Sadaa Al-qalum Journal
مجلة صدى القلم
مجلة صدي القلم للعلوم الإنسانية والتطبيقية

التباين المكاني للخصائص الفيزيوكيميائية ودور المغنيسيوم الذائب كمُؤشر لتدهور جودة التربة في البيئات الجافة وشبه الجافة

Spatial Variability of Soil Physicochemical Properties and the Role of Dissolved Magnesium as an Indicator of Soil Quality Degradation in Arid and Semi-Arid Environments

حبيب عوض يونس حبيب
Habib awad younis habib
قسم الموارد والبيئة، كلية الاداب والعلوم الابيار، جامعة بنغازي، ليبيا
Habib.awad@uob.edu.ly
ORCID0009-0009-2649-3273

استلام الورقة: 2026-04-22 **قبول الورقة: 2026-05-20** **نشر الورقة: 2026-06-02**

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم التباين الإحصائي والمكاني للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وتحديد مستويات جودتها ومقارنتها بين القطاعين الشمالي والجنوبي في منطقة الدراسة. جُمعت عينات تربة ممثلة من القطاعين، وأُجريت عليها مجموعة من التحاليل المختبرية القياسية لتحديد القوام، والملوحة، ودرجة التفاعل الهيدروجيني، والمادة العضوية، وكربونات الكالسيوم، والكاتيونات الذائبة، والعناصر الغذائية المتاحة. وصنفت العينات إلى أربع فئات معيارية لجودة التربة ، كما عولجت البيانات إحصائياً باستخدام تحليل التباين الأحادي (ANOVA).

أظهرت النتائج وجود تباين مكاني بين القطاعين الشمالي والجنوبي في بعض خصائص التربة، وكان المغنيسيوم الذائب (Mg^{2+}) المتغير الوحيد الذي سجل فرقاً إحصائياً معنوياً، إذ بلغت قيمة $F = 6.706$ عند مستوى معنوية $p = 0.024$. وسجل المغنيسيوم الذائب انخفاضاً ملحوظاً في القطاع الجنوبي، حيث بلغ متوسطه 0.193 ملي مكافئ/لتر، مقارنةً بـ0.900 ملي مكافئ/لتر في القطاع الشمالي. في المقابل، لم تُظهر بقية الخصائص الفيزيائية والكيميائية فروقاً إحصائية معنوية ($p > 0.05$). وأوضح التقييم المتكامل لجودة التربة أن القطاع الشمالي يتمتع بحالة نسبية أفضل، ارتبطت بتوازن نسبي في القوام وارتفاع نسبة الرمل إلى 39.50% واعتدال مستوى الملوحة، في حين أظهر القطاع الجنوبي مؤشرات على انخفاض جودة التربة، تمثلت بصورة رئيسية في ارتفاع نسبة الطين إلى 56.33%، والمواد الصلبة الذائبة الكلية إلى 491.667 ملغم/لتر، وكربونات الكالسيوم إلى 5.393%، إلى جانب الانخفاض المعنوي في المغنيسيوم الذائب. وتوصي الدراسة باستخدام محسنات التربة المحتوية على المغنيسيوم، ولا سيما كبريتات المغنيسيوم، مع تطبيق عمليات غسيل مناسبة للأملاح في القطاع الجنوبي، وتعزيز محتوى المادة العضوية في القطاع الشمالي، بما يسهم في تحسين خصائص التربة والمحافظة على استدامة جودتها.

الكلمات المفتاحية: جودة التربة، التباين المكاني، القطاع الشمالي، القطاع الجنوبي، المغنيسيوم الذائب، تدهور التربة، تحليل التباين الأحادي.

Abstract

This study aimed to evaluate the statistical and spatial variability of the physical and chemical properties of soil and to determine and compare soil quality levels between the Northern and Southern sectors of the study area. Representative soil samples were collected from both sectors and subjected to standard laboratory analyses to determine soil texture, salinity, pH, organic matter, calcium carbonate, dissolved cations, and available nutrients. The soil samples were classified into four standardized quality classes: Moderate, Weak, Very Weak, and Rare. The data were statistically analyzed using One-Way Analysis of Variance (ANOVA) .

The results revealed spatial variability between the Northern and Southern sectors in several soil properties. Dissolved magnesium (Mg^{2+}) was the only parameter that showed a statistically significant difference, with an F-value of 6.706 and a significance level of $p = 0.024$. Dissolved magnesium showed a marked decrease in the Southern sector, where its mean concentration reached 0.193 meq/L in the Very Weak quality class, compared with 0.900 meq/L in the Weak quality class in the Northern sector. In contrast, the remaining physical and chemical properties showed no statistically significant differences ($p > 0.05$). The integrated soil quality assessment indicated a relatively better soil condition in the Northern sector, associated with a relatively balanced soil texture, a higher sand content of 39.50%, and moderate salinity. In contrast, the Southern sector exhibited indicators of reduced soil quality, mainly characterized by a high clay content of 56.33%, elevated total dissolved solids of 491.667 mg/L, increased calcium carbonate content of 5.393%, and a significant reduction in dissolved magnesium. The study recommends the application of magnesium-containing soil amendments, particularly magnesium sulfate, together with appropriate salt-leaching practices in the Southern sector, while increasing organic matter inputs in the Northern sector to improve soil properties and maintain sustainable soil quality

Keywords: Soil Quality, Spatial Variability, Northern Sector, Southern Sector, Dissolved Magnesium, Soil Degradation, One-Way Analysis of Variance (ANOVA).

