينة بابل العراقية، حيث قام الباحثان بتجميع المعلومات اللازمة لقاعدة البيانات من (المركز القومي العراقي للمختبرات الإنشائية، المكتب الاستشاري في جامعة بابل وشركة المعول لتحريات التربة). وكان القطاع المدروس مدينة بابل العراقية بمساحة تقدّر بحوالي (233 km²) ويعدد سبور (17) وعمق (10m). أعدت خرائط قدرة تحمل التربة للأعماق التالية (1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10) m، وتوصل البحث إلى أنّ أكبر قيمة لقدرة التحمل المسموحة هي (16.9 t/m²) عند العمق (1.5m) وأخفض قيمة (2.01 t/m²) عند العمق (10m).

أنجزت دراسةً جيوتكنيكيةً وجيولوجيةً شاملة باستخدام نظام المعلومات الجغرافية من قبل (Tadios, 2013) بغية وضع خريطةٍ تحدد مدى إمكانية البناء في منطقة ضمن مدينة (Shire-Indasilasi) شمال أثيوبيا، حيث تعتبر هذه المدينة من المدن المتنامية بسرعة بسبب الزيادة الكبيرة في عدد السكان وتوسعهم في جميع الاتجاهات حول المدينة دون الخوض في مرحلة التخطيط ودون إجراء تقييم للعوامل الجيولوجية والجيوتكنيكية في المنطقة المدروسة. تم استخدام الطريقة التحليلية الهرمية (Analytic hierarchy process) AHP، وكانت الشريحة المدروسة بمساحة تقدر بحوالي (21.6 km²) وعدد سبور (26) لأعماق (0~2.5) m. حصل Tadios على معلوماتٍ في بداية المشروع من بلدية المدينة أظهرت ثلاث مشاكل رئيسية: (قيم هبوط في المباني وشقوق في جدرانها، صعوبات في ظروف التشييد أحياناً بسبب ارتفاع منسوب المياه الجوفية، أضرار ناجمة عن الفيضانات المتكررة). قُيِّمت هذه العوامل من خلال التحريات الميدانية، وتم توجيه الدراسة بشكل خاص نحو تحديد وتصنيف العوامل الرئيسية التي تؤثر على مدى ملائمة توسع المناطق السكنية. ومن أجل ذلك، قام Tadios بدراسة 4 بارامترات أساسية (ميل المنحدر، تصنيف التربة، قابلية التربة للانتفاخ، منسوب المياه الجوفية)، وتوصل إلى وضع خريطة قابلية البناء باستخدام تقنية (Weighted Linear Combination) من خلال مضاعفة أهمية العوامل ذات التأثير الأكبر مقابل العوامل الثانوية عبر تقسيمها إلى ثلاث فئات وذلك بعد تحديد أوزان البارامترات باستخدام طريقة التحليل الهرمي (AHP): (المنطقة الخضراء: هي المنطقة الأكثر قابلية للبناء، المنطقة الصفراء: متوسطة القابلية للبناء، المنطقة الحمراء: الأقل ملائمة للبناء).

درس (Khalil et al., 2021) اختيار المسار الأمثل لطريق سريع بين نقطتين بناءً على تقييم كل من (ثبات المنحدرات، خصائص التربة، اختبار نسبة التحمل CBR، كلفة التنفيذ...) في المنطقة الجغرافية المؤثرة. توصل البحث إلى وضع نموذج رياضي لإيجاد الممر الأمثل في الموقع المدروس.

درس (Akyol et al., 2014) بارامترات التربة ضمن قطاع محدد في بلدة Denizli وسط تركيا بهدف تقييم مدى صلاحية المنطقة المدروسة للبناء من خلال ربط البارامترات المدروسة مع بعضها. اشتملت هذه البارامترات على (تصنيف التربة وفقاً لنظام تصنيف التربة الموحد، عدد ضربات الـ SPT، سرعة أمواج القص Vs، عمق المياه الجوفية). أنجز 155 سبر في منطقة الدراسة بعمق متوسط 2m، تمت دراسة كل معيار مع المعايير الأخرى على أساس أولوياتهم وذلك بعد تصنيف أهمية كل منها، ليتم بعدها تشكيل مصفوفة من المعايير، ويتم من خلالها حساب شعاع المتجه الذاتي ودراسة الاتساق ثم تحليل البيانات التي تم الحصول عليها عبر نظام (GIS)، وانتهاءً باستخدام طريقة (AHP) لتحديد أوزان التقييم للمعايير المدروسة والتوصل إلى الخريطة التي تقسم مناطق البلدة إلى 5 تصنيفات.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمُن أهمية بحثنا المنجز بأن إعداد دراسة كهذه في منطقة ما سيكون بمثابة مرحلة دراسات أولية شبه متكاملة للمنطقة المدروسة، مما يقدّم كثيراً من التسهيلات لأي مشروع مستقبلي فيها. وبالتالي فإن أهمية البحث لا تكمن فيه كقيمة بحثية بحتة فقط، وإنما كقيمة كبيرة تُترجم إلى أرض الواقع كفاءة حقيقية يمكن الاستفادة منها لعشرات السنين، بحيث تشكل نواةً لخريطة جيوتكنيكية للمنطقة المدروسة مع إمكانية التعديل عليها في أي وقت بغرض تحديثها وتطويرها وتوسيع منطقة الدراسة بمجرد زيادة قاعدة البيانات.

يهدف البحث المقدم بشكل رئيسي إلى ما يلي:

