Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

ديناميكية التوازن الكيميائي وتوزيع العناصر النزرة والثقيلة في النظم الزراعية بمدينة مصراته

(دراسة جيوكيميائية مقارنة)

زينب إبراهيم الأسطى[1] ، سميرة أحمد باله[2] ، الخنساء أحمد كشلاف[3]

[1]قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة مصراته، ليبيا

[2]قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة مصراته، ليبيا

[3]قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة مصراته، ليبيا

[1] z.alosta@edu.misuratau.edu.ly
[2]Sameraahmed365@gmail.com
[3]Fofe4408@gmail.com

ملخص البحث

تناول هذا البحث تقييمًا جيوكيميائيًا لتربة المناطق الزراعية في مدينة مصراتة عبر أربعة مواقع رئيسية (الدفنية، كرزاز، أبوروية، وطمينة)، لتحديد أثر الرقم الهيدروجيني (pH) على توزع الجاهزية الحيوية للعناصر النزرة (Fe, Mn, Zn) والثقيلة (Pb, Ni) عند عمقين مختلفين 10cm و20cm. أظهرت النتائج سيادة الخصائص القلوية القوية (pH > 8.5) في معظم المواقع، والتي شكلت المحدّد الأساسي للجاهزية البيولوجية للمغذيات الصغرى؛ فعلى الرغم من الوفرة الإجمالية العالية لعنصر الحديد (Fe) والتي بلغت 2620 µg/g، إلا أن قلوية الوسط أدت إلى تثبيته كيميائيًا وظهور حالة "الفقر الوظيفي" للنبات. كما رصدت الدراسة شذوذاً جيوكيميائيًا للرصاص (Pb) في منطقة الدافنية عند العمق التحت سطحي بتركيز 1222µg/g، مما يشير إلى مصدر تلوث بؤري ناتج عن أنشطة بشرية،تُظهر النتائج أن جودة التربة الزراعية في المنطقة تخضع للتوازن الكيميائي القلوي أكثر من اعتمادها على المخزون المعدني المباشر، وتوصي الدراسة بتبني تقنيات التعديل الحمضي الموضعي لتحرير العناصر المترسبة وتحويلها إلى صور ذائبة صالحة للامتصاص النباتي.

الكلمات المفتاحية: العناصر النزرة، العناصر الثقيلة، الرقم الهيدروجيني للتربة، التقييم الجيوكيميائي

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (**CC BY-4.0**).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

Chemical Equilibrium Dynamics and Distribution of Trace and Heavy Elements in Agricultural Systems of Misurata:

A Comparative Geochemical Study

[1]Zaineb Ibrahim Losta, Sameera Ahmed Bala[2], Alkhansa Hamed Kashlaf[3]
[1]Chemistry Department, Faculty of Education, Misurata University, Libya
[2] Chemistry Department, Faculty of Science, Misurata University, Libya
[3]Chemistry Department, Faculty of Education, Misurata University, Libya

Abstract

This study evaluated the geochemical status of agricultural soils in Misrata, Libya, across four primary sites (Ad-Dafniyah, Karzaz, Abu Ruwayah, and Tommina) to determine the impact of soil pH on the spatial distribution and bioavailability of trace elements (Fe, Mn, Zn) and heavy metals (Pb, Ni) at two sampling depths (10 cm}and (20 cm). The results revealed a predominant strong alkalinity (Ph>8.5), which acts as the main factor constraining micronutrient bioavailability. Despite high total iron (Fe) concentrations reaching (2620 µg g^{-1}), the element exhibits a functional deficiency due to chemical precipitation and fixation in the alkaline medium. Additionally, a distinct geochemical anomaly for lead (Pb) was identified in Ad-Dafniyah at the sub-surface depth (1222 µg g^{-1}), indicating localized anthropogenic input. The study demonstrates that agricultural soil quality in Misrata is governed by chemical equilibrium rather than total mineral abundance, and recommends localized soil acidification techniques to solubilize precipitated minerals and enhance plant nutrient uptake.

Keywords: Heavy metals; Geochemical assessment; Soil pH; Trace elements

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (**CC BY-4.0**).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

المقدمة

تُعد المعادن والصخور ركيزة استراتيجية لتلبية متطلبات القطاعات الصناعية والزراعية والاقتصادية، ومع ذلك يُشكل تلوث التربة بالمعادن الثقيلة معضلة بيئية عالمية ذات تداعيات مباشرة وغير مباشرة على السلامة العامة، وتتزايد التراكيز المعدنية في النظم الزراعية بفعل العوامل الجيوجينية الطبيعية والأنشطة الأنثروبوجينية (البشرية)، يترتب على هذا التزايد ارتفاعٌ في سمّية السلسلة الغذائية، مما يتطلب رصداً دقيقاً لضمان أمن الغذاء(Alomar et al., 2022 p1) .

يُصنف تلوث التربة كأحد أكثر التحديات البيئية خطورة وتعقيدًا؛ نظرًا لطبيعته المستترة وعدم امتلاكه لونًا أو رائحة تُسهل رصده الحسي، يتسم هذا التلوث أيضًا باستقرار كيميائي ومقاومة شديدة للتحلل البيولوجي، إلى جانب سمّيته التراكمية وقدرته على الانتقال بين الأوساط البيئية، ورغم وجود المعادن الثقيلة طبيعيًا في التربة، إلا أن تراكيزها تتجاوز الحدود الآمنة بفعل أنشطة بشرية مكثفة؛ مثل صهر المعادن، واحتراق الوقود الأحفوري، والإفراط في الأسمدة والمبيدات، والانبعاثات الصناعية، والطمر غير الآمن للنفايات. كما تُسهم العمليات الجيومورفولوجية كالتعرية وتحلل الصخور بفعل الأمطار والرياح في إعادة توزيع هذه المعادن (Alomar et al., 2022 p1) .

يمثل تلوث التربة خطرًا بيئيًا كبيرًا كونها تعمل كخزان ومصفاة حيوية. تمتلك التربة قدرة عالية على الامتصاص والترشيح، مما يحتجز الملوثات ويمنع تسربها السريع للمياه الجوفية والسطحية، لكن هذا الاحتجاز يؤدي إلى تدهور خصائص التربة وتضرر الغطاء النباتي والثروة الحيوانية، وتختلف التربة عن الهواء والماء في كونها وسطًا تراكميًا يزيد من ديمومة التلوث، بينما تمتلك الأوساط الأخرى آليات ذاتية لتبديد الملوثات وخفض تراكيزها.(Onder et al., 2007 p145) .

توجد المعادن الثقيلة في التربة والنبات بتركيزات نزرة (Trace amounts) تُعد ضرورية للعمليات الحيوية ضمن حدود دقيقة. وتتحول هذه المعادن إلى عناصر سامة ذات تأثيرات فسيولوجية مدمرة عند تجاوز الحدود العتبية فهي تُثبط النمو النباتي من خلال تعطيل النشاط الإنزيمي والتبادل الغازي في الثغور كما تُقلل التراكيز المرتفعة من كفاءة التمثيل الضوئي، وتعيق امتصاص العناصر الغذائية، وتُحدث أضرارًا هيكلية في الجذور(Onder et al., 2007 p145) .

تتباين مخاطر المعادن الثقيلة تبعًا لخصائصها الكيميائية وتفاعلها البيولوجي. يبرز الرصاص (Pb) كعنصر شديد الخطورة رغم استخداماته الصناعية، حيث يُصنف كعنصر سمّي عصبي (Neurotoxic) يسبب اضطرابات في الجهاز العصبي المركزي وتلفًا دماغيًا، وبالمثل يسبب الكروم (Cr) اعتلالات فسيولوجية حادة عند تجاوز حدوده المسموح بها، مثل الفشل الكلوي والتهابات الجلد والأغشية المخاطية، مما يتطلب رقابة صارمة على مخلفاته الصناعية(Onder et al., 2007 p146) .

تُعد عناصر الزرنيخ، والكادميوم، والرصاص، والمنغنيز، والزنك، واليورانيوم من أشد الملوثات المعدنية خطورة، وتتسبب هذه العناصر في مخاطر صحية معقدة للإنسان، حيث يتركز نحو 70% من الكادميوم في الكبد والكليتين والهيكل العظمي نتيجة تراكمه الحيوي العالي، ولطول عمره النصف بيولوجي وصعوبة اطراحه خارج الجسم، يسبب الكادميوم هشاشة العظام، وتلف الرئتين، واضطرابات الغدد الصماء، إضافة إلى تأثيراته المسرطنة (Onder et al., 2007 p146) .

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)
ISSN: 2710-4141
https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

أظهرت الدراسات الحديثة ارتفاعًا ملموسًا في تراكيز الرصاص بالتربة والغطاء النباتي المتاخم للطرق، ويرجع هذا التراكم أساسًا إلى الانبعاثات المرورية واحتراق الوقود الأحفوري المحتوي سابقًا على الرصاص يُشكل هذا التلوث مصدرًا مستمرًالتسرب المعادن إلى السلسلة الغذائية عبر الترسيب الجوي على الأوراق أو الامتصاص الجذري من التربة(Onder et al., 2007 p146) .