المقدمة:

التربة هي الطبقة السطحية التي يثبت النبات فيها جذوره، ويمتص منها الغذاء والماء، وهي عبارة عن طبقة من المفتتات الصغيرة التي تغيرت خصائصها نتيجة تحلل بقايا النباتات والحيوانات التي تعيش فيها، كما تعد منطقة اتصال هامة للنبات ، فهو يعتمد عليها في

تثبيت جذوره بالإضافة إلى حصوله على الماء والغذاء (هارون، 2000). وتتأثر خصائص التربة بمجموعة من العوامل الطبيعية، من أهمها المادة الأصلية والمناخ والتضاريس والغطاء النباتي، إضافة إلى العوامل البشرية وأنماط استخدام الأرض. حيث تقع كل ترب ليبيا في نطاق المناطق الجافة، باستثناء مساحة صغيرة جداً في منطقة الجبل الأخضر والتي تخرج عن نطاق المناطق الجافة، حيث تصل معدلات تساقط الأمطار السنوية إلى 400ملم (بن محمود، 1995)، وهذا ماينطبق على منطقة الدراسة إذ يقع جزء منها ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة المتمثل في الخروبة وسمالوس وذروة جنوب منطقة الدراسة، بينما الجزء الذي تختلف تربته يقع شمال المنطقة ضمن نطاق ترب الجبل الاخضر، وتنعكس هذه العوامل على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، مثل القوام والكثافة الظاهرية والمسامية والمادة العضوية والرقم الهيدروجيني والتوصيل الكهربائي وكربونات الكالسيوم والعناصر الغذائية، مما يؤدي إلى وجود تباين مكاني في خصائص التربة حتى داخل المنطقة الواحدة (أبوراس وعبدالرحمن، 2016؛ محمد، 2022).

ويُعد مفهوم جودة التربة من المفاهيم التي توفر إطاراً متكاملاً للحكم على حالة التربة، إذ لا يعتمد تقييمها على خاصية واحدة، وإنما على مجموعة من المؤشرات التي تعكس قدرة التربة على أداء وظائفها بصورة مستدامة. وتشمل هذه المؤشرات خصائص فيزيائية وكيميائية وحيوية، ويختار منها ما يتناسب مع طبيعة المنطقة والغرض من الدراسة. ومن ثم فإن دمج مجموعة من الخصائص في صورة مؤشر لجودة التربة يمكن أن يعطي تقييماً أكثر شمولًا من دراسة كل خاصية بصورة منفردة (راشد وآخرون، 2021؛ سلامة، 2024).

وقد اتجهت بعض الدراسات العربية إلى استخدام مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية لتقييم حالة التربة؛ ودرس (راشد وآخرون، 2021) مؤشرات جودة التربة في محافظة المنيا وقام (السعيدي ومحمد، 2020) بدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة في منطقة السبخة بتراغن جنوب غرب ليبيا، كما درس (أبوراس وعبدالرحمن، 2016) العلاقة بين عمق التربة وبعض خصائصها الفيزيائية والكيميائية في منطقة الوسيطة بالجبل الأخضر في ليبيا، وتناول (الحاسي ، 2016) الخصائص الكيميائية لتربة موقع جامعة طبرق ومدى صلاحيتها للزراعة وفي دراسة حديثة قام (سلامة، 2024) بتقييم خصوبة التربة في منطقة بني وليد.