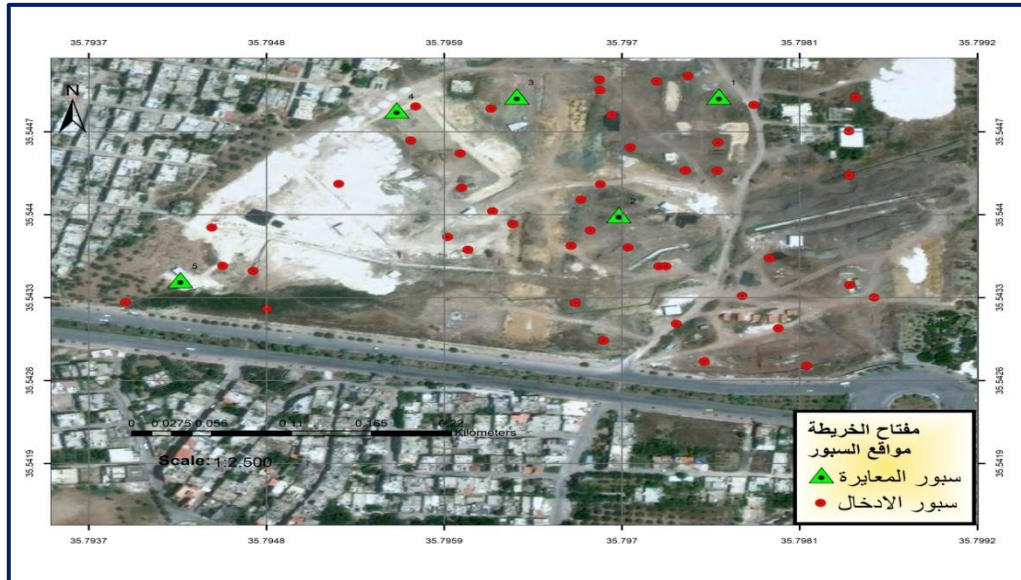
- بيان مدى إمكانية الاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في مجال الهندسة الجيوتكنيكية.
- تحقيق التكامل بين كل من نظام المعلومات الجغرافية والتحرّيات الجيوتكنيكية للتنبؤ بخصائص التربة بناء على المقارنة بين الطرق الإحصائية الموجودة في البرنامج (... IDW, Spline, Kriging).
- إيجاد النواة الحقيقية لآلية وضع خريطة جيوتكنيكية (تصنيف طبقات التربة، قدرة تحمل التربة، حدود أتربرغ، منسوب المياه الجوفية ...) لتكون داعماً للمهندس في إكمال مرحلة التحريات بشكل أفضل وبمجهود وتكاليف أقل.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث آلية العمل ضمن بيئة نظام المعلومات الجغرافية (GIS) الذي يختصر كثيراً من الوقت والجهد، فعندما نريد دراسة ظاهرة ما متغيرة جغرافياً فإنه يصعب بل يستحيل إجراء قياسات لجميع أماكن المنطقة المدروسة بسبب الكلفة العالية مادياً ومعنوياً على الشخص الدارس. لذلك يتم الاستعانة بالمنهج العلمي التحليلي لحل مثل هذه المشاكل، يعتمد ذلك على أخذ عينات متفرقة من هذه المنطقة المدروسة ومن ثم التنبؤ بالنقاط المجهولة (المناطق التي لم يتم أخذ عينات منها) وهذه العمليات الرياضية تسمى بالاشتقاق المكاني (Interpolation)، وتستند هذه العملية على النقاط المعلومة (التي تم أخذ القياسات منها) للتنبؤ بالنقاط المجهولة باستخدام نماذج رياضية معدة سلفاً داخل البرنامج، وهذا ما سنستعرضه خلال هذا البحث.

1. الدراسة التطبيقية المنفذة ضمن البحث.

الحالة الدراسية: مشروع سكن الأذخار في الجزء الشمالي من مدينة اللاذقية (سورية)، تمتد منطقة الدراسة على الاحداثيات شمالاً (35.54517074) حتى (35.54272554) جنوباً ومن الشرق (35.79856017) حتى الغرب (35.793926). تقدّر مساحة منطقة الدراسة بـ (11.5) هكتار، تم دراسة (50) سبر موزعة على منطقة الدراسة (استخدم 45 سبر منها كقيم إدخال لبيئة عمل GIS و 5 سبور منها كقيم معايرة لاختبار دقة مخرجات الدراسة).
يبين الشكل منطقة الدراسة المختبرة:



الشكل (1): منطقة الدراسة ومواقع سبور إدخال البيانات وسبور المعاييرة

استُخرجت قيم بارامترات الدراسة على عمق (3m)، وتمّ حساب البارامترات الأخرى بناءً على القيم المستخرجة للبيانات وهي (زاوية الاحتكاك، التماسك، قدرة تحمل التربة المسموحة، هبوط التربة، تصنيف التربة، قابلية التربة للانتفاخ، عمق المياه الجوفية، ميلان المنحدر...).

تم العمل على برنامج (Arc Gis 10.2.2) كبيئة عمل لدراسة البارامترات الخاصة بالتحريات الجيوإحصائية، وأعدت جداول البيانات بعد الحصول عليها من خلال التقارير الجيوإحصائية للأبراج السكنية لمشروع سكن الأذخار والتي هي من إعداد الشركة العامة للدراسات الهندسية. اعتمدت الطرق الإحصائية الرياضية المتوفرة ضمن بيئة عمل الـ GIS للتنبؤ بالمناطق غير المسبورة بناءً على بيانات سبور الأماكن المختبرة (المسبورة)، وذلك من خلال مقارنة نتائج هذه الطرق واختيار البديل الأفضل من خلال دقة النتائج ومقاربتها للبيانات الحقيقية، حيث تبين أن طريقة **Inverse Distance Weighted** هي البديل الأفضل في حالتنا.

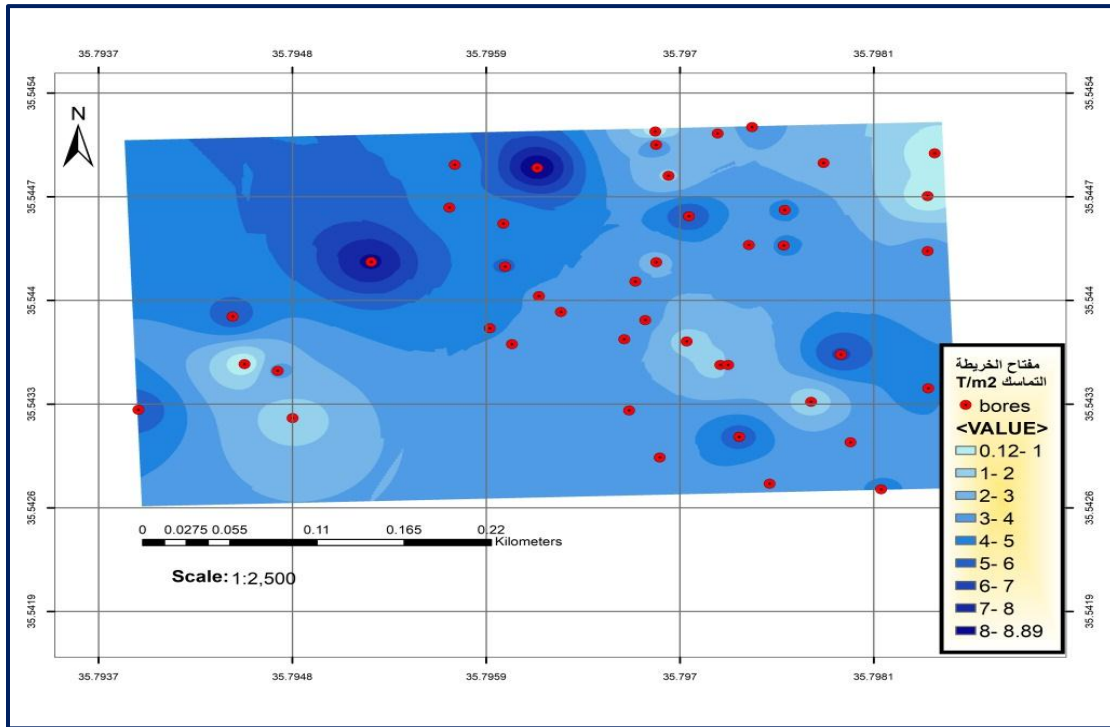
نقدم فيما يلي لمحة عن هذه الطريقة الإحصائية:

تعمل هذه الطريقة بشكل أفضل مع مجموعات النقاط الكثيفة وذات المسافات المتساوية نوعاً ما، وهي لا تأخذ بعين الاعتبار أي اتجاهات في البيانات. لذلك فمثلاً إذا تغيرت القيم الحقيقية بشكل أكبر بالاتجاه (الشمالي، الجنوبي) أكثر من الاتجاه (الشرقي، الغربي) من أجل (الميل، الرياح ...) أو أي مؤثر آخر، فإنّ السطح التنبؤي الناتج سوف يحيد عن هذا التميز في القيم بدلاً من الحفاظ عليه.