مشكلة الدراسة:

تكمن مشكلة الدراسة في التناقض الجيوميائي المرصود بالتربة الزراعية في مدينة مصراتة عبر المواقع الأربعة المستهدفة (الدافنية، كرزاز، أبو روية، وطمينة)؛ حيث أظهرت التحاليل المخبرية وفرة عددية رقمية مرتفعة لعنصر الحديد (Fe) تصل إلى 2620 جزء في المليون (ppm)، بالتوازي مع وجود نسب محددة من العناصر الصغرى الأخرى (المنغنيز، الزنك) والعناصر الثقيلة (الرصاص، النيكل) عند أعماق متفاوتة (10 سم و20 سم). ورغم هذه الوفرة الكمية يعاني القطاع الزراعي في هذه المناطق من ظاهرة "النقص الوظيفي " (Functional Deficiency)لهذه المغذيات الصغرى؛ ويعود ذلك بشكل رئيس إلى التأثير المباشر لدرجة حموضة التربة (soil pH)، حيث تؤدي الأوساط القلوية السائدة إلى حدوث عمليات تثبيت كيميائي (Chemical Fixation) وتحويل تلك العناصر إلى صيغ مرسبة غير قابلة للامتصاص، بناءً على ذلك تتحدد المشكلة البحثية في غياب الفهم الدقيق لآلية الارتباط بين درجة حموضة التربة والتوزيع الرأسي والتوافر البيولوجي (Bioavailability) لهذه العناصر، مما يحول دون الاستغلال الأمثل للتربة ويهدد جودة الإنتاج الزراعي نتيجة لعدم ذوبانية المغذيات الأساسية للنبات.

أهداف الدراسة:

يتمثل الهدف الرئيسي لهذا البحث في إجراء تقييم جيوكيميائي متكامل لتربة المناطق الزراعية بمدينة مصراتة، وذلك من خلال تحقيق الأهداف الفرعية التالية:

- توصيف الحالة الكيميائية (pH): قياس وتحليل درجة تفاعل التربة (الرقم الهيدروجيني) في المواقع المستهدفة، وتحديد مدى سيادة الخصائص القاعدية وتأثيرها على الاتزان الكيميائي لمحلول التربة.
- تقدير محتوى العناصر النزرة (Micronutrients): رصد مستويات تركيز العناصر الأساسية لنمو النبات (الحديد، المنجنيز، الزنك، والنحاس) وتحديد أنماط توزيعها الرأسي عند أعماق مختلفة (10cm و 20cm).
- تقييم مستويات العناصر الثقيلة (Heavy Metals): قياس تركيزات عنصري الرصاص والنيكل لتقييم الجودة البيئية للتربة، وتحديد أي شذوذ جيوكيميائي قد يشير إلى مصادر تلوث محتملة.
- دراسة العلاقة الارتباطية: تحليل الارتباط بين ارتفاع الرقم الهيدروجيني (pH) ومدى جاهزية وتوفر العناصر المعدنية، لتفسير ظاهرة التثبيت الكيميائي للمغذيات في البيئات القاعدية.

أهمية الدراسة:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها العلمية والتطبيقية من المحاور الآتية:

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)
ISSN: 2710-4141
https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

- الأهمية العلمية (النظرية) :يقدم البحث تقييمًاكيميائيًا أرضيًا (Geochemical Assessment) يسهم في إثراء المعرفة الأكاديمية حول الخصائص الكيميائية للتربة في مدينة مصراتة، مع تقديم تفسير تحليلي دقيق لظاهرة التثبيت الكيميائي المرتبطة بقلوية الأوساط الزراعية وعلاقتها بالعمق (10 سم و20 سم).
- الأهمية التطبيقية (العملية):تفتح هذه الدراسة آفاقًا تطبيقية مباشرة لخدمة القطاع الزراعي المحلي من خلال التأسيس العلمي لتقنيات معالجة الحموضة الموضعية (Localized acid amendment techniques) ؛ وهي الحلول التي تضمن تفكيك المركبات المترسبة وتحويل العناصر الكيميائية المخزنة في التربة من صورها غير الذائبة إلى صيغ ذائبة ومتاحة بيولوجيًا للاستخدام النباتي.
- الأهمية البيئية والصحية :يسهم رصد العناصر الثقيلة (كالرصاص والنيكل) وتوزيعها عبر الأعماق المختلفة في وضع قاعدة بيانات وقائية لتقييم المخاطر البيئية المحتملة ومستويات التلوث في التربة، مما يدعم استدامة الأمن الغذائي والصحة العامة بالمنطقة.

الدراسات السابقة ذات الصلة:

هناك العديد من الدراسات التي تناولت تقدير العناصر الثقيلة و النزرة في التربة الزراعيةفقد أجري دراسة لتقييم التلوث بالمعادن الثقيلة في التربة والغطاء النباتي لمدينة قونية، تركيا وهي مركز يجمع بين النشاطين الصناعي والزراعي. شملت العينات الأعشاب والتربة من ثمانية مواقع صُنفت حسب كثافة المرور والتعرض الصناعي.(Onder et al., 2007 P 75)

حيث جُمِعت العينات من المناطق الخضراء في المدينة و شملت المنتزهات و الحدائق العامة تضمن التجهيز العينات الغسل، التجفيف، ومن ثم الهضم الحمضي والتحليل باستخدام جهاز (ICP-AES). استُخدم اختبار تحليل التباين (ANOVA) واختبار "دنكان" للمقارنات المتعددة للنتائج، كما حُللت الارتباطات بين محتوى المعادن في التربة والأعشاب حيث من خلال النتائج لُوحظت زيادة معنوية لعنصر الرصاص في عينات التربة والأعشاب، حيث سجل "ميدان أنيت" أعلى تركيز في التربة (5.67 ppm)، بينما تجاوز الرصاص في الأعشاب الحد المسموح به (3ppm) في "حديقة تلة علاء الدين" بينما سجلت حديقة "مصنع السكر" أعلى المستويات في التربة والأعشاب لعنصر النحاس، ومع ذلك ظلت القيم دون مستوى السمية الحرجة للنباتات (20-30 ppm).(Onder et al., 2007 P 75-76)

بالنسبة لعنصر الزنك أظهرت النتائج تباينات مكانية وزمنية واضحة، حيث سجلت الأعشاب في "حديقة مصنع الإسمنت" أعلى قيمة (64.67 ppm)، وهي قيم تتجاوز الخلفية الطبيعية للمنطقة لكنها دون حد السمية الحرجةوأما عنصر الكروم فكانت مستوياته في التربة منخفضة عموماً، لكنها ارتفعت في الأعشاب لتصل إلى 23.03ppm في "حديقة مصنع الكروم والمغنيسيت"، مما يشير إلى مخاطر تلوث نباتي.(Onder et al., 2007 P 79-80)

بالرغم من بقاء مستويات عنصر الكادميوم في التربة ضمن الحدود الزراعية المقبولة، إلا أن تركيزه في الأعشاب تجاوزت عتبات السمية الحرجة (0.05 ppm)، مما يؤكد تلوث الغطاء النباتي بهذا العنصر وكما أظهرت النتائج تبايناً في مستويات النيكل (Ni) والفاناديوم (V) والكوبالت (Co)، حيث ارتبطت القيم الأعلى بالمواقع الصناعية واستخدام الأسمدة. (Onder et al., 2007 P 79-80)

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

خلصت الدراسة إلى وجود ارتباط إيجابي وذو دلالة إحصائية بين محتوى التربة والأعشاب لعناصر الرصاص، والنحاس، والفاناديوم، والنيكل، مما يشير إلى انتقال هذه المعادن من التربة إلى الأنسجة النباتية مما يؤكد أن التلوث المعدني في مركز مدينة قونية يتأثر بشكل أساسي بالانبعاثات الصناعية، ووقود التدفئة، وعوادم المركبات، مع تأثر هذه العوامل بجيومورفولوجية المدينة وظروف الأرصاد الجوية.(Onder et al., 2007 P 81)

كما أجرى (Krishna وآخرون 2009) دراسة تقدير العناصر الثقيلة في التربة والرسوبيات والصخور باستخدام مطيافية الانبعاث الضوئي للبلازما المقترنة حثيًا: مقارنة بين تقنيتي الهضم الحمضي بمساعدة الميكروويف والهضم الحمضي المفتوح.

قارنت الدراسة بين تقنية الهضم بالميكروويف باستخدام مزيج حمضي من ($HF-HNO_3-HCl$)، وتقنية الهضم المفتوح باستخدام مزيج من ($HF-HNO_3-HClO_4$) لاستخلاص المعادن الثقيلة من عينات التربة والرواسب والصخور لمواقع في الهند.(Krishna et al., 2009 p75)

أُجري التحليل باستخدام مطياف الانبعاث الذري للبلازما المقترنة حثيًا (ICP-OES), مع تحسين المعلمات التشغيلية لعدد من العناصر الثقيلة والرئيسية, واستُخدمت مواد مرجعية معتمدة (مثل TILL-3 للتربة، و LKSD-1 لرواسب البحيرات، و JB-3 للبازلت)؛ كما تضمنت عملية المعايرة محاليل قياسية متعددة العناصر مع عينات فارغة (Blanks) لضمان الدقة (Krishna et al., 2009 p77).