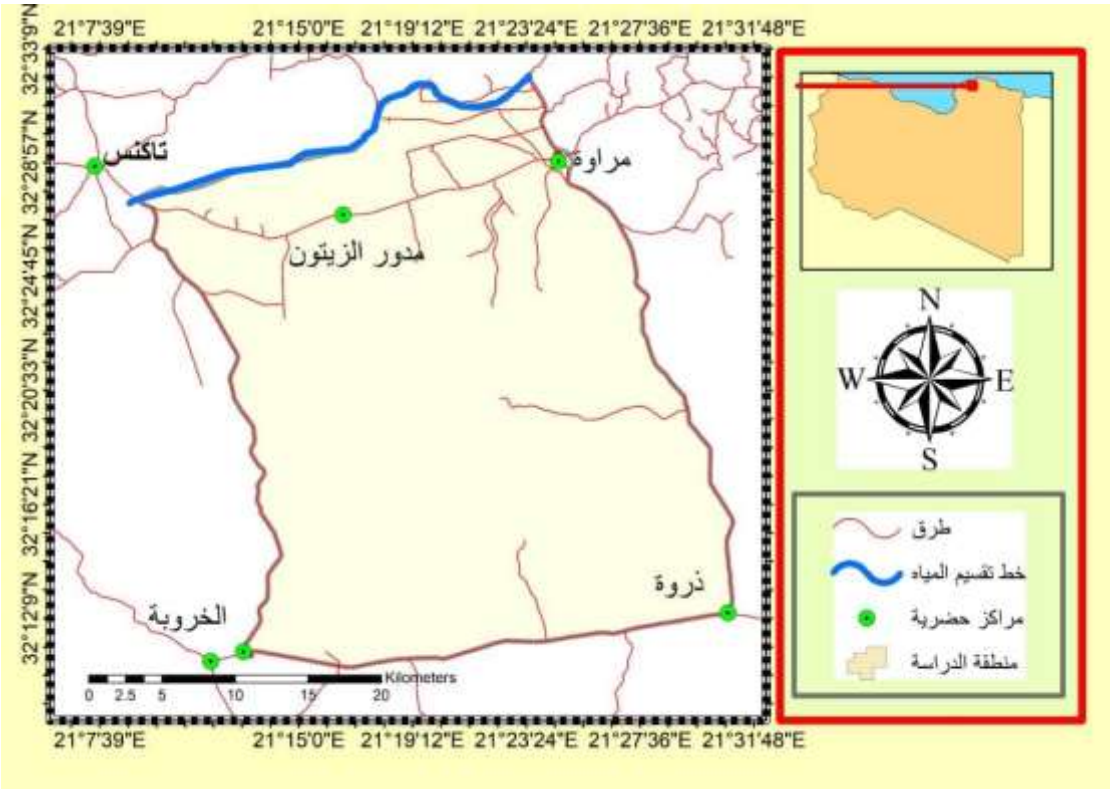
وتنبع أهمية الدراسة الحالية من الحاجة إلى تقديم تقييم متكامل لجودة التربة بالاعتماد على مجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية المقاسة في عينات الدراسة، بما يساعد على تحديد مستوى جودة التربة والكشف عن التباين بين العينات وتحديد الخصائص التي قد يكون لها تأثير أكبر في مستوى الجودة. كما يمكن أن توفر النتائج قاعدة علمية مفيدة لفهم حالة التربة ودعم عمليات الإدارة المستدامة والمحافظة على الموارد الأرضية، خاصة في البيئات التي تتعرض لمختلف عوامل التدهور (سلامة، 2024؛ السعيدي ومحمد، 2020).

وتهدف الدراسة الحالية إلى تقييم جودة التربة في منطقة الدراسة اعتماداً على مجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية لثماني عينات تربة، واستخدام هذه الخصائص كمؤشرات لتحديد مستوى جودة التربة، والكشف عن درجة التباين بين العينات، وتحديد الحالة العامة لجودة التربة في منطقة الدراسة.

الموقع الجغرافي والفلكي لمنطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في شمال شرق ليبيا بجنوب الجبل الأخضر، يحدها من الجنوب الطريق الممتد من الخروبة إلى ذروة ومن الشرق الطريق الممتد من ذروة إلى مراوة ومن الشمال خط تقسيم المياه ومن الغرب الطريق الممتد من منطقة تاكنس إلى الخروبة، شكل (1)، وتبلغ مساحة المنطقة 864 كم^2 ومحيطها 132كم، بينما متوسط عرض المنطقة من الشرق إلى الغرب 24كم ومتوسط طولها من الشمال إلى الجنوب 36كم. وتقع منطقة الدراسة فلكياً بين خطي طول 21.31.48° و 21.06.36° شرقاً ودائرتي عرض 32.14.15° و 32.31.03° شمالاً.

شكل (1) خريطة توضح الموقع الجغرافي وحدود منطقة الدراسة بمنطقة جنوب الجبل الأخضر



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)

مواد وطرق البحث:

أجريت هذه الدراسة لتقييم التباين المكاني والبيئي لخصائص التربة في المنطقة المدروسة، والتي تم تقسيمها إلى قطاعين رئيسيين: القطاع الشمالي والقطاع الجنوبي. تم جمع عينات التربة الممثلة من أعماق سطحية (0 – 30سم) باستخدام نظام العينات العشوائي المنتظم، وتحديد إحداثيات المواقع بدقة باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS). تم نقل العينات إلى المختبر في أكياس ثم جُففت هوائياً لإعدادها للتحليلات الفيزيائية والكيميائية.

قُدّرت الخصائص الفيزيائية والكيميائية لعينات التربة، إذ تم تحديد القوام والتوزيع الحجمي لحبيبات التربة (Texture) من خلال تقدير نسب الرمل والطمي والطين باستخدام طريقة الهيدرومتر (Hydrometer Method). كما تم قياس الرقم الهيدروجيني (pH) والتوصيل الكهربائي (EC) باستخدام جهاز قياس الأس الهيدروجيني وجهاز قياس التوصيل الكهربائي، على التوالي. وقُدّرت الأملاح الذائبة الكلية (TDS) اعتمادًا على قيم التوصيل الكهربائي للمستخلص المائي.

أما المادة العضوية (OM) فقد قُدّرت باستخدام طريقة الأكسدة الرطبة (Walkley-Black Method). وبالنسبة إلى الكاتيونات الذائبة، فقد تم تقديرها في المستخلص المائي؛ حيث قُدّرت تراكيز الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) بطريقة المعايرة باستخدام مادة EDTA، في حين قُدّرت تراكيز الصوديوم (Na^{+}) والبوتاسيوم (K^{+}) باستخدام جهاز المطياف الضوئي اللهبي (Flame Photometer).

كذلك، قُدّر النيتروجين الكلي (N) باستخدام طريقة كيلدال (Kjeldahl Method)، بينما تم تقدير الفوسفور المتاح (P) بعد استخلاصه باستخدام طريقة أولسن (Olsen Method).