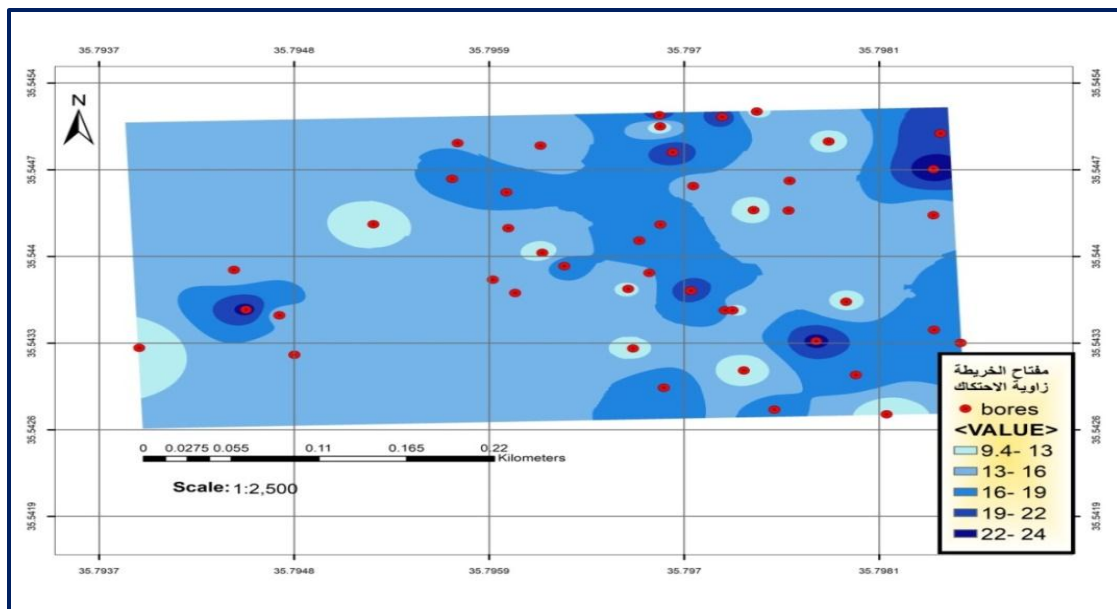
تأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار قيم نقاط العينة والمسافة التي تفصل بينها وبين الخلية المقدرة، بحيث يكون لنقاط العينة الأقرب إلى الخلية تأثيراً أكبر على القيمة المقدرة من نقاط العينة البعيدة. ولا يمكن لهذه الطريقة إجراء تقديرات أعلى من القيمة العظمى أو أقل من القيمة الأدنى لقيم العينات، كما أنّ القيم المقدرة للعينات هي عبارة عن متوسطات وبالتالي فإنّ السطح التنبؤي لن يمر عبر نقاط العينة.

النتائج والمناقشة:

يظهر الشكلان (2a) و(2b) قيم التماسك وزاوية الاحتكاك على الترتيب. بمقارنة الشكلين نلاحظ وجود تناسب عكسي بين القيمتين المدروستين، حيث تزداد قيمة زاوية الاحتكاك بالتزامن مع تناقص قيمة التماسك والعكس صحيح.