حققت كلتا الطريقتين (الميكروويف والهضم المفتوح) نسب استرداد جيدة لمعظم العناصر، تراوحت عموماً بين 90-124%، باستثناء عناصر الكالسيوم (Ca)، والسترونشيوم (Sr)، والرصاص (Pb)، والباريوم (Ba) التي سجلت نسب استرداد منخفضة، خاصة في المصفوفات المعقدة مثل رواسب البحيرات والبازلت. تميز الهضم بالميكروويف بكونه أسرع، وأكثر أمانًا، وأقل استهلاكًا للأحماض، مع دقة أعلى (انحراف معياري نسبي RSD غالبًا <5%) مقارنة بالهضم المفتوح الذي أظهر تباينًا أكبر (وصلت قيمة RSD إلى 20% لعنصر الرصاص), كما كانت حدود الكشف للعناصر أقل من 0.05 ملجم/كجم، باستثناء الزنك (1.3 ملجم/كجم)، مما يعكس حساسية محسنة مقارنة بالدراسات السابقة (Krishna et al., 2009 p 80-81)

كما تم كشف تحليل عينات تربة صناعية من مواقع ملوثة في الهند عن تراكيز معادن ثقيلة تتجاوز المستويات العالمية المتوسطة، مما يشير إلى تأثير المخلفات الصناعية والأسمدة الكيماوية، ومخاطر محتملة لتلوث المياه الجوفية, ووُجد أن المصدر الرئيسي للتباين في النتائج يكمن في تلوث الأحماض المستخدمة وليس في طريقة الهضم ذاتها، مما يؤكد على أهمية نقاء الأحماض.
.(Krishna et al., 2009 p 80)

خلصت الدراسة إلى أن الهضم الحمضي بمساعدة الميكروويف إجراءً سريعًا ودقيقًا وآمنًا لاستخلاص المعادن الثقيلة من العينات البيئية بكفاءة عالية، رغم كلفته المرتفعة وحاجته إلى خبرة فنية متخصصة, بالرغم من فاعلية الهضم في الأوعية المفتوحة عمومًا، إلا أنه يظل الخيار الأقل تفضيلًا نظرًا لاستهلاك الأحماض المفرط، وطول وقت المعالجة، والمخاوف المتعلقة بالسلامة.
(Krishna et al., 2009 p 80-81)

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)
ISSN: 2710-4141
https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

في دراسة أخرى (Alomar et al., 2022 p1)تم استقصاء تراكيز المعادن الثقيلة (Pb, Cd, Ni, As, Cr, Zn, Cu) في تربة مزرعة "الشبانات" المتاخمة للمناطق الصناعية في المملكة العربية السعودية باستخدام تقنية مطيافية الكتلة للبلازما المقترنة حثياً (ICP-MS).

أظهرت النتائج أن التركيزات المرصودة تقع ضمن الحدود المسموح بها عالميًا، ويعزى انخفاض معدلات التلوث إلى الاستخدام المنضبط للأسمدة, حيث جُمِعت العينات و قيست الخصائص الفيزيوكيميائية مثل الأس الهيدروجيني (pH)، الرطوبة، والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، والتوصيلية الكهربائية. (Alomar et al., 2022 p4)

أُجري الهضم الحمضي للعينات باستخدام مزيج من أحماض (HNO_3, HCl, HF)، وحُلِّلت باستخدام جهاز (ICP-MS) حيث نُوعت مناطق أخذ العينات بناءً على نوع السماد المستخدم: الأسمدة العضوية (المنطقة A)، الأسمدة الصناعية (المنطقة B)، وفوسفات ثنائي الأمونيوم (المنطقة C).(Alomar et al., 2022 p2)

سجل عنصر الزنك أعلى تركيز مرصود، بينما سجل الكادميوم أدنى تركيز في جميع الأعماق والمواقع؛ وكانت جميع المستويات دون عتبات التلوث المعتمدة في المعايير الدولية للتربة.(Alomar et al., 2022 p4)

لوحظت زيادة في رطوبة التربة مع زيادة العمق، وتراوحت قيم الأس الهيدروجيني بين 7.3 و8.3، حيث أثرت ظروف البيوت المحمية والأسمدة الصناعية على ارتفاع هذه القيم في بعض العينات كما عكس التباين في التوصيلية الكهربائية و(TDS) أثر طرق الري وأنواع الأسمدة على توزيع تراكيز الأملاح في طبقات التربة المختلفة. (Alomar et al, 2022 p5)

أوصت الدراسة باعتماد طرق المعالجة البيولوجية (مثل المعالجة النباتية Phytoremediation والعمليات الميكروبية) لاستصلاح التربة الملوثة، لكونها خيارات صديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة مقارنة بالمعالجات الفيزيائية والكيميائية.
(Almomar et al, 2022 p5)

الجانب العملي:

جمع العينات:

اعتمدت الدراسة في اختيار مواقعها على أربع مناطق زراعية بمدينة مصراتة وهي: (الدفنية، كرزاز، أبوروية، وطمينة)، ولضمان الحصول على بيانات كيميائية دقيقة وممثلة للواقع الجيوكميائي لهذه المناطق، يشير (Sparks et al. 1996 p24) إلى ضرورة استخدام استراتيجية العينات المركبة (Composite Sampling) لتجاوز التباين المكاني في خصائص التربة، وبناءً على ذلك، تم جمع خمس عينات فرعية من نقاط عشوائية داخل كل موقع زراعي.

لضمان التمثيل المكاني والدقة في تمثيل التربة، تم جمع عينات تربة مركبة (Composite Samples) لكل موقع دراسة عن طريق دمج 5 عينات فرعية، تم اختيار النقاط الفرعية باتباع التوزيع النمطي على شكل حرف (W-shape sampling pattern)على مسافات فاصلة تراوحت بين 5 إلى 10 أمتار بين نقطة وأخرى لتغطية المساحة الممثلة للموقع. جُمعت العينات خلال شهر [أكتوبر] للتحكم في العامل الموسمي وثبات الظروف الهيدرولوجية، حيث تمت عملية السحب بعد انتهاء الموسم الزراعي الصيفي ومرحلة الحصاد وقبل أنشطة الري الدورية للموسم الجديد. وقد روعي اختيار هذا التوقيت لتفادي التغيرات المؤقتة والحادة

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)
ISSN: 2710-4141
https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

في قيم الرقم الهيدروجيني (pH) حركية وذائبية العناصر الثقيلة الناتجة عن مياه الري أو الإضافات السمادية الموسيمية التراكمية المستقرة للعناصر في التربة.

وجرت عملية السحب من مستويين رأسيين يمثلان الطبقة السطحية عند عمق 10 cm ومنطقة نشاط الجذور عند عمق 20 cm. وتماشيًا مع البروتوكولات المتبع في (Sparks et al. 1996 p 29) ، خضعت العينات الفرعية لعملية خلط متجانس لتكوين عينة مركبة واحدة لكل عمق، مما أدى في النهاية إلى الحصول على عينتين ممثلتين لكل منطقة زراعية (بإجمالي 8 عينات مركبة للدراسة كاملة) ، وذلك بهدف تحليل المتغيرات الكيميائية وربط تركيزات العناصر النزرة والثقيلة بتباين الرقم الهيدروجيني pH.

قياس الرقم الهيدروجيني لعينات التربة:

حسب الطريقة المتبعة في (Sparks et al. 1996: p. 488-489) ، تم تحديد الرقم الهيدروجيني للتربة (pH) في مستخلصين مائي وملحي؛ حيث مُزجت عينة من التربة الجافة (10g) مع 50 ml من الماء المقطر في الكأس الأول، بينما مُزجت عينة أخرى (10g) مع 50 ml من محلول كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) بتركيز 0.01M. حُرِّك المعلق المائي لمدة 2–3 دقائق ثم تُرِك ليستقر، في حين حُرِّك معلق كلوريد الكالسيوم باستمرار لمدة 10 دقائق، جرت معايرة جهاز الـ pH بدقة باستخدام محاليل منظمة قياسية (بافر) عند قيمتي رفم هيدروجيني 4.0و 7.0. عُيِّن الرقم الهيدروجيني لكلا المستخلصين عن طريق تسجيل ثلاث قراءات متتالية لكل عينة في زمن استجابة تراوح بين 20 و90 ثانية، وقورنت الفروقات بين القراءات المستخلصة كيميائياً.

تقدير تركيز العناصر الثقيلة(Heavy Metal Analysis)

1. بروتوكول الهضم الحمضي (Sample digestion protocol):

جُهِّزت عينات التربة لتقدير المحتوى الكلي للعناصر الثقيلة بإتباع طريقة الهضم الحمضي الموصوفة بواسطة (جمعة والأنباري 2010)، أُخضِعت العينات أولًا للتجفيف التام باستخدام فرن تجفيف حراري، ثم تُرِكت لِتبرد في مجفف(Desiccator) ، ونُخِلت لاحقاً باستخدام منخل قياسي بقطر فتحات يبلغ 2 ملم لضمان تجانس الحبيبات.

وزِن بدقة 0.25g من مسحوق كل عينة تربة، ونُقِل إلى دورق هضم حيث أُضيف إليه خليط حمضي مكون من حمض النيتريك المركز (HNO_3) وحمض البيركلوريك ($HClO_4$) بنسبة حجيمة بلغت 4:1 (1ml : 4ml) على التوالي. سُخِّن المزيج تدريجيًا عند درجة حرارة 105°Cلمدة تتراوح بين 2 إلى 3 ساعات حتى تصاعد الأبخرة البيضاء الكثيفة، وعندها رُفِعت درجة الحرارة إلى 185°Cواستمر التسخين لحين تبخر الراشح والجفاف التام للمحلول.