تقييم جودة التربة

أما تقييم جودة التربة سنقوم باستخدام مؤشر جودة التربة (Soil Quality Index, SQI)، وذلك بالاعتماد على مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية التي تعكس الحالة العامة للتربة. وشملت المؤشرات المستخدمة: التوصيل الكهربائي (EC)، والرقم الهيدروجيني (pH)، والمادة العضوية (OM)، وكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، والكالسيوم الذائب (Ca)، والمغنيسيوم الذائب (Mg)، والصوديوم الذائب (Na)، والبوتاسيوم الذائب (K)، والأملاح الذائبة الكلية (TDS)، والنيتروجين الكلي (N)، والفوسفور (P)، ونسبة الطين.

تم توحيد قيم المؤشرات وتحويلها إلى درجات معيارية تراوحت بين (0–1)، بحيث تمثل القيمة (1) الحالة الأفضل نسبيًا، بينما تمثل القيمة (0) الحالة الأقل ملاءمة. وبحسب طبيعة المؤشر، صُنفت المؤشرات إلى مؤشرات ذات اتجاه موجب، حيث ترتفع جودة التربة بزيادة قيمتها، ومؤشرات ذات اتجاه سالب، حيث تنخفض الجودة بزيادة قيمتها. أما الرقم الهيدروجيني (pH) فقد عومل باعتباره مؤشرًا ذا قيمة مثلى، بحيث تكون القيم الأقرب إلى المجال الملائم للتربة ذات درجات أعلى، ولحساب مؤشر جودة التربة النهائي، تم استخدام المتوسط الحسابي للدرجات المعيارية للمؤشرات المختارة، وفق المعادلة:

مؤشر جودة التربة = مجموع الدرجة المعيارية للمؤشر / عدد المؤشرات (Andrews et al., 2004)

حيث يمثل (SQI) مؤشر جودة التربة، ويمثل (S_i) الدرجة المعيارية للمؤشر، بينما يمثل (n) عدد المؤشرات المستخدمة في الحساب. وبذلك تراوحت قيمة مؤشر جودة التربة بين (0–1)، وكلما اقتربت القيمة من (1) دل ذلك على مستوى جودة أعلى نسبيًا، في حين تشير القيم الأقرب إلى (0) إلى انخفاض نسبي في جودة التربة.

وقد حُسب مؤشر جودة التربة لكل عينة على حدة، ثم حُسب المتوسط العام لقيم المؤشر لكل قطاع، بهدف مقارنة المستوى النسبي لجودة التربة بين القطاعات المدروسة.

وخضعت البيانات للتحليل الإحصائي باستخدام برنامج المعالجة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS - Version 26.0). تم تطبيق تحليل التباين الأُحادي (ANOVA) لمقارنة الفروق بين المتوسطات للحصول على فهم دقيق للنتائج ومن ثم الوصول إلى الإستنتاجات والتوصيات المناسبة.

النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج جدول (1) تحليل التباين (ANOVA) وجود اختلافات في متوسطات بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة بين القطاعات المدروسة، إلا أن معظم هذه الاختلافات لم تصل إلى مستوى المعنوية الإحصائية عند مستوى (0.05). فقد تراوحت قيم مستوى المعنوية للخصائص المدروسة بين (0.12–0.94)، باستثناء المغنيسيوم الذائب (Mg) الذي سجل فرقاً معنوياً بين القطاعات (Sig. = 0.02). وتشير هذه النتائج بصورة عامة إلى درجة من التجانس النسبي في الخصائص المدروسة، مع وجود تباين مكاني واضح في بعض المؤشرات لم يكن كافياً لإظهار فروق إحصائية.

جدول (1) متوسطات الخصائص الفيزيائية والكيميائية بمنطقة الدراسة

المؤشر	مستوى المعنوية	أعلى متوسط	أدنى متوسط
التوصيل الكهربائي (EC)	0.45	1.38القطاع الشمالي	0.44 القطاع الجنوبي
الرقم الهيدروجيني (PH)	0.81	7.52 القطاع الجنوبي	7.28 القطاع الجنوبي
المادة العضوية (OM)	0.12	0.97 القطاع الجنوبي	0.82 القطاع الشمالي
كربونات الكالسيوم (Caco3)	0.25	5.39 القطاع الجنوبي	2.49 القطاع الشمالي
الكالسيوم الذائب (Ca)	0.94	1.63 القطاع الشمالي	1.17 القطاع الشمالي
المغنيسيوم الذائب (Mg)	0.02	0.90 القطاع الشمالي	0.19 القطاع الجنوبي
الصوديوم الذائب (Na)	0.67	2.48 القطاع الجنوبي	1.39 القطاع الجنوبي
البوتاسيوم الذائب (K)	0.35	0.75 القطاع الشمالي	0.35 القطاع الجنوبي
الأملاح الذائبة الكلية (TDS)	0.28	491.66 القطاع الجنوبي	309.66 القطاع الجنوبي
النيتروجين الكلي (N)	0.85	0.99 القطاع الجنوبي	0.15 القطاع الشمالي
الفوسفور (P)	0.28	1.09 القطاع الجنوبي	0.68 القطاع الشمالي
نسبة الطين (%)	0.54	56.33% القطاع الجنوبي	44.00% القطاع الشمالي
نسبة الطمي (%)	0.19	31.33% القطاع الجنوبي	16.50% القطاع الشمالي
نسبة الرمل (%)	0.36	39.50% القطاع الشمالي	15.67% القطاع الجنوبي