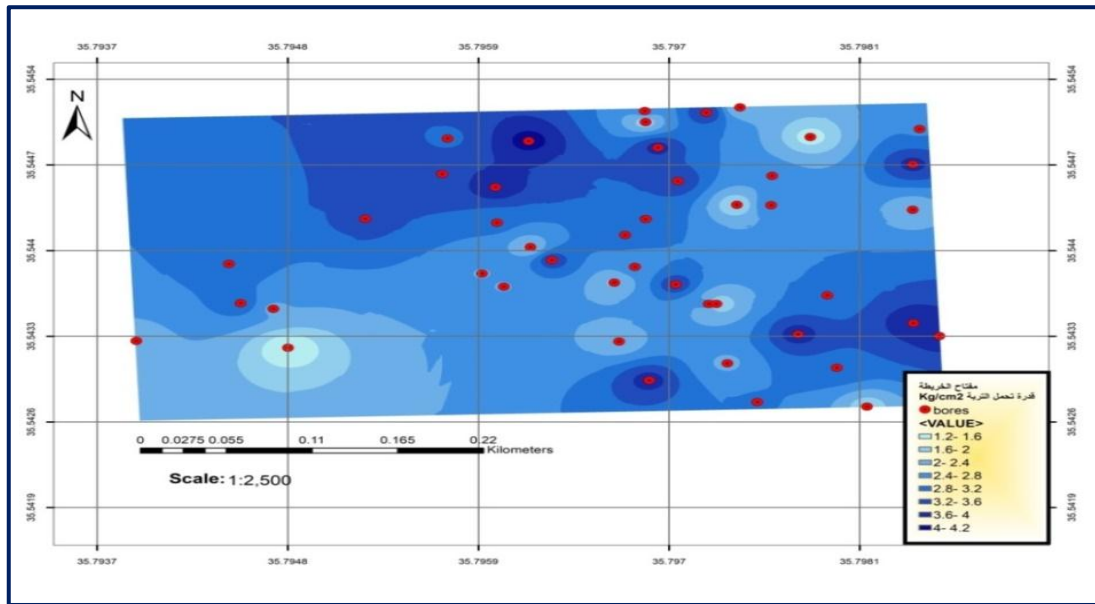


الشكل (2a): خريطة القيم المتوقعة للتماسك

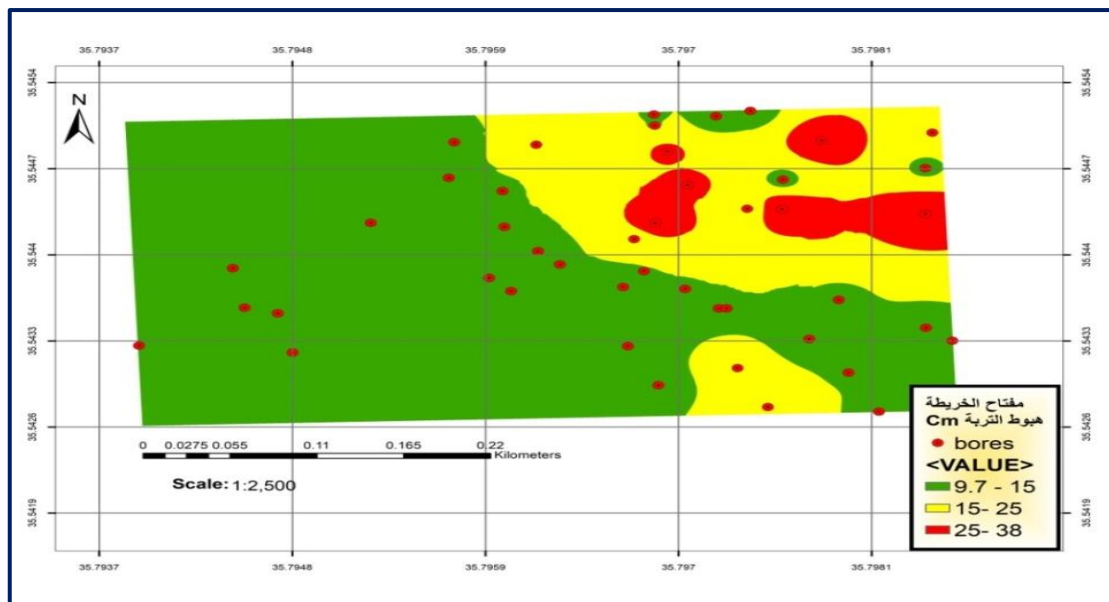


الشكل (2b): خريطة القيم المتوقعة لزاوية الاحتكاك

يظهر الشكلان (3a) و(3b) قيم كل من قدرة تحمل التربة المسموحة والهبوط على الترتيب، حُسبت قدرة التحمل بحسب الكود العربي الموحد وقد تم افتراض الأساس كحصىرة بأبعاد (22*34)m (قيمة وسطية بحسب الحوائير المستخدمة في أبراج سكن الادخار والواردة ضمن التقارير الجيوتكنيكية للمشروع) وبعمرق تأسيس 3m. تنوّعت قيم قدرة تحمل التربة المسموحة بين $1.2 \sim 4.2$ kg/cm². في حين تم دراسة قيم الهبوط من علاقاته المختلفة بحسب كل سبر ومن ثم اجراء تحليل لقيم الهبوط تلك بناء على الكود العربي السوري، حيث تبلغ القيمة الحدية المسموحة للهبوط للأساسات العميقة في التربة المتناسكة وفق الكود (15)cm.



الشكل (3a): خريطة القيم المتوقعة لقدرة تحمل التربة المسموحة



الشكل (3b): خريطة القيم المتوقعة لهبوط التربة

تم اختبار دقة النتائج السابقة من خلال مقارنة القيم المتوقعة لثلاثة بارامترات اختيرت بشكل عشوائي بعد استخراجها من خرائط الـ GIS مع القيم الحقيقية لذات النقاط من التقارير الجيوتكنيكية وسبور المعايير الخمسة، وكانت النتائج :



الشكل (4): مقارنة بين القيم الحقيقية والمتوقعة لزاوية الاحتكاك



الشكل (5): مقارنة بين القيم الحقيقية والمتوقعة للتماسك



الشكل (6): مقارنة بين القيم الحقيقية والمتوقعة لقدرة التحمل المسموحة

وبالتالي فإن دقة العمل يمكن التوصل لها كما يلي:

الجدول (1): تقييم نتائج دقة العمل المنجز

قدرة تحمل التربة المسموحة	التماسك	زاوية الاحتكاك	البارامتر المدروس
7.07	10.87	18.91	الخطأ الحسابي (%)
	12.28		المتوسط الحسابي الإجمالي للخطأ (%)
	87.72		دقة العمل (%)

1. دراسة وتحليل النتائج باستخدام طريقة التحليل الهرمية (Analytic Hierarchy Process):

إن طريقة التحليل الهرمي (AHP) وفقاً لـ (Abbas *et al.*, 2016) هي طريقة لصناعة القرار متعدد المعايير، ويمكن استخدامها لحل مسائل القرار المعقدة، تستخدم هذه الطريقة بناءً هرمياً متعدد المستويات من (أهداف، معايير، معايير ثانوية وبدائل). تشتق البيانات المتصلة باستخدام مجموعة من المقارنات الثنائية التي تستخدم للحصول على أوزان الأهمية لمعايير القرار وتقييم البدائل وفقاً لكل معيار فردي من معايير القرار المعتمدة. إن طريقة التحليل الهرمي تسمح لنا بترتيب الأهمية والأولويات لكل من المعايير أو البدائل وذلك باستخدام المقارنات الثنائية فيما بينها وتعطي هذه الطريقة أوزاناً تنقيحاً حسب الأهمية لكل معيار أو بديل في مستوى واحد مما يساعد على اتخاذ القرار الأفضل.

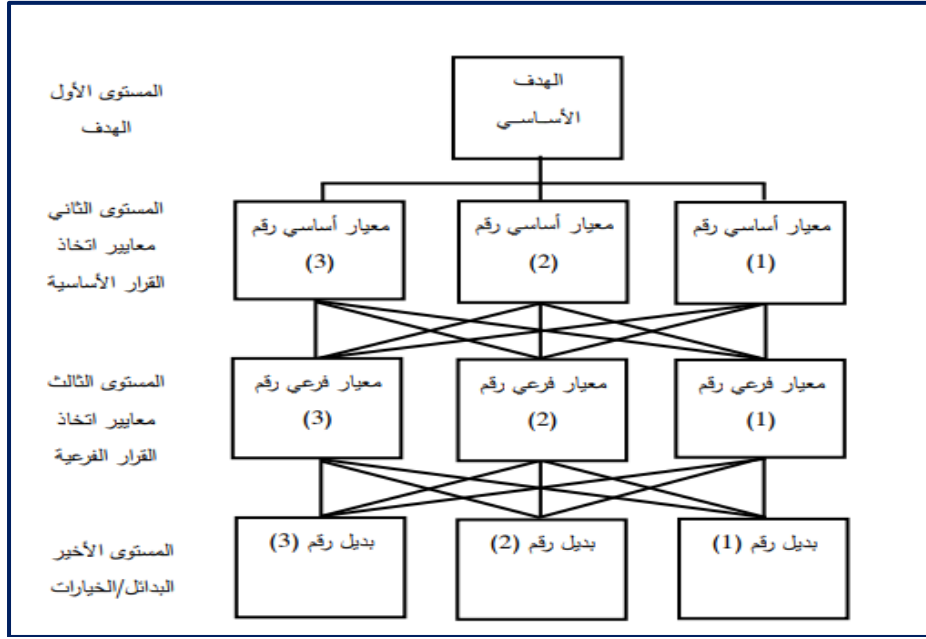
تعتمد طريقة التحليل الهرمي أساساً متعددة استناداً لـ (Bahurmoz, 2005):

□ تجزئة مشكلة القرار متعددة الأهداف إلى عناصر مستقلة عن بعضها ويمكن معالجة كل منها على حدى، ويتم ذلك بوصف شامل للمشكلة وهو ما نعرفه بالهدف. يلي ذلك تحديد المعايير التي بموجبها سوف تتم المفاضلة بين البدائل، ينتج عن ذلك شكل هرمي يتكون من عدة مستويات ويتكون كل مستوى من عدة عناصر محددة يمكن مقارنتها ثنائياً بالعناصر الموجودة في المستوى الأعلى منها مباشرة، ويكون الهدف العام للمشكلة في أعلى الهرم يليه المعايير ثم المعايير الفرعية إن وجدت وأخيراً البدائل المتاحة.