تُرِكت الأوعية لِتبرد حتى درجة حرارة الغرفة، ثم أُضيف إلى الراسب الجاف 2ml من حمض الهيدروكلوريك (HCl) بتركيز 2 عياري (2N)، وأُعيد تسخين المحلول مجددًا لمدة ساعة واحدة بعد تبريد المزيج النهائي، أُضيف إليه 8ml من الماء المقطر وتُرِك ساكناً لمدة 4 ساعات لضمان التوازن الأيوني والاستخلاص الكامل. رُشِّح المعلق الناتِج باستخدام ورق ترشيح (Whatman No.42) ، ونُقِلت الرواشح كمياً إلى دوارق حجمية قياسية سعة 50 ml، وجُلِب الحجم النهائي إلى العلامة باستخدام الماء المقطر. اعتمد هذا الهضم شبه الكلي (Pseudo- total digestion) للتركيز على العناصر الثقيلة المتاحة بيئيًا دون إذابة هيكل السيكات الخامل بـ HF.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

حُضِّرت عينة بلانك (العينة الصفرية– Blank solution)باتباع الخطوات والمحاليل الكيميائية السابقة ذاتها دون إضافة التربة. في الخطوة الأخيرة، قِيسَت تراكيز العناصر الثقيلة المستهدفة في المحاليل المحضرة باستخدام جهاز مطيافية الامتصاص الذري (Atomic Absorption Spectrometry – AAS).

2.ضبط الجودة وتصحيح التداخلات (QA/QC & Background Correction)

قيست تراكيز العناصر باستخدام جهاز الطيف الضوئي للامتصاص الذري (AAS)، ولتلافي التداحلات الطيفية وتشتت الضوء الناتج عن المكونات المعقدة للماتريكس، تم تفعيل نظام التصحيح الخلفي بمصباح الديوتروم (D2 Background Corrector) . أعدت منحنيات المعايرة لكل عنصر باستعمال المحاليل القياسية بتركيزات متسلسلة، مع تسجيل معامل تحديد انحدار (R^2> 0.998)لجميع المنحنيات.

النتائج العملية لقياس الرقم الهيدروجيني للتربة:

جمعت نتائج دراسة الرقم الهيدروجيني لعينات التربة باستخدام الماء المقطر وكذلك باستخدام محلول 0.01M من كلوريد الكالسيوم، حسب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري بعد تكرار التجربة لنفس العينة المركبة ثلاث مرات.

1. نتائج دراسة الرقم الهيدروجيني لعينة مختلطة من منطقة طمينة:

جدول (1) نتائج قياس الرقم الهيدروجيني لعينات مختلطة من منطقة طمينة على عمقين مختلفين

	العينة + ماء مقطر		العينة+ $CaCl_2$	
عمق العينة	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
الرقم الهيدروجيني pH	9.613± 0.023	9.593± 0.035	8.330± 0.010	8.333± 0.031

2. نتائج دراسة الرقم الهيدروجيني لعينة مختلطة من منطقة أبوروية:

جدول (2) نتائج قياس الرقم الهيدروجيني لعينات مختلطة من منطقة أبوروية على عمقين مختلفين

	العينة + ماء مقطر		العينة+ $CaCl_2$	
عمق العينة	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
الرقم الهيدروجيني pH	9.383± 0.012	9.320± 0.010	9.233± 0.508	8.303± 0.012

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

3. نتائج دراسة الرقم الهيدروجيني لعينة مختلطة من منطقة كرزاز:

جدول (3) نتائج قياس الرقم الهيدروجيني لعينات مختلطة من منطقة كرزاز على عمقين مختلفين

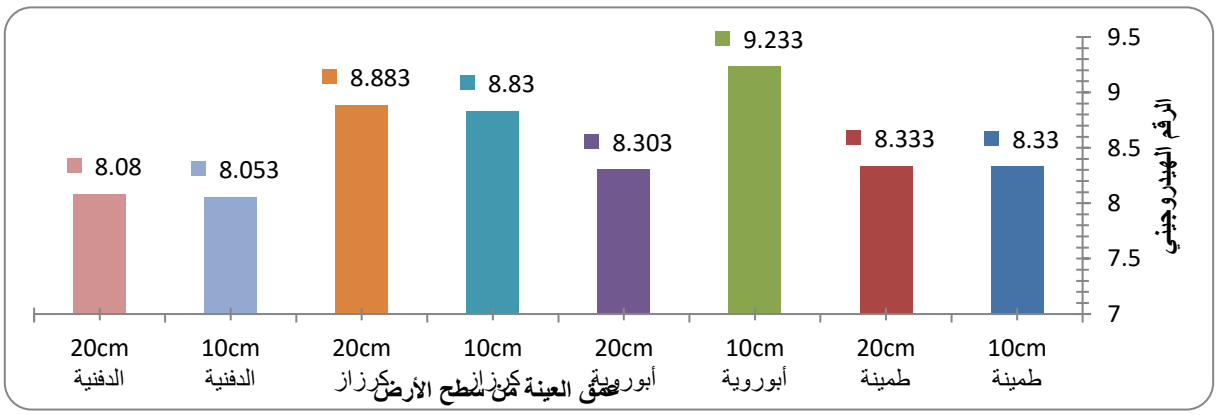
	العينة + ماء مقطر		العينة+ $CaCl_2$	
عمق العينة	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
الرقم الهيدروجيني pH	9.867± 0.015	10.033± 0.021	8.830± 0.010	8.883± 0.012

4. نتائج دراسة الرقم الهيدروجيني لعينة مختلطة من منطقة الدافنية:

جدول (4) نتائج قياس الرقم الهيدروجيني لعينات مختلطة من منطقة الدافنية على عمقين مختلفين

	العينة + ماء مقطر		العينة+ $CaCl_2$	
عمق العينة	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
الرقم الهيدروجيني pH	8.887± 0.029	8.873± 0.025	8.053± 0.047	8.080± 0.020

لوحظ أن الرقم الهيدروجيني انخفض عند استخدام محلول كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) في عملية القياس مقارنة بالمستخلص المائي، وهو ما يعد سلوكًا متوقعًا من الناحية الكيميائية؛ حيث تؤدي أيونات الكالسيوم (Ca^{+2}) دورًا رئيسيًا في الإحلال محل أيونات الهيدروجين (H^+) والألومنيوم (Al^{+3}) المتبادلة والمدمجة على أسطح الغرويات الأرضية (معقد التبادل)، مما يساهم في إطلاقها إلى المحلول في صورة نشطة تزيد من الحموضة الفعلية المقاسة ".(Thomas, 1996; Minasny et al., 2011p487)وعلى هذا الأساس تم اعتماد نتائج الرقم الهيدروجيني للعينات باستخدام محلول كلوريد الكالسيوم كرقم هيدروجيني حقيقي لعينات التربة.



شكل (1) الرقم الهيدروجيني لعينات التربة في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين.

توضح نتائج الدراسة الحالية جليًّا أن للتربة صفات قاعدية في المناطق الزراعية المدروسة، وبالرغم من أن هذه الصفة القاعدية ترتبط بمشاكل تتعلق بانخفاض جاهزية وتوفر بعض العناصر الغذائية الضرورية للنبات نتيجة الترسيب الكيميائي، إلا أنها عمومًا تعد أقل

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

تعقيدًا وضررًا من مشاكل التربة الحامضية التي قد تسبب سمية أيونية للنبات وتثبيطًا للمجموع الجذري (Sposito, 2008 p 231)ويُعزى ذلك إلى أن درجة الحموضة المثلى والمناسبة لنمو وجاهزية العناصر لمعظم النباتات الخضراء تقع بيئيًا في المدى ما بين 5.5 و7.0. (Brady & Weil, 2016 p360-375)

"ومن خلال الدراسات السابقة، يُعزى السبب الرئيسي لارتفاع قاعدية التربة وزيادة قيم الـ pH لتتجاوز 8.6 إلى زيادة نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) عن 15%؛ حيث يؤدي تراكم أيونات الصوديوم على معقد التبادل إلى تحلل كيميائي يرفع من تركيز أيونات الهيدروكسيل في محلول التربة ".(Richards, 1954, p26 Sparks, 2003 p287)

وكذلك من ضمن الأسباب التي يمكن أن تؤدي إلى ارتفاع قاعدية عينات التربة المدروسة هو نسبة الأملاح العالية في المياه الجوفية المستخدمة في ري المحاصيل الزراعية، والتي يعتمد عليها سكان تلك المناطق بشكل كبير في ري محاصيلهم؛ حيث يؤدي الري المستمر بهذه المياه إلى تراكم أيونات الصوديوم والبيركربونات في محلول التربة وتحفيز التفاعلات القلوية (جمعة والأنباري، 2010 ص 114) (Ayers & Westcot, 1985p 48-52).