سجل التوصيل الكهربائي (EC) أعلى متوسط في القطاع الشمالي، إذ بلغ (1.38)، مقارنة بـ(0.44) في القطاع الجنوبي، إلا أن الفرق لم يكن معنوياً (Sig. = 0.45). ويشير ذلك إلى وجود اختلاف نسبي في مستوى الأملاح الذائبة بين القطاعات، إلا أنه لا يمثل اختلافاً مكانياً ذا دلالة إحصائية. ويُعد التوصيل الكهربائي من المؤشرات المهمة في تقييم الحالة الكيميائية للتربة ودرجة تراكم الأملاح. وقد أظهرت دراسة السعيدي ومحمد (2020) أهمية هذا المؤشر في البيئات الجافة، حيث بينت أن ارتفاع التوصيل الكهربائي في تربة سبخة تراغن يرتبط بتراكم الأملاح الذائبة نتيجة ارتفاع معدلات التبخر وحركة الأملاح نحو سطح التربة. وتختلف نتائج الدراسة

الحالية عن تلك الحالة من حيث شدة الملوحة، إذ كانت قيم EC في الدراسة الحالية منخفضة نسبياً مقارنة بالقيم المرتفعة جداً التي سجلتها تربة سبخة تراغن، مما يعكس اختلاف الظروف البيئية وطبيعة مواقع الدراسة.

وبلغت قيم الرقم الهيدروجيني (pH) في الدراسة الحالية بين (7.28–7.52)، ولم تظهر فروق معنوية بين القطاعات (Sig. = 0.81). وتشير هذه القيم إلى أن التربة تميل إلى التعادل والقلوية الخفيفة. وتتقارب هذه النتائج بصورة واضحة مع ما سجله سلامة (2024) في منطقة بني وليد، حيث تراوحت قيم pH بين (7.00–7.50)، وصُنفت التربة بأنها قلوية بدرجات متفاوتة. كما أن هذا الاتجاه يتفق مع طبيعة كثير من ترب المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتأثر بارتفاع محتوى الكربونات وضعف عمليات الغسل.

أما المادة العضوية (OM)، فقد سجلت أعلى متوسط في القطاع الجنوبي (0.97)، مقابل (0.82) في القطاع الشمالي، ولم يكن الفرق معنوياً (Sig. = 0.12). ويشير ذلك إلى تقارب محتوى المادة العضوية بين القطاعات، مع وجود زيادة نسبية في القطاع الجنوبي. ويمكن تفسير هذا التباين باختلاف كمية المخلفات النباتية المتراكمة ومعدل تحللها ودرجة الغطاء النباتي. وتكتسب المادة العضوية أهمية كبيرة في جودة التربة، لارتباطها باستقرار البناء الأرضي وتحسين احتفاظ التربة بالماء وتوفير بعض العناصر الغذائية. وتتفق أهمية هذا المؤشر مع دراسة سلامة (2024)، التي أظهرت انخفاض محتوى المادة العضوية في معظم ترب منطقة بني وليد، وربطت تقييم خصوبة التربة بمجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والمغذيات.

وسجلت كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) أعلى متوسط في القطاع الجنوبي (5.39)، مقابل (2.49) في القطاع الشمالي، دون وجود فرق معنوي (Sig. = 0.25). وقد يرتبط هذا الاختلاف بطبيعة المادة الأصلية وعمليات تراكم الكربونات داخل التربة. كما يمكن أن يسهم وجود كربونات الكالسيوم في تفسير الاتجاه القلوي لقيم pH المسجلة. وتتفق أهمية دراسة $CaCO_3$ ضمن تقييم جودة التربة مع دراسة محمد وآخرين (2022) في منطقة غرب المنيا، إذ اعتمدت الدراسة كربونات الكالسيوم إلى جانب pH وEC وقوام التربة وعدد من الخصائص الأخرى ضمن مؤشرات تقييم جودة التربة.

وبالنسبة إلى الكالسيوم الذائب (Ca)، فقد سجل أعلى متوسط مقداره (1.63) وأدنى متوسط (1.17)، ولم يظهر فرق معنوي بين القطاعات (Sig. = 0.94). ويشير ذلك إلى تجانس نسبي في توزيع الكالسيوم الذائب داخل منطقة الدراسة. كما لم يظهر الصوديوم الذائب (Na) فروقاً معنوية (Sig. = 0.67)، رغم اختلاف متوسطاته بين القطاعات، إذ بلغ أعلى متوسط (2.48) وأدنى متوسط (1.39). ويمكن أن تعكس هذه الاختلافات النسبية اختلافاً في حركة الأملاح الذائبة أو طبيعة المادة الأصلية، إلا أن عدم المعنوية الإحصائية يدل على أن التباين بين القطاعات لم يكن كافياً لإثبات اختلاف مكاني واضح.