□ ميزان القياس: يستنتج هذا الميزان من المقارنة الثنائية لعناصر المستوى الواحد بالنسبة لتأثير عنصر في المستوى الأعلى مباشرة، تتم المقارنة الثنائية بطريقة لفظية محددة مدى أهمية عنصر مقابل عنصر آخر وتحوّل إلى قيمة عددية وفق ميزان مطلق، ثم يجري ترتيب هذه المقارنات في مصفوفة تستخدم لحساب درجة المفاضلة بين جميع العناصر.

□ التجميع: يتم تجميع الأولويات التي سبق حسابها لكل عنصر لحساب المفاضلة الكلية بين البدائل، بحيث يكون الناتج مقياساً غير خطي تعتمد درجة تعقيده على عدد العناصر في كل مستوى وعلى عدد المستويات في الشكل الهرمي ككل.

يبين الشكل أدناه نموذجاً للبناء الهرمي لعملية اتخاذ قرار متعدد المعايير:



الشكل (7): البناء الهرمي العام لعملية اتخاذ قرار متعدد المعايير (Abuwatfa, 2014)

وفقاً لـ (Abbas .et al., 2016) تمت هيكلة المسألة النمطية لرقم M للبدائل و رقم N لمعايير القرار، بحيث يتم تقييم كل البدائل وفقاً لكل معيار. إن الأهمية النسبية (وزن كل معيار) يمكن تقديره وليكن لدينا أيضاً a_{ij} ($i=1,2,3,\dots,M$) (and $j = 1,2,3,\dots,N$)، والتي ترمز لقيمة الأداء للبدائل ذو الترتيب i (A_i) وفقاً للمعيار ذو الترتيب j (C_j) وأيضاً نرمز بالرمز W_j لوزن المعيار C_j ، وهكذا فإن نواة مسألة اتخاذ القرار متعدد المعايير النمطية يمكن عرضها على الشكل التالي:

Alt.	Criterion				
	C_1 W_1	C_2 W_2	C_3 W_3	...	C_N W_N
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1N}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2N}
A_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3N}
...
A_M	a_{M1}	a_{M2}	a_{M3}	...	a_{MN}

الشكل (8): نواة مسألة اتخاذ القرار متعدد المعايير (Abbas .et al., 2016)

وبالنظر الى المصنوفة السابقة، فإن مشكلة القرار التي تم النظر فيها في هذه الدراسة هي كيفية تحديد أفضل بديل. في حالة صناعة القرار متعدد المعايير، يعبر عن كل المعايير وفقاً لنفس الوحدة (دولار، متر، كيلوجرام....)، ومع ذلك فإن العديد من مسائل صناعة القرار متعدد المعايير في الحياة العملية تعبر عن معايير مختلفة وبأبعاد مختلفة، ومن هذه الأمثلة عن هذه الأبعاد (العملات، الوزن، الوقت، التأثير السياسي، الأثر البيئي...). إن مسألة صناعة قرار متعدد المعايير بأبعاد مختلفة تجعل من مسألة صناعة القرار متعدد المعايير النمطية مسألة معقدة، هنا تبرز طريقة التحليل الهرمي ومشتقاتها لتقدم لنا مساعدة كبيرة في حل هذا النوع من المسائل.

إنّ الخطوة الأولى في تحديد أولويات العناصر في مشكلة اتخاذ قرار وفقاً لـ (Abuwatfa, 2014) هي إجراء مقارنات ثنائية أي مقارنة العناصر بطريقة زوجية بالنسبة لصفة معينة. وتعتبر المصفوفة الصيغة المفضلة للمقارنات الزوجية، فالمصفوفة هي أداة بسيطة ومعروفة توفر إطاراً لاختبار الثبات والحصول على معلومات إضافية من خلال عمل جميع المقارنات الممكنة وتحليل الحساسية للأولويات الكلية بالنسبة للتغيرات في الحكم. يتمثل تحديد الأولويات في عقد مقارنات ثنائية بين المستوى الثاني في الشكل الهرمي بقيم تتراوح من (1~9) على اعتبار أنّ الأرقام تعطي تفاوتاً أعمق مما تقدّم الألفاظ. ومن الأفضل أن تكون عناصر المستوى الثاني من خمس إلى تسع عناصر حيث أنّ الأشخاص لا يتمكنون من إجراء مقارنات صحيحة بين أكثر من سبعة معايير قابلة للزيادة أو النقص بحد أقصى إلى معيارين .

الجدول (2): مقياس (Saaty, 1990) لدرجات أهمية المقارنات الثنائية لطريقة التحليل الهرمي (AHP)

القيمة	درجة الأهمية
1	تساوي الأهمية
3	أهمية متوسطة
5	أهمية قوية
7	أهمية قوية جداً
9	أهمية قصوى
2,4,6,8	درجات وسطية بين القيم السابقة

عندما تكون المصفوفة ثابتة فإنّ المجموع المعياري لكل صف يخبرنا بمقدار هيمنة كل عنصر على العناصر الأخرى نسبياً، كما نحصل على مقدار هيمنة العناصر الأخرى على كلّ عنصر من مجموع مدخلات كل عمود. يجب أن تكون القيمتان كل منهما مقلوب الأخرى بحيث يكون حاصل ضرب القيمتين يساوي (1)، ويلاحظ أنّ العناصر في العمود هي مقلوب العنصر في الصف لذلك النشاط، بحسب مجموع العناصر في كل عمود وتضرب كل قيمة بالقيمة المعيارية للصف المناظر، ثم تجمع النتائج لجميع الأعمدة وتسمى القيمة الناتجة λ_{max} . تستخدم معادلة مؤشر الثبات ضمن منهج العمل:

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

λ : الجذر الكامن لمصفوفة المقارنات الثنائية.

n : عدد العناصر

وبعد الحصول على قيمة مؤشر الثبات (CI) Consistency index ، تقارن هذه القيمة مع قيمة المؤشر العشوائي Random Index (RI) من أجل التعرف على نسبة الثبات (CR).