النتائج العملية لتراكيز العناصر المدروسة في عينات التربة:

تم تقدير العناصر في المعمل الكيميائي لمصنع الحديد والصلب بمدينة مصراته باستخدام جهاز الامتصاص الذري Atomic absorption spectrophotometry (Hitachi 180-30)

تم حساب النتائج بوحدات (µg/g) باستخدام المنحنى القياسي لكل عنصر، والذي تم الحصول عليه من رسم العلاقة بين متوسط تكرار تركيز العينة المركبة وشدة الامتصاصية للمحاليل القياسية لكل عنصر على حدة، حيث قسمت شدة الامتصاص المتحصل عليها من الجهاز (Atomic Absorption) على ميل الخط المستقيم لكل منحنى.

جدول (5) تركيز العناصر بوحدات µg/g في عينات التربة للمناطق المدروسة على عمقين مختلفين

المنطقة	العمق	تركيز النحاس µg/g	تركيز الزنك µg/g	تركيز النيكل µg/g	تركيز المنجنيز µg/g	تركيز الرصاص µg/g	تركيز الحديد µg/g
طمينة	20cm	4± 0.011	54± 0.032	2.8 ±0.033	74± 0.011	36± 0.047	***
	RSD	0.275%	0.059%	1.179%	0.015%	0.131%	0
	10cm	***	22± 0.035	1.4±0.021	42± 0.032	14± 0.026	392± 0.022
	RSD	0	0.159%	1.5%	0.076%	0.186%	0.006%
أبوروية	20cm	***	18± 0.014	2.8± 0.017	46± 0.035	28± 0.032	***
	RSD	0	0.078%	0.607%	0.076%	0.114%	0

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

	10cm	6± 0.002	38±0.022	9.2± 0.051	80± 0.025	70± 0.042	232± 0.021
	RSD	0.033%	0.058%	0.554%	0.031%	0.060%	0.009%
الدفنية	20cm	4± 0.033	20± 0.032	1.4± 0.020	56± 0.012	1222± 0.011	1158± 0.071
	RSD	0.825%	0.160%	1.429%	0.021%	0.001%	0.006%
	10cm	4± 0.042	20± 0.015	2.8± 0.042	***	28± 0.013	2620± 0.037
	RSD	1.05%	0.075%	1.5%	0	0.046%	0.001%
كرزاز	20cm	***	20± 0.043	***	***	20± 0.024	1956± 0.028
	RSD	0	0.215%	0	0	0.120%	0.001%
	10cm	***	***	***	***	***	***
	RSD	0	0	0	0	0	0
الحدود القصوى المسموح بها في التربة [1]µg/g		50-140	150-300	30-75	1500-2000	85-300	38000-50000
حد الكشف للتربة LOD (µg/g)		0.25	0.075	0.625	0.375	1.250	0.375

*** تركيز العنصر أقل من حساسية الجهاز المستخدم.

[1]الحدود القصوى المسموح بها حسب منظمة الأغذية و الزراعة (FAO) ومنظمة الصحة العالمية (WHO)FAO/WHO.(2001).

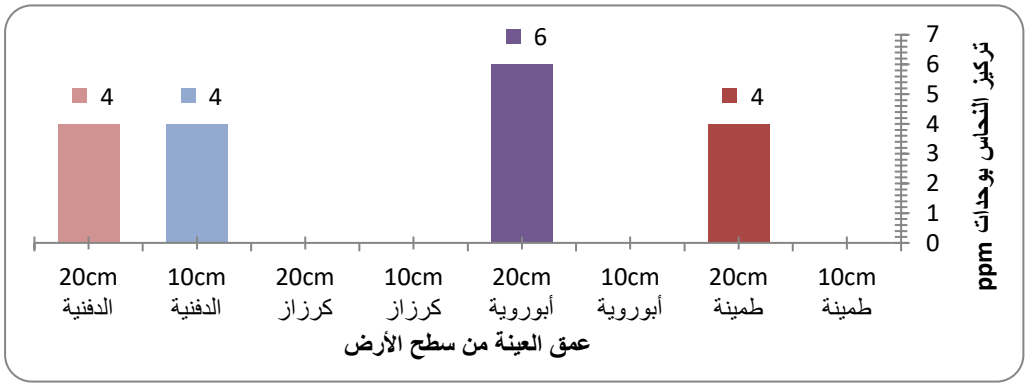
- تم تقييم التكرارية والدقة التحليلية باختبار العينات في ثلاث تكرارات مستقلة (n=3) حيث تشير قيم الانحراف المعياري النسبي (RSD) ممتازة ولم تتجاوز 1.5% لكافة العناصر المقاسة إلى الدقة مرتفعة والتكرارية ممتازة للنتائج التي توصل إليها بواسطة جهاز AAS Hitachi 180-30 وهو بذلك يتفوق هذا الأداء في التكرارية والدقة على تقنية الهضم المفتوح لدى Krishna et al. التي سجلت تباينًا مرتفعًا وصل إلى 20%لعنصر الرصاص، وتقترب دقة النتائج من

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)
ISSN: 2710-4141
https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

كفاءة الهضم بمساعدة الميكروويف (RSD < 5%). أما العينات التي وقعت تراكيزها دون حدود كشف الجهاز (LOD) فقد أشير إليها بالرمز (***) وتُعامل إحصائيًا بنصف قيمة حدالكشف (LOD) لضمان دقة التحليل الإحصائي وعدم التحيز.



شكل (2) تركيز عنصر النحاس بتركيز µg/g في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين

من خلال المخطط البياني يلاحظ أن أعلى تركيز للنحاس سجل في منطقة أبوروية بقيمة 6 µg/g عند عمق 20cm, بينما يظهر المخطط أن تركيز النحاس على عمق 10cm أقل من حساسية الجهاز.

موقع الدافنية سجل تركيز قدره 4 µg/g عند عمق 20 cm, بينما كان تركيزه أقل من حساسية الجهاز عند 10 cm,وهو ما سجل في عينات منطقة كرزاز حيث كان تركيز النحاس أقل من حساسية الجهاز على كلا العمقين.

في المواقع التي ظهرت فيها نتائج (مثل أبوروية وطمينة)، نلاحظ أن التركيز في العمق 20 cm أعلى منه في السطح 10cm. هذا قد يشير إلى عمليات غسل التربة، حيث تنتقل العناصر المعدنية من الطبقات السطحية إلى الطبقات التحت سطحية بفعل مياه الأمطار أو الري.

كما يشير تساوي القراءات في موقع الدافنية 4 µg/g إلى تجانس في توزيع عنصر النحاس، وهو ما قد يعود إلى طبيعة فيزيائية للتربة تمنع حركة العنصر، أو أن التربة خضعت لعمليات خلط ميكانيكي (مثل الحرث المتكرر).

تعتبر القيم المسجلة (تتراوح بين 4–6 µg/g) ضمن النطاق الطبيعي المألوف لوجود النحاس في التربة كعنصر مغذٍ زهيد (Micronutrient). النحاس عنصر أساسي لنمو النبات وتنشيط الإنزيمات، لكنه يصبح سامًا إذا تجاوز مستويات مرتفعة جدًّا (غالبًا فوق 20–30 µg/g في بعض أنواع التربة).

ربما يعود غياب النحاس في موقع كرزاز إلى عوامل جيولوجية (فقر المادة الأم المكونة للتربة بهذا العنصر) أو عوامل كيميائية مثل ارتفاع الرقم الهيدروجيني (pH) بشكل كبير (كما رأينا في المخطط الرقم الهيدروجيني)، مما قد يؤدي إلى ترسيب النحاس في صور غير قابلة للذوبان أو الكشف المخبري المعتاد، ويؤكد (Sposito, 2008 p236) أن في دراسته لكيمياء تربة المناطق الجافة أن

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

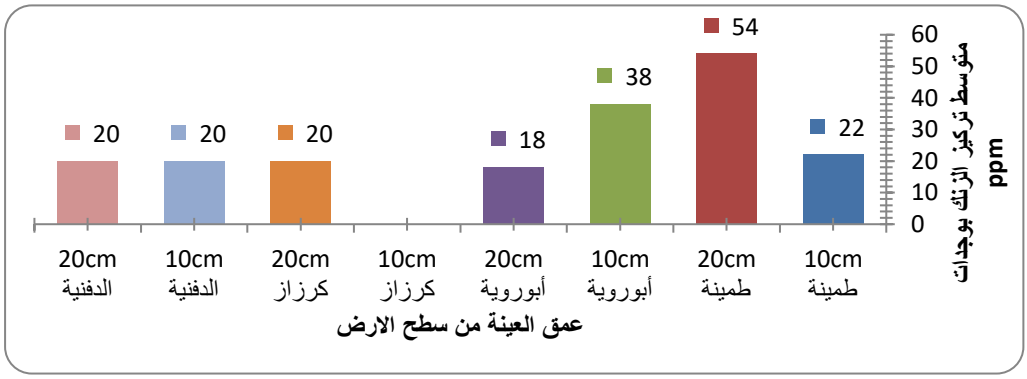
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

الارتفاع في قيم الـ pH يقلل بشكل حاد من ذائبية عناصر مثل الحديد والزنك والمنجنيز والنحاس نتيجة عمليات الترسيب الكيميائي".