أما البوتاسيوم الذائب (K)، فقد بلغ أعلى متوسط له (0.75) في القطاع الشمالي، وأدنى متوسط (0.35) في القطاع الجنوبي، مع عدم وجود فرق معنوي (Sig. = 0.35). وقد يرتبط تباين البوتاسيوم بتفاعلاته مع معادن الطين والمادة العضوية، إضافة إلى حركة العناصر الذائبة في التربة. وتؤكد الدراسات التي تناولت تقييم جودة التربة أن تفسير حالة العناصر الغذائية لا ينبغي أن يعتمد على عنصر منفرد، وإنما على مجموعة متكاملة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والخصوبية. وهذا هو النهج الذي اتبعته دراسة سلامة (2024) من خلال الجمع بين مؤشرات المغذيات وخصائص التربة في تقييم خصوبتها وجودتها.

وكان المغنيسيوم الذائب (Mg) المؤشر الوحيد الذي أظهر فرقاً معنوياً بين القطاعات، حيث بلغت قيمة (Sig. = 0.02)، وهي أقل من مستوى المعنوية المعتمد (0.05). وسجل القطاع الشمالي أعلى متوسط للمغنيسيوم بلغ (0.90)، في حين بلغ أدنى متوسط في القطاع الجنوبي (0.19). وتدل هذه النتيجة على وجود اختلاف مكاني حقيقي في محتوى المغنيسيوم الذائب بين القطاعات. ويمكن أن يرتبط ذلك باختلاف مصدر العناصر المعدنية أو طبيعة المادة الأصلية أو درجة التجوية أو حركة المياه والأملاح داخل التربة. كما قد تسهم اختلافات القوام في الاحتفاظ بالأيونات الذائبة، خاصة أن القطاع الجنوبي سجل نسبة أعلى من الطين مقارنة بالقطاع الشمالي، إلا أن العلاقة بين القوام والمغنيسيوم تحتاج إلى تحليل ارتباط إضافي لإثباتها إحصائياً. ولذلك يمكن اعتبار المغنيسيوم من أكثر الخصائص حساسية للتباين المكاني في منطقة الدراسة مقارنة ببقية المؤشرات.

وبلغت الأملاح الذائبة الكلية (TDS) أعلى متوسط لها (491.66)، مقابل أدنى متوسط (309.66)، دون وجود فرق معنوي بين القطاعات (Sig. = 0.28). وعلى الرغم من عدم معنوية الفرق، فإن ارتفاع TDS يعكس وجود اختلاف نسبي في كمية الأملاح الذائبة. ويختلف هذا الاتجاه عن حالة سبخة تراغن التي سجلت مستويات مرتفعة جدًا من الملوحة والتوصيل الكهربائي نتيجة تراكم الأملاح وصعودها إلى السطح تحت تأثير التبخر وحركة المياه الجوفية. وبالتالي فإن مستويات TDS وEC في الدراسة الحالية لا تشير إلى حالة تملح شديدة مماثلة للسبخات، مع ضرورة تفسير القيم النهائية وفق وحدات القياس والمعايير المعتمدة.

وفيما يتعلق بالنيتروجين الكلي (N)، فقد بلغت قيمة المعنوية (0.85)، مما يدل على عدم وجود فرق معنوي بين القطاعات. كما لم يظهر الفوسفور (P) فرقًا معنوياً، إذ بلغت قيمة (Sig. = 0.28)، رغم وجود اختلاف في متوسطاته، حيث سجل أعلى متوسط (1.09) وأدنى متوسط (0.68). ويمكن أن يرتبط محتوى النيتروجين والفوسفور بالمادة العضوية ونشاط الكائنات الدقيقة ومعدلات تحلل المخلفات النباتية، إضافة إلى خصائص التربة الأخرى. ومن ثم فإن عدم وجود فروق معنوية يشير إلى تقارب الحالة الغذائية للتربة بين القطاعات، رغم الاختلافات العددية في المتوسطات.

وأظهرت نتائج التحليل الميكانيكي وجود تباين نسبي في توزيع أحجام الحبيبات بين القطاعات. فقد سجلت نسبة الطين أعلى متوسط في القطاع الجنوبي (56.33%) مقابل (44.00%) في القطاع الشمالي، كما سجل الطمي أعلى متوسط في القطاع الجنوبي (31.33%) مقابل (16.50%) في القطاع الشمالي. وعلى العكس، ارتفعت نسبة الرمل في القطاع الشمالي إلى (39.50%) مقارنة بـ(15.67%) في القطاع الجنوبي. وعلى الرغم من هذا الاختلاف في المتوسطات، فإن الفروق لم تكن معنوية إحصائياً، إذ بلغت قيم (Sig.) للطين والطمي والرمل (0.54 و0.19 و0.36)، على التوالي.

وتشير هذه النتائج إلى أن القطاع الشمالي يميل نسبياً إلى زيادة الجزء الرملي، بينما يميل القطاع الجنوبي إلى ارتفاع نسب الطين والطمي. ويمكن أن يؤثر هذا التباين في حركة المياه واحتفاظ التربة بالعناصر الغذائية والأملاح، وتتفق أهمية القوام في تقييم جودة التربة مع دراسة محمد وآخرين (2022)، التي اعتمدت فئة القوام ضمن مؤشرات جودة التربة إلى جانب EC وpH و$CaCO_3$ وعمق التربة والصرف. كما أظهرت دراسة أبوراس (2016) أهمية نسب الرمل والطمي والطين والمادة العضوية في تفسير خصائص التربة وقابليتها للتعرية في منطقة الوسيطة بالجبل الأخضر.