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

مؤشر الثبات ← → مؤشر الثبات العشوائي

نسبة الثبات ← →

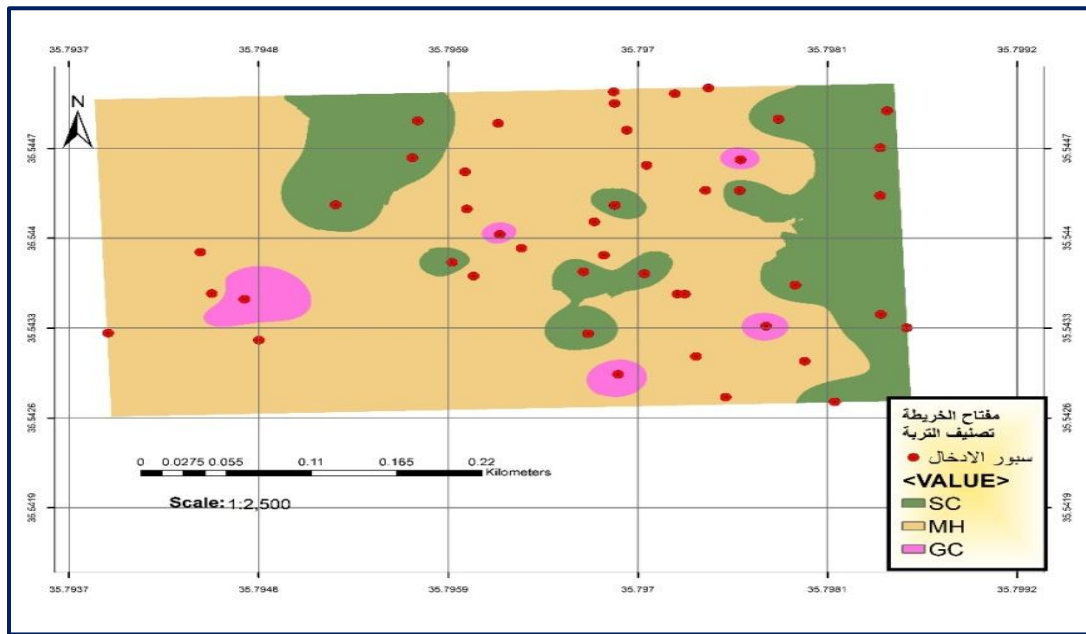
كلما اقتربت نسبة الثبات CR من الصفر كانت الأحكام تتصّف بالثبات، وإنّ الحد الأعلى المقبول لنسبة الثبات هو 0.1 (10%). إذا ازدادت النسبة عن ذلك، فإنّ الأحكام يوجد فيها بعض التناقض ولذلك يجب مراجعة القرار.

الجدول (3): قيم قرينة الاتساق العشوائية (RI) للمسائل الصغيرة

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

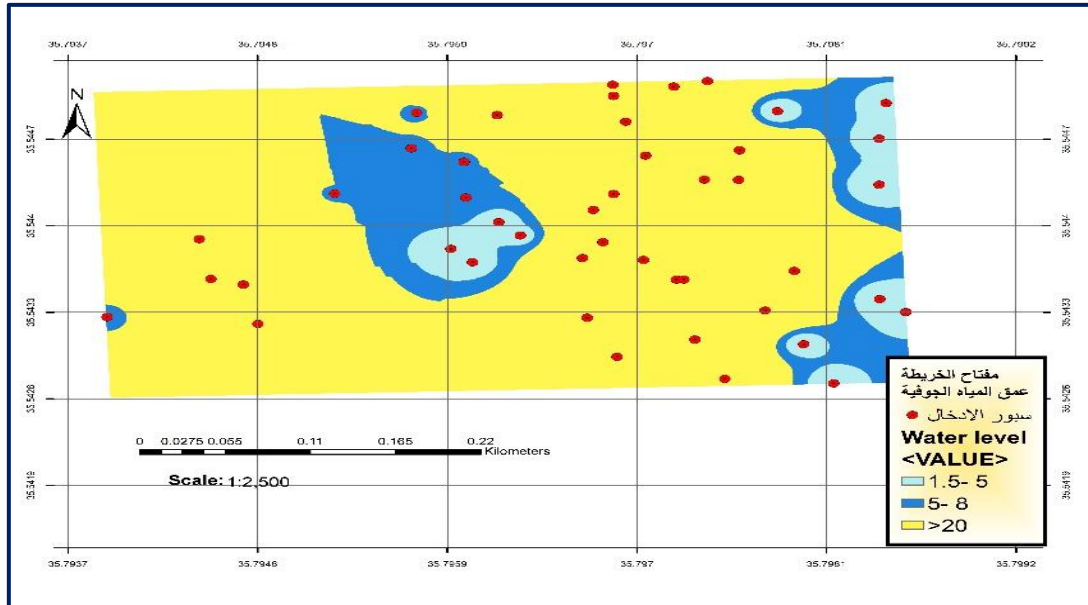
تمّ في بحثنا دراسة أربعة بارامترات لتقييم النتائج وتحليلها للوصول الى تحديد مدى جودة أراضي منطقة الدراسة بناء على خواص التربة، وكانت هذه البارامترات الأربعة هي (تصنيف التربة، عمق المياه الجوفية، قابلية التربة للانتفاخ، ميلان المنحدر) بشكلٍ مشابه لما تمّ ذكره في (Tadios, 2013).

يظهر الشكل (9) تصنيف التربة بحسب النظام الموحد لتصنيف التربة (USCS) وقد ظهرت ثلاثة أنواع من الترب في منطقة الدراسة وهي : (SC: رمل طيني، MH: غضار عالي اللدونة، GC: حصويات طينية)، وكانت التربة الغالبة في الموقع هي الغضار عالي اللدونة.



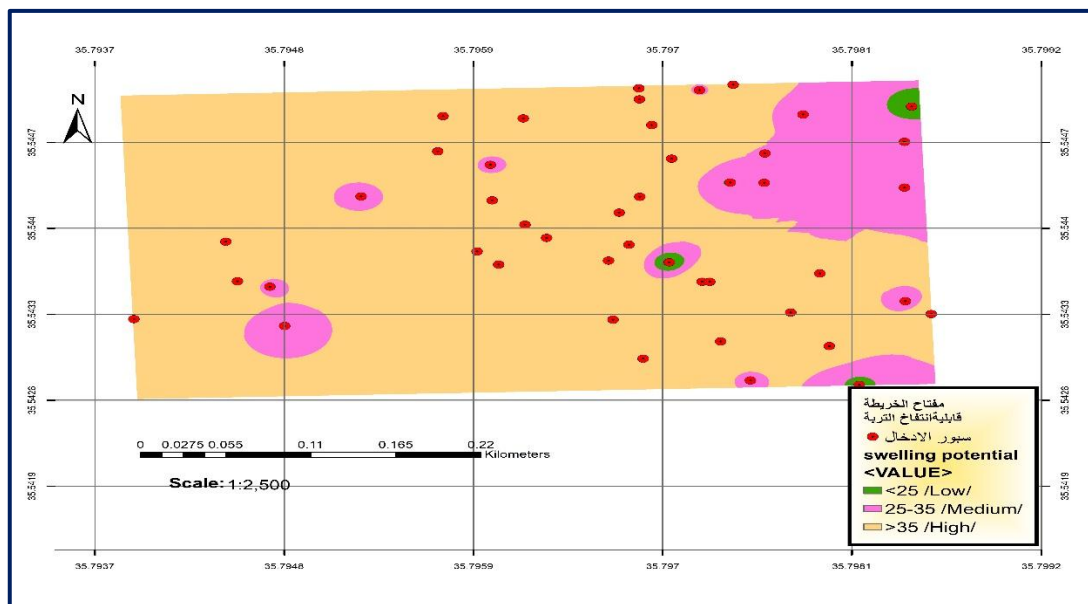
الشكل (9): خريطة تصنيف التربة المتوقّع

في حين يظهر الشكل (10) عمق المياه الجوفية في منطقة الدراسة، حيث ظهرت المياه الجوفية في بعض السبور على أعماق تراوحت بين (1.5~8)م في حين أنها لم تظهر في السبور الأخرى حتى عمق (20)m.