شكل (3) تركيز عنصر الزنك بتركيز µg/g في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين

تُظهر النتائج تفاوتاً ملحوظاً في تركيزات الزنك بين المناطق الأربع المدروسة، حيث تراوحت القيم المسجلة ما بين 54-18) µg/g). حيث أن أعلى تركيز سجلته منطقة "طمينة" عند عمق 20 cm بقيمة 54 µg/g ، وهو ما يشير إلى مخزون معدني جيد في الطبقات التحت سطحية لهذه المنطقة.

كما يلاحظ في منطقة "أبورووية" أن التركيز السطحي 38 µg/g أعلى من العمق، مما قد يعزى إلى الإضافات التسميدية أو تراكم المادة العضوية. أما في "طمينة"، فالعكس هو الصحيح، مما يشير إلى احتمالية ترشح العنصر للأسفل.

في حين أظهرت منطقة "الدفنية" ثباتاً تاماً في التركيز عند العمقين بقيمة 20 µg/g ، بينما غاب العنصر في الطبقة السطحية لمنطقة "كرزاز".

بالرغم وجود الزنك بتركيزات كافية زراعيًا في معظم المواقع، إلا أن كفاءة امتصاصه من قبل النبات في تربة مصراتة قد تكون مقيدة بسبب الارتفاع الملحوظ في الرقم الهيدروجيني (pH) (الذي تجاوز 8.5 في أغلب العينات)، حيث تميل القلوية العالية إلى تثبيت الزنك وتحويله إلى صور غير ذائبة كما أشار إليه سابقا (Sposito 2008 p238).

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

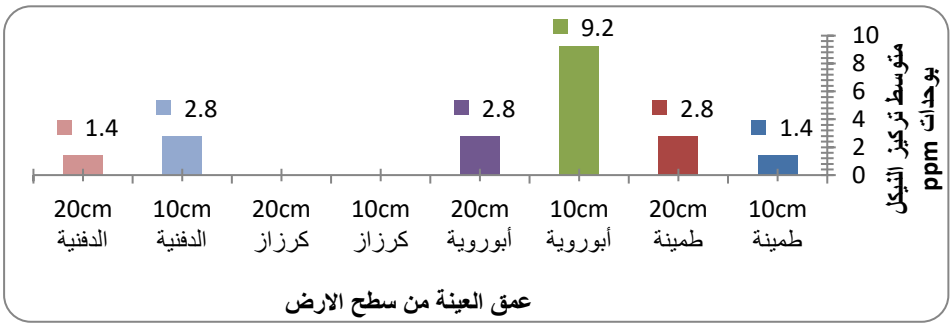
Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

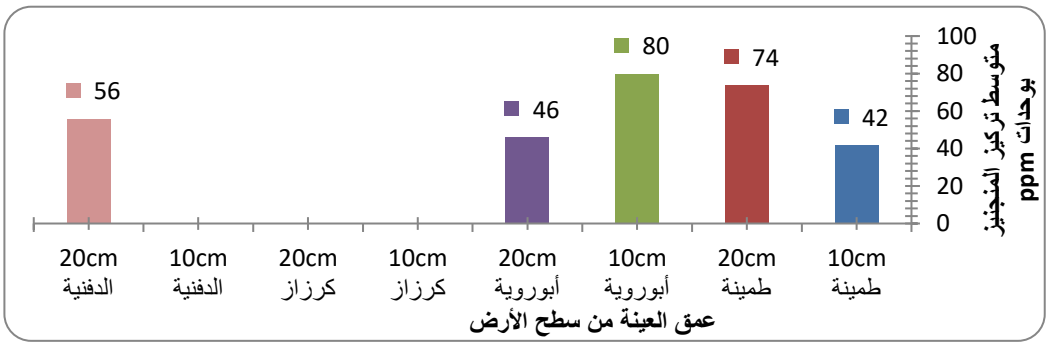


شكل (4) تركيز عنصر النيكل بتركيز µg/g في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين

تُظهر نتائج تحليل تركيز النيكل (Ni) في المناطق الزراعية الأربع بمدينة مصراتة مستويات منخفضة ومستقرة بشكل عام، حيث تراوحت القيم المسجلة للنيكل بين (1–9 µg/g)، وهي مستويات تقع ضمن الحدود الطبيعية الآمنة للتربة الزراعية وغير ملوثة،وحيث سجلت منطقة "أبوروية" أعلى تركيز للنيكل بمقدار 9.2 µg/g عند العمق السطحي 10cm، وهو ما يمثل طفرة نسبية مقارنة ببقية المواقع.

كما يلاحظ في أغلب المواقع (الدافنية، أبوروية، طمينة) أن تركيز النيكل في الطبقة السطحية 10cm أعلى منه في الطبقات الأعمق 20cm، مما يشير إلى ارتباط العنصر بالمادة العضوية أو احتمالية ترسبه من مصادر سطحية، بينما يبرز موقع "كرزاز" بخلو عيّناته من أي تركيز مرصود للنيكل عند العمقين، مما يعكس فقرًا طبيعيًا لهذا العنصر في تلك المنطقة.

فبالرغم من التفاوت الطفيف بين المواقع، إلا أن تركيزات النيكل تظل دون مستويات السمية البيئية. ومع ذلك فإن ارتفاع الرقم الهيدروجيني (pH) الذي رُصد في هذه التربة يعمل كعامل وقائي إضافي يقلل من حركة النيكل وذوبانه، مما يحد من مخاطر امتصاصه من قبل المحاصيل الزراعية.(Sposito 2008 p240)



شكل (5) تركيز عنصر المنجنيز بتركيز µg/g في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

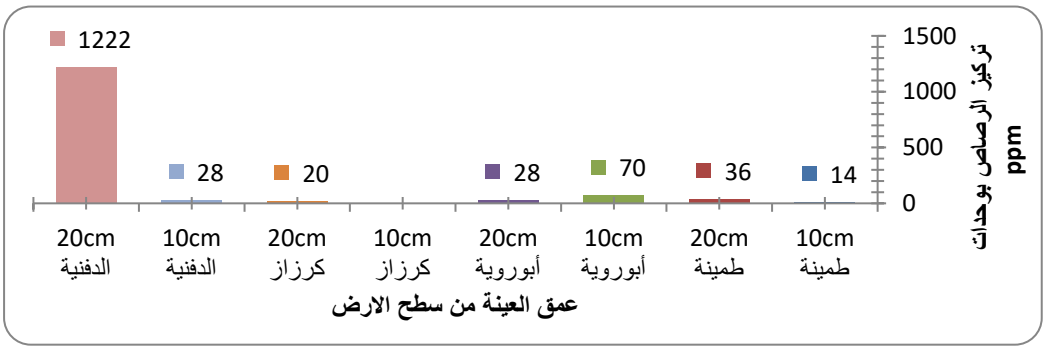
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

تُظهر نتائج تحليل تركيز المنجنيز (Mn) في التربة الزراعية بمناطق مصراتة المختارة قيمًا تتراوح بين مستويات منخفضة (أو غير مرصودة) وصولًا إلى 80 µg/g ، حيث أعلى القيم المرصودة تبرز منطقة "أبوروية" عند عمق 10 cm بأعلى تركيز للمنجنيز 80 µg/g ، تليها منطقة "طمينة" بتركيزات مرتفعة ومتقاربة عند العمقين (42-74 µg/g)

كما يلاحظ في منطقة "الدافنية" وجود المنجنيز في الطبقة العميقة 20 cm بتركيز 56 µg/g مع غيابه في الطبقة السطحية، بينما في "أبوروية" يتركز العنصر في السطح بشكل أكبر، مما يشير إلى تباين في حركة العنصر وتوزعه الرأسي بين موقع وآخر.

بينما لم يسجل موقع "كرزاز" أي قراءات للمنجنيز عند العمقين المدروسين، مما يؤكد فقره الطبيعي في العناصر المعدنية الصغرى.

يعتبر المنجنيز عنصرًا حيويًا في عمليات التمثيل الضوئي وتنشيط الإنزيمات داخل النبات. وبالرغم من توفر هذه التركيزات الجيدة في معظم المواقع، إلا أن القلوية العالية للتربة (ارتفاع الـ pH كما ظهر في المخطط الأول) تؤدي كيميائيًا إلى تحويل المنجنيز إلى صور غير ذائبة، مما قد يتسبب في ظهور أعراض نقص العنصر على المحاصيل رغم وجوده في التربة.



شكل (6) تركيز عنصر الرصاص بتركيز µg/g في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين

تُظهر نتائج تحليل تركيز الرصاص (Pb) في التربة الزراعية بمناطق مدينة مصراتة تباينًا حادًا ومؤشرات تستوجب الانتباه، حيث إن أعلى تركيز مرصود (القيمة الشاذة): سجلت منطقة "الدافنية" عند عمق 20 cm أعلى تركيز للرصاص بمقدار 1222 µg/g.

تُصنف هذه القيمة كقيمة شاذة مرتفعة جداً مقارنة ببقية المواقع، وتتجاوز الحدودالقصوى المسموح بها من قبل منظمة الأغذية و الزراعة (FAO) ومنظمة الصحة العالمية (WHO)للتربة غير الملوثة(100-300 µg/g)، مما قد يشير إلى نشاط بشري أو مخلفات صناعية سابقة في تلك النقطة،كما يلاحظ في منطقة "الدفنية" أن التركيز في العمق 1222 µg/g أكبر بكثير منه على السطح 28 µg/g ، مما قد يدل على تغلغل العنصر للأسفل أو وجود مصدر تلوث قديم تم دفنه أو تغطيته بطبقة تربة أحدث.