وبصفة عامة، تشير نتائج تحليل التباين إلى أن تربة منطقة الدراسة تتميز بتجانس نسبي في معظم خصائصها الفيزيائية والكيميائية، إذ لم تظهر فروق معنوية بين القطاعات في 13 مؤشراً، في حين ظهر الاختلاف المعنوي في المغنيسيوم الذائب فقط. ويمكن أن يعزى هذا التجانس إلى تقارب الظروف البيئية والمناخية والجيولوجية، وتشابه عمليات تكوين التربة وحركة المياه والعناصر داخل المنطقة. وتتفق هذه النتيجة مع الاتجاه الحديث في تقييم جودة التربة الذي يعتمد على مجموعة من المؤشرات بدل الاعتماد على خاصية واحدة، كما يتضح في دراسات تقييم جودة التربة في بني وليد وغرب المنيا، حيث جرى دمج مؤشرات متعددة مثل القوام وEC وpH و$CaCO_3$ والعناصر الغذائية وغيرها للحكم على حالة التربة.

وعليه، فإن نتائج الدراسة الحالية لا تشير إلى وجود تدهور أو اختلاف مكاني شديد في معظم الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة بين القطاعات، وإنما تكشف عن تباين محدود في بعض المؤشرات، كان أكثر وضوحاً في المغنيسيوم الذائب. ومن ثم فإن تقييم جودة التربة بصورة أكثر شمولًا يمكن أن يستفيد من دمج هذه الخصائص في مؤشر مركب لجودة التربة، وربطها بخصائص الغطاء النباتي واستخدامات الأرض والظروف الطبوغرافية، بما يوفر تقييماً أكثر تكاملًا للحالة البيئية للتربة.

مؤشر جودة التربة:

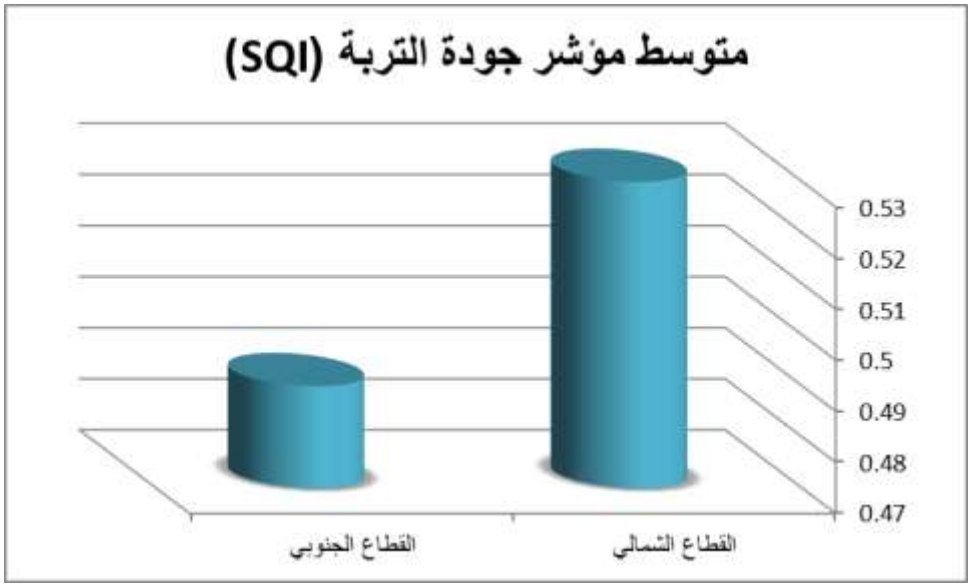
أظهر جدول (2) مؤشر جودة التربة (Soil Quality Index, SQI) تقارباً نسبياً في مستوى جودة التربة بين القطاعات المدروسة، مع تسجيل القطاع الشمالي قيمة أعلى قليلًا من القطاع الجنوبي، حيث بلغ متوسط المؤشر (0.53) في القطاع الشمالي مقابل (0.49) في القطاع الجنوبي. ويشير هذا التقارب إلى عدم وجود تباين حاد في الجودة العامة للتربة بين القطاعين، رغم وجود اختلافات مكانية في بعض الخصائص الفردية، ولا سيما المغنيسيوم الذائب الذي أظهر فرقاً معنوياً بين القطاعات.

جدول (2) مؤشر جودة التربة

القطاع	متوسط مؤشر جودة التربة (SQI)
القطاع الشمالي	0.53
القطاع الجنوبي	0.49

كما تعكس النتائج أهمية الاعتماد على مجموعة متكاملة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية عند تقييم جودة التربة، بدلًا من الاعتماد على خاصية منفردة، إذ قد تتحسن بعض الخصائص في قطاع معين في حين تتراجع خصائص أخرى. وبناءً على ذلك، يمكن القول إن القطاع الشمالي أظهر جودة تربة أعلى نسبياً شكل (2)، إلا أن الفارق المحدود بين القطاعين يشير إلى تشابه نسبي في الحالة العامة للتربة بمنطقة الدراسة.