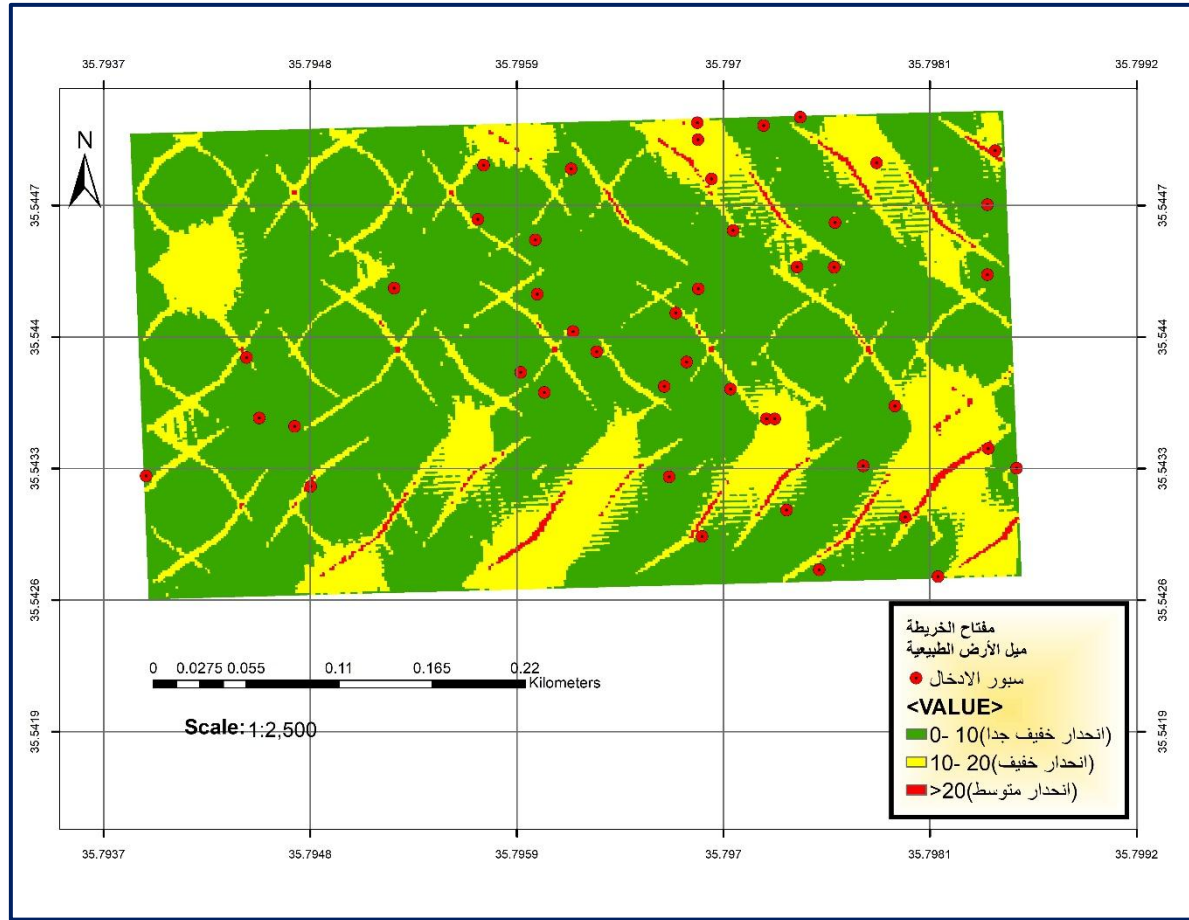
الشكل (10): خريطة عمق المياه الجوفية المتوقع

بينما يظهر الشكل (11) قابلية انتفاخ التربة في منطقة الدراسة. وبحسب (O'neill and Poormaayed, 1980) واعتماداً على مؤشر دليل القوام، تم تقسيم المنطقة إلى ثلاث فئات غلبت فيها الصفة الانتفاخية على معظم سبور الحيز المدروسة.



الشكل (11): خريطة قابلية انتفاخ التربة

يبين الشكل (12) ميل الأرض الطبيعية في منطقة الدراسة والتي قسمت الى ثلاث فئات، وقد كان الانحدار الخفيف جداً هو الغالب في منطقة الدراسة. تم التوصل إلى هذه الخريطة بعد الحصول على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) ومن ثم اشتقاق سطح منطقة الدراسة من النموذج الأم.



الشكل (12): خريطة ميول الأرض الطبيعية (كنسبة مئوية)

1. دراسة المقارنات الثنائية بين البدائل:

الجدول (4): المقارنات الثنائية بين المعايير في المستوى الأول بحسب طريقة التحليل الهرمي (AHP)

العامل المدروس	تصنيف التربة	عمق المياه	قابلية الانتفاخ	ميلان المنحدر	الوزن (%)
تصنيف التربة	1	2	3	5	49
عمق المياه	0.5	1	2	3	27
قابلية الانتفاخ	0.33	0.5	1	1	13
ميلان المنحدر	0.2	0.33	1	1	11
Y max = 4.0423		CI = 1.57%		CR = 0.0157	
RCI = 0.9					

الجدول (5): المقارنات الثنائية بين المعايير في المستوى الثاني (تصنيف التربة) بحسب طريقة التحليل الهرمي (AHP)

تصنيف التربة	GC	SC	MH	الوزن (%)
GC	1	3	5	63
SC	0.33	1	3	26
MH	0.2	0.33	1	11
Ymax = 3.05		CI = 2.49%		CR = 0.043
RCI = 0.58				

الجدول (6): المقارنات الثنائية بين المعايير في المستوى الثاني (عمق المياه الجوفية) بحسب طريقة التحليل الهرمي (AHP)

الوزن (%)	20<	5-8	1.5-5	عمق المياه
9	0.14	0.33	1	1.5-5
29	0.5	1	3	5-8
62	7	2	1	20<
Ymax =2.99	CI=0.31%	CR=0.005		RCI=0.58

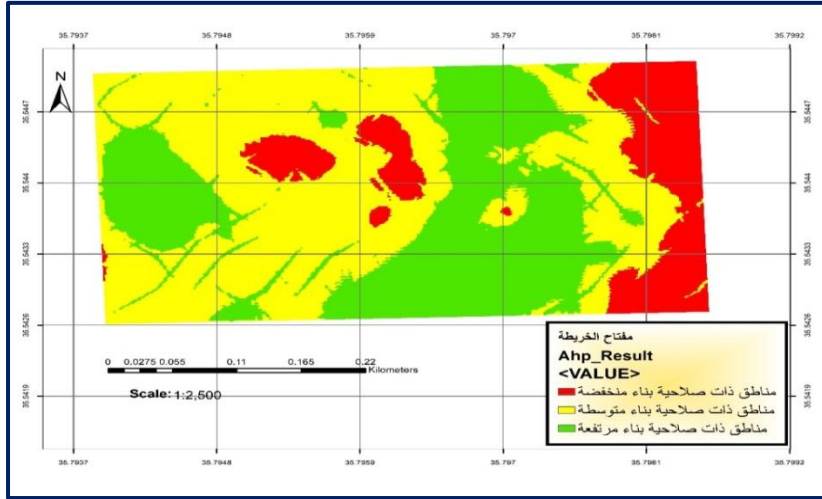
الجدول (7): المقارنات الثنائية بين المعايير في المستوى الثاني (قابلية الانتفاخ التربة) بحسب طريقة التحليل الهرمي (AHP)