أما في "أبوروية"، فالتركيز السطحي هو الأعلى.

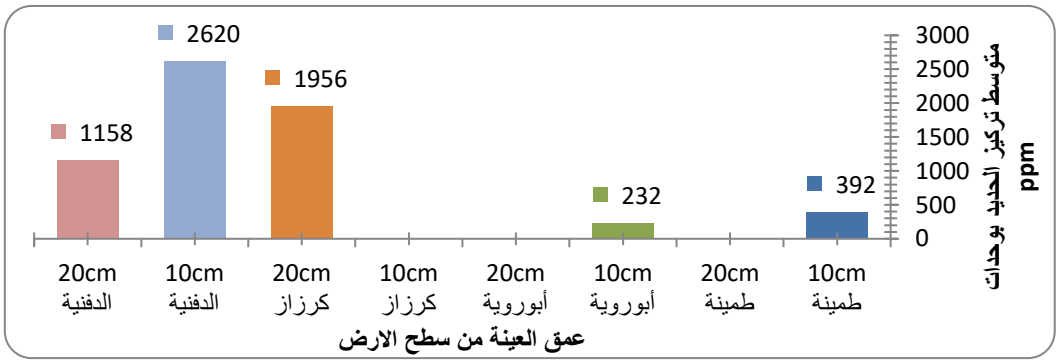
كما تراوحت التركيزات في المناطق الأخرى (أبوروية، طمينة، كرزاز) ما بين (14-70 µg/g). سجلت منطقة "أبوروية" ثاني أعلى تركيز عند عمق 10cm بقيمة 70 µg/g.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya
المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)
ISSN: 2710-4141
https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13
تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

استمرارًا للنمط المسجل في العناصر السابقة، أظهر موقع "كرزاز" أدنى مستويات الرصاص (20 µg/g عند عمق 20cm) مع انعدام القراءة في الطبقة السطحية.

بينما تقع معظم العينات ضمن مستويات منخفضة إلى متوسطة، يبرز موقع "الدافنية" كمنطقة ذات محتوى رصاص مرتفع يستدعي إجراء دراسات إضافية لتحديد مصدر التلوث، وتلعب قلوية التربة المرتفعة (pH) في مصراتة دورًا في تقليل حركة الرصاص في المحلول الأرضي، مما قد يحد جزئيًا من سرعة امتصاصه بواسطة النبات، لكنه يظل خطرًا بيئيًا محتملًا للتراكم الحيوي.



شكل (7) تركيز عنصر الحديد بتركيز µg/g في المناطق المدروسة على عمقين مختلفين

تُظهر نتائج تحليل تركيز الحديد (Fe) في التربة الزراعية بمناطق مدينة مصراتة تفاوتًا كبيرًا جدًّا بين المواقع، مع تسجيل أعلى مستويات تركيز مقارنةً ببقية العناصر المعدنية الأخرى، حيث أعلى تركيز مرصود ظهر في منطقة "الدفنية" بفارق شاسع، حيث سجلت أعلى تركيز عند عمق 10cm بقيمة 2620 µg/g، تليها منطقة "كرزاز" بتركيز 19556 µg/g عند عمق 20cm.

كما يلاحظ في موقع "الدافنية" و"أبوروية" و"طمينة" أن الحديد يتركز بشكل أكبر في الطبقات السطحية 10 cm، بينما ينفرد موقع "كرزاز" بتركيز مرتفع في الطبقة العميقة 20cm مع انعدام القراءة في السطح (أقل من حساسية الجهاز).

سجلت منطقة "أبوروية" أدنى المستويات المرصودة للحديد 232 µg/g ، مما يشير إلى تباين جيولوجي كبير في محتوى المادة الأم بين مناطق المدينة.

رغم أن الحديد هو العنصر الأكثر وفرة كميًا في العينات، إلا أن السيادة القاعدية للتربة (الارتفاع الكبير في pH الذي رُصد سابقاً) تؤدي إلى "تثبيت" كيميائي للحديد في هذه الأوساط القلوية يتحول الحديد من صورته الذائبة إلى أكاسيد وهيدروكسيدات صلبة غير متاحة للامتصاص النباتي، وهو ما يفسر حاجة المحاصيل في مصراتة غالبًا إلى إضافات من الحديد المخلبي رغم غنى التربة به "رقميًا".

تحليل التباين الإحصائي (ANOVA) والانحدار الخطي لتأثير الرقم الهيدروجيني (pH_{CaCl2}) على تركيز العناصر الثقيلة في التربة

تُعد استجابة تركيز العناصر الثقيلة في التربة لتغيرات الرقم الهيدروجيني (pH) محددًا حاسمًا لدرجة حركيتها وشكلها الكيميائي المتاح نباتيًا وبيئيًا (Bioavailability & Mobility). لتقييم التأثير الإحصائي للرقم الهيدروجيني الحقيقي المقاس بمحلول

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

كلوريد الكالسيوم (pH_{CaCl2}) على توزيع وتركيز العناصر الثقيلة المقاسة (النحاس Cu، الزنك Zn، النيكل Ni، المنجنيز Mn، الرصاص Pb، والحديد Fe) تم تطبيق تحليل التباين الأحادي أحادي المتغير المعتمد على الانحدار الخطي (One-Way ANOVA / Linear Regression Model)، بالإضافة إلى حساب معامل تحديد رتبة التباين (R^2) ومعامل ارتباط بيرسون (r).

بناءً على التكرارات الثلاثية القياسية (n=3) لكل عينة مركبّة، تم إجراء تحليل التباين (ANOVA) بشقيه المقارني (لتقييم الفروق بين المواقع والأعماق) والانحداري (لتحديد تأثير الرقم الهيدروجينيpH_{CaCl2} على تراكيز العناصر).

تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-Way ANOVA) للخصائص الكيميائية الكيميائية والعناصر

يظهر الجدول (5) نتائج تحليل التباين أحادي الاتجاه عبر القطاعات الارضية المختلفة مقارنة بالخطأ التجريبي المعملي المكرر (MS_{within}):

الجدول رقم (5): نتائج تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-Way ANOVA) ل pH وتراكيز العناصر الثقيلة

المتغير / العنصر	عدد المجموعات (k)	درجات الحرية (df)	مجموع المربعات بين المجموعات ($SS_{between}$)	متوسط المربعات بين المجموعات ($MS_{between}$)	متوسط المربعات داخل المجموعات (MS_{within})	قيمة F المحسوبة	الدلالة الإحصائية (p-value)	القرار الإحصائي
الرقم الهيدروجيني (pH)	8	(7, 16)	3.7933	0.5419	0.0491	11.03	0.00004	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)
النحاس (Cu)	4	(3, 8)	9.0000	3.0000	0.0011	2686.37	2.38×10^{-12}	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)
الزنك (Zn)	7	(6, 14)	3305.14	550.86	0.0013	4.27×10^{5}	5.28×10^{-36}	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)
النيكل (Ni)	6	(5, 12)	128.16	25.63	0.0016	1.56×10^{4}	1.96×10^{-22}	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)
المنجنيز (Mn)	5	(4, 10)	3393.60	848.40	0.0012	7.02×10^{5}	3.44×10^{-27}	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)
الرصاص (Pb)	7	(6, 14)	3.64×10^{6}	6.07×105	0.0014	4.33×10^{8}	4.72×10^{-57}	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)
الحديد (Fe)	5	(4, 10)	1.25×10^{7}	3.12×10^{6}	0.0024	1.28×10^{9}	1.71×10^{-43}	فروق معنوية فائقة ($p<0.001$)

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

تحليل التباين الثنائي (Two-Way ANOVA) للرقم الهيدروجيني(pH)

اختبار تأثير معاملي (الموقع) و(العمق) وتفاعلهما على قيم القلوية الحقيقية للتربة:

الجدول رقم (6): تحليل التباين الثنائي (Two- way ANOVA) لتأثير الموقع و العمق على pH

مصدر التباين (Source)	درجات الحرية (df)	مجموع المربعات (SS)	متوسط المربعات (MS)	قيمةF	الدلالة(p-value)	الصياغة الأكاديمية للنتيجة
الموقع (Location)	3	2.4906	0.8302	16.89	0.00003	$F(3,16)=16.89, p<0.001$
العمق(Depth)	1	0.2690	0.2690	5.47	0.03260	$F(1,16)=5.47, p<0.05$
التفاعل (Loc×Depth)	3	1.0336	0.3445	7.01	0.00318	$F(3,16)=7.01, p<0.01$
الخطأ التجريبي (Error)	16	0.7864	0.0491	—	—	—

تحليل تباين الانحدار (Regression ANOVA) لتأثيرpH على العناصر

لتقييم مدى قدرة الرقم الهيدروجيني على تفسير التباين في تراكيز العناصر، خضعت نماذج الانحدار الخطي البسيط لاختبار التباين(Regression ANOVA) ، والمدرجة نتائجها في الجدول رقم (7):

الجدول رقم (7): ملخص تحليل تباين الانحدار الخطي لتأثير Ph على تراكيز العناصر المدروسة