شكل (2) مؤشر جودة التربة



الاستنتاج:

أظهرت الدراسة وجود تباين نسبي في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة بين القطاعين الشمالي والجنوبي، إلا أن معظم الفروق لم تكن معنوية إحصائياً، مما يشير إلى وجود درجة من التجانس النسبي في الحالة العامة للتربة بمنطقة الدراسة. وكان المغنيسيوم الذائب هو المؤشر الوحيد الذي أظهر فرقاً معنوياً بين القطاعات، في حين لم تظهر فروق معنوية في بقية المؤشرات المدروسة. كما أظهرت نتائج مؤشر جودة التربة تقارباً نسبياً بين القطاعين، مع تسجيل القطاع الشمالي قيمة أعلى قليلًا من القطاع الجنوبي، مما يشير إلى تفوق نسبي محدود في جودة التربة بالقطاع الشمالي. وبوجه عام، تؤكد النتائج أن تقييم جودة التربة يتطلب التكامل بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية وعدم الاعتماد على مؤشر منفرد للحكم على حالة التربة.

التوصيات:

1- اعتماد المغنيسيوم الذائب كمؤشر مساعد في تقييم ومراقبة تدهور جودة التربة.

2- إجراء دراسات من هذا النوع لأكبر قدر من مناطق المراعي في ليبيا عامة وجنوب الجبل الأخضر خاصة.

3- إجراء تحاليل دورية لخصائص التربة لمتابعة التغيرات المكانية والزمنية.

4- دمج المؤشرات الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية عند تقييم جودة التربة.

5- استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد لإنتاج خرائط مكانية لجودة التربة.

6- التركيز على المواقع التي تظهر ارتفاعاً في مؤشرات التدهور عند وضع برامج الإدارة والمعالجة.

7- إجراء دراسات مستقبلية للتحقق من كفاءة المغنيسيوم الذائب كمؤشر للتدهور تحت ظروف بيئية مختلفة.

الخاتمة:

أظهرت الدراسة وجود تباين مكاني في عدد من الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة بين مواقع الدراسة، إلا أن معظم هذه التباينات لم تصل إلى مستوى الدلالة الإحصائية، مما يشير إلى تقارب نسبي في الحالة العامة للتربة ضمن منطقة الدراسة. وفي المقابل، برز المغنيسيوم الذائب بوصفه أكثر المتغيرات قدرةً على التمييز بين المواقع، الأمر الذي يعكس حساسيته للتغيرات المرتبطة بالظروف البيئية وخصائص التربة في البيئات الجافة وشبه الجافة. كما أوضحت النتائج أن الاعتماد على خاصية واحدة قد لا يكون كافياً للحكم على جودة التربة، وأن دمج الخصائص الفيزيائية والكيميائية ضمن إطار متكامل يوفر تقييماً أكثر دقة لحالتها. وتؤكد الدراسة أهمية استخدام المؤشرات الكيميائية، وخاصة المغنيسيوم الذائب، إلى جانب مؤشرات جودة التربة الأخرى في رصد التغير المكاني وتحديد المواقع الأكثر عرضة للتدهور، بما يسهم في دعم برامج الإدارة المستدامة والمحافظة على موارد التربة في البيئات الجافة وشبه الجافة.

المراجع:

1- بن محمود، خالد رمضان (1995): الترب الليبية (تكوينها-خواصها-امكانياتها الزراعية)، دار الكتب الوطنية بنغازي، الهيئة القومية للبحث العلمي، الطبعة الاولى، طرابلس، ليبيا.

2- أبوراس، مختار عبد السلام، وعبدالرحمن، الصديق سليمان (2016): العلاقة بين عمق التربة وبعض خصائصها الفيزيائية والكيميائية وقابليتها للتعرية في منطقة الوسيطة بالجبل الأخضر - ليبيا. مجلة المختار للعلوم الزراعية، 31(2)، 112–125.

3- الحاسي، عادل فرجاني مصطفى (2016): دراسة الخصائص الكيميائية لتربة موقع جامعة طبرق وصلاحيتها للزراعة. مجلة العلوم والدراسات الإنسانية، (21)، 1–22.

4- راشد، محمد أحمد، ومحمود، أحمد السيد، وعبدالفتاح، مصطفى علي (2021): تقييم مؤشرات جودة التربة في محافظة المنيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. المجلة العربية للعلوم الجغرافية، 12(3)، 89–114.

5- السعيدي، عبد الله علي، ومحمد، سالمة مفتاح (2020): الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة منطقة السبخة بتراغن جنوب غرب ليبيا. مجلة العلوم والتقنية، 22(1)، 33–47.

6- سلامة، عبدالباسط (2024): تقييم خصوبة التربة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومؤشرات الخصوبة: دراسة حالة لمنطقة بني وليد. مجلة المختار للعلوم الزراعية والبيطرية والبيئية، 2(2)، 1.

7- محمد، صلاح الدين عارف. (2022). التباين المكاني للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة وعلاقته بأنماط استخدام الأرض. مجلة العلوم التربوية والإنسانية، 29(4)، 150–168.

8- هارون، علي أحمد (2000) : جغرافية الزراعة، الطبعة الأولى، دار الفكر العربي، القاهرة.

9- Andrews, Susan S., Karlen, Daniel L., & Cambardella, Charles A (2004): The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, 68(6), 1945–1962.