الوزن (%)	عالية	متوسطة	منخفضة	قابلية الانتفاخ
63	5	3	1	منخفضة
26	3	1	0.33	متوسطة
11	1	0.33	0.2	عالية
Ymax = 3.05	CI = 2.49%	CR = 0.043		RCI = 0.58

الجدول (8): المقارنات الثنائية بين المعايير في المستوى الثاني (ميل الأرض الطبيعية) بحسب طريقة التحليل الهرمي (AHP)

الوزن (%)	خفيف جدا	خفيف	متوسط	ميل الأرض الطبيعية
9	0.14	0.33	1	متوسط
24	0.33	1	3	خفيف
67	1	3	7	خفيف جدا
Ymax =2.99	CI=0.12%	CR=0.0021		RCI=0.58

وهنا يمكن استكمال بناء نموذج ضمن بيئة الـ (GIS) من خلال دمج خرائط دراسة البارامترات الأربعة (تصنيف التربة، عمق المياه، قابلية الانتفاخ، ميل الأرض الطبيعية) وفقا للمعايير السابقة والأوزان الناتجة عن تطبيق عملية التحليل الهرمي (AHP) للحصول على خريطة واحدة لصلاحية البناء ضمن منطقة الدراسة وتقسيمها الى ثلاث فئات بحسب هذه الصلاحية (مناطق ذات صلاحية كبيرة، مناطق ذات صلاحية متوسطة، مناطق ذات صلاحية منخفضة).



الشكل (13): خريطة تقييم صلاحية الأراضي للبناء

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن القول أنّ التكامل بين التحريات الجيوإتكنيكية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) قد ساهم في ربط خصائص التربة بمواقع محددة، وبالتالي أصبحت تلك البيانات المكانية وسيلةً لاشتقاق الخصائص المدروسة ذاتها في أماكن غير مسبورة من خلال هذه البيانات المكانية المرجعية.

بعد استخلاص النتائج الموضحة في الأشكال والجداول المبينة في البحث، يمكن تسجيل الاستنتاجات التالية

1. تمّ التوصل إلى استخدام طريقة مقلوب المسافة الموزونة (IDW) كطريقة إحصائية رياضية للتنبؤ بالبيانات المفقودة (الأماكن غير المسبورة) بعد أن تمّت مقارنتها بالنتائج مع الطرق الأخرى الموجودة ضمن بيئة عمل الـ (GIS) مثل طرق (Kiging, Spline, Natural Neighbor...). وتتميز طريقة (IDW) بالدقة وشمولية البيانات المتوقعة حيث أنّ مجال التوقع لهذه الطريقة يغطّي مجمل مجال البيانات من أصغر قيمة إلى أكبرها على عكس بعض الطرق الأخرى التي تستثني قيماً ضمن مجال الدراسة على حساب القيم الوسطية للمجال المدروس.

2. بلغت دقة العمل البحثي في توقع القيم للبيانات المدروسة في الأماكن غير المسبورة (87.72%)، وهي قيمة جيدة جداً كتقدير سريع لمواصفات التربة لتقييم خصائص تربة الموقع لأي مشروع مدروس.

3. إنّ القيم الناتجة عن الدراسة هي قيم تنبؤية تمّ التوصل إليها بطريقة إحصائية، وبالتالي فهي لا تمتلك الموثوقية الكافية لاتخاذ قرار هندسي ما بناء عليها. وإنّما يمكن اعتبارها كمرحلة تحريات أولية دون الاستغناء عن ضرورة القيام بسبور حقلية وإجراء التجارب اللازمة لدراسة تربة الموقع.

4. يوصى أخيراً بإمكانية توثيق جميع البيانات والمعلومات المجمعّة عن المناطق المدروسة من التحريات الحقلية والتجارب المخبرية عن طريق جهات أو مؤسسات حكومية مثل (الشركة العامة للدراسات الهندسية، نقابة المهندسين..).

References:

1. BAHURMOZ, A. "Application of the Analytic Hierarchy Process of Collective Decision Analysis to Determine the Best Sites in the Kingdom of Saudi Arabia Saudi for Community Colleges". Saudi Arabia Journal of Higher Education, 2005.
2. PLAYER, R. "Using GIS in Preliminary Geotechnical Site Investigations for Transportation Projects". Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, 2000.
3. HABIBULLAH, B. Md.; POKHREL, R. M.; KUWANO, J.; TACHIBANA, S. "GIS-Based Soil Liquefaction Hazard Zonation due to Earthquake Using Geotechnical Data". Int. J. of GEOMATE, Vol. 2, No. 1 (Sl. No. 3), pp. (154-160), March, 2012.
4. MURUGAN, A.; STALIN. "Development of Soil Suitability Map Using GIS". Indian Geotechnical Conference IGC 2016, IIT Madras, Chennai, India, 15-17 December 2016.
5. LABIB, M.; NASHED, A. "GIS and Geotechnical Mapping of Expansive Soil in Toshka Region". Ain Shams Engineering Journal 4, pp. (423-433), 2013.
6. KADHIM, K. N.; AL-ABODY, A. A. M. "The Geotechnical Maps for Bearing Capacity by Using GIS and Quality of Ground Water for Al-Imam District (Babil - Iraq)". International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 6, Issue 10, pp. (176-184), Oct 2015.
7. TADIOS, S. "GIS-Based Geotechnical Microzonation Mapping Using Analytic Hierarchy Process: A Case Study in Shire-Endasilasie City, Tigray, Northern Ethiopia". Momona Ethiopian Journal of Science (MEJS), V5 (2), pp. (101-116), 2013.
8. AKYOL, E.; ALKAN, M.; AYDIN, A. "District Selection for Geotechnical Settlement Suitability Using GIS and Multi Criteria Decision Analysis: A Case Study in Denizli, Turkey". World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Geological and Environmental Engineering, Vol:8, No:9, 2014.
9. AWAD, A.; JAFAR, R.; KHALIL, F. "Use the Analytical Hierarchy Process AHP Method to Determine the Appropriate Locations for the OMWW Distribution". Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, Engineering Sciences Series Vol. (11), No. (1), 2019.
10. ABUWATFA, H. A. "Using Analytic Hierarchy Process for Prioritizing Industrial Sector in Palestine to Achieve Sustainable Development". The Islamic University of Gaza, 2014.
11. O'NEILL, M. W.; POORMOAYED, N. "Methodology for Foundations on Expansive Clay". Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 106, No. GT12, pp. (1345-1367), 1980.
12. SAATY, T. L. "How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process". European Journal of Operational Research 48, pp (9-26), 1990.
13. KHALIL, N. L.; MHANNA, M.; ASSAF, H. "Horizontal Corridor Optimization of Highway Using GIS & CFSC Method in Mountainous Areas". The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 24, pp (509-514), 2021.