العنصر	معامل التحديد (R^2)	درجات الحرية (df)	متوسط مربعات الانحدار (MS_{reg})	متوسط مربعات المتبقي (MS_{res})	قيمةF	الدلالة(p-value)	الاستنتاج العلمي
النحاس (Cu)	0.948	(1, 2)	2.8442	0.0779	36.51	0.0263	تأثير خطي معنوي ($p<0.05$)

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

النيكل (Ni)	0.877	(1, 4)	37.4685	1.3129	28.54	0.0059	تأثير خطي معنوي جدًا (p<0.01)
المنجنيز (Mn)	0.431	(1, 3)	486.9630	214.7457	2.27	0.2292	تأثير غير معنوي إحصائيًا
الحديد (Fe)	0.181	(1, 3)	753544.92	1133470.0	0.66	0.4746	تأثير غير معنوي إحصائيًا
الرصاص (Pb)	0.129	(1, 5)	156352.94	211609.0	0.74	0.4293	تأثير غير معنوي إحصائيًا
الزنك (Zn)	0.074	(1, 5)	82.0156	203.9397	0.40	0.5539	تأثير غير معنوي إحصائيًا

تحليل معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient Analysis – r)

لتقييم العلاقات الجيوكيميائية البينية وسلوك العناصر مع درجة الحمضية/ القلوية، حسبت مصفوفة معاملات ارتباط بيرسون (r) وقيم الدلالة الإحصائية الرفقة (p-value) كما هو موضح في الجدول (8)

الجدول رقم (8): مصفوف معاملات ارتباط بيرسون (r) والدلالة الاحصائية (p-value) بين المتغيرات الكيميائية

المتغير	pH	النحاس Cu	الزنك Zn	النيكل Ni	المنجنيز Mn	الرصاص Pb	الحديد Fe
pH	1.000	0.974*	0.273	0.937**	0.656	-0.359	-0.426
النحاس Cu	0.974*	1.000	0.204	0.982*	0.693	-0.305	-0.795
الزنك Zn	0.273	0.204	1.000	0.386	0.820 (p=0.089)	-0.221	-0.638

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

النيكل Ni	0.937**	0.982*	0.386	1.000	0.733	-0.299	-0.381
المنجنيز Mn	0.656	0.693	0.820	0.733	1.000	-0.086	-0.308
الرصاص Pb	-0.359	-0.305	-0.221	-0.299	-0.086	1.000	-0.079
الحديد Fe	-0.426	-0.795	-0.638	-0.381	-0.308	-0.079	1.000

*ارتباط دال إحصائيًا عند مستوى دلالة $p < 0.05$

**ارتباط دال إحصائيًا عند مستوى دلالة $p < 0.01$

من خلال المعالجة الإحصائية تبين الآتي:

- تباين المواقع مقابل التكرارية التحليلية :أظهرت جميع العناصر قيم F مرتفعة جدًّا في تحليل ANOVA أحادي الاتجاه ($p<0.001$)، مما يعكس تباينًا جيوكيميائيًا حقيقياً ومكانًا واضحًا بين القطاعات الأرضية المدروسة، مع تضاؤل خطأ القياس المعملي المكرر.($MS_{within}<0.0025$)
- تأثير القلوية المعنوي على النحاس والنيكل :يُثبت تحليل انحدار ANOVA وجود دلالة إحصائية عالية لتأثيرpH على ترسب وتراكم النحاس ($F=36.51,p=0.0263$) والنيكل($F=28.54,p=0.0059$) ؛ حيث تفسر القلوية ما يزيد عن 87% من التباين الكلي لهذين العنصرين في التربةيعود الارتباط الطردي القوي بين pHوتراكيز النحاس والنيكل المترسبة إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) وتكوين المجمعات السطحية غير الذائبة (Surface Complexation)وازدياد الامتصاص السطحي على كربونات الكالسيوم مع ارتفاع القلوية في التربة الجافة. علاوة على ذلك، يشير الارتباط البيني المرتفع جداً بين النحاس والنيكل ($r = 0.982, p < 0.05$) إلى تشاركهما نفس المصادر الكيميائية والسلوك الجيوكيميائي المتماثل في الترسيب والذوبان داخل هذه التربة القلوية وهو ما يتفق مع ما أشار إليه sparks(2003,p192)حول ازدياد الامتصاص السطحي بزيادة القلوية.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Journal homepage: https://journals.misuratau.edu.ly/edu/ojs/index.php/eduction/index

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

- أظهر أنموذج الانحدار الخطي استقلالية تامة لتراكيز الرصاص عن متغير الرقم الهيدروجيني($p = 0.4293$) ، بينما كشف تحليل التباين الأحادي (ANOVA) عن فروق معنوية فائقة بين القطاعات المكانية ($F = 4.33 \times 10^8$, $p < 0.001$) وتُعزى هذه الاستقلالية الإحصائية إلى وجود بؤرة تلوث شاذة وحادة في موقع "الدافنية" عند العمق التحت سطحي(20cm) ، حيث سجل معامل الارتباط مع الـ pH قيمة غير معنوية.($r = -0.359$) يمثل هذا النمط تباينًا جوهرياً مع دراسة Onder et al. (2007) في مدينة قونية التركية، والتي رصدت تلوثاً واسع النطاق بالرصاص متوزعًا بانتظام في الطبقات السطحية والغطاء النباتي نتيجة الترسيب الجوي المباشر للانبعاثات المرورية، وفي المقابل يُثبت تركز الشذوذ الجيوكيميائي في العمق بمدينة مصراتة أن التلوث بالرصاص في الدفنية ليس ناتجاً عن إجهاد مروري سطحي منتشر، بل هو تلوث بؤري موضعّي ناجم عن مصدر بشري نقطي (Point-Source Anthropogenic) أو دفن تاريخي لمخلفات صناعية تحت السطح.
- ينطبق النمط التحليلي ذاته جزئيًا على عنصر الحديد(Fe) ، والذي سجل أعلى مستوياته في موقع الدفنية بتركيز بلغ 2620µg/g عند العمق السطحي (10cm) و 1158µg/g عند العمق التحت سطحي .(20cm) وأظهر الحديد ارتباطًا عكسيًا غير معنوي مع الرقم الهيدروجيني($r = -0.426$, $p = 0.4746$) ، مما يعكس ترسيبه الكيميائي على هيئة أكاسيد وهيدروكسيدات صلبة غير ذائبة شائعة السيادة في الترب الكلسية القلوية بصورة مستقلة عن ذوبانية بقية الفلزات الثقيلة، وهو ما يتوافق مع الآليات الجيوكيميائية التي أوضحها .Cornell and Schwertmann (2003,p.310)
- تتكامل المقارنة الجيوبئية لنتائج الدراسة مع ما توصل إليه Alomar et al. (2022) في المملكة العربية السعودية؛ حيث ساد الوسط القاعدي القوي ($pH > 7.3$) في كلا البيئتين، مما أدى إلى تثبيت كيميائي للملوثات المعدنية وخفض حركيتها البيولوجية لتظل تراكيزها الكلية دون عتبات التلوث الدولية المعتمدة.
- أظهر عنصر الزنك (Zn)ارتباطًا خطيًا طرديًا قويًّا مع المنجنيز (Mn) بمعامل ارتباط قدره ($r = 0.820$ ($p = 0.089$، مقتربًا من عتبة المعنوية الإحصائية .($p < 0.10$) يعكس هذا الاقتران سلوكًا جيوكيميائيًا مشتركًا يتمثل في الامتزاز السطحي والترسيب المشترك (Co-precipitation) للزنك على أسطح أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والمنجنيز المترسبة(Fe-Mn Oxides/Hydroxides). وتُعد هذه الميكانيكية إحدى أبرز آليات الكبح والجذب الجيوكيميائي الشائعة في البيئات القلوية، حيث تؤدي إلى احتجاز الزنك وتقليل حركيته وإتاحيته الحيوية (Bioavailability) للنباتات بصورة مستقلة عن التغيرات الطفيفة في الرقم الهيدروجيني(pH) ، وهو ما يتوافق مع ما أوضحته Kabata-Pendias (2010, p. 278). كما تتطابق تراكيز الزنك المرصودة في تربة مدينة مصراتةوالتي تراوحت بين (18 -54µg/g) مع المستويات المرجعية المرصودة في الأوساط البيئية المشابهة بكل من دراستي Alomar et al. (2022) وOnder et al. (2007). ويؤكد هذا التوافق التوزيع الطبيعي للزنك بوصفه العنصر الأكثر حركية ونشاطًا جيوكيميائيًا بين المغذيات الصغرى المدروسة، مع بقائه ضمن النطاقات الآمنة زراعيًا ودون مستويات التلوث.

الاستنتاجات:

تُظهر الدراسة الميدانية والمخبرية لعينات التربة في المواقع الأربعة (الدافنية، كرزاز، أبوروية، طمينة) تداخلًا معقدًا بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية وتوزيع العناصر المعدنية (الصغرى والثقيلة). ويمكن إجمال المناقشة البحثية في المحاور الجوهرية التالية:

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

أولًا: هيمنة البيئة القاعدية وتأثيرها السيادي

تشير النتائج إلى أن الرقم الهيدروجيني (pH) هو المتغير المستقل الأكثر تأثيرًا في منظومة التربة المدروسة، حيث استقرت القيم في النطاق القاعدي القوي (8.05 – 9.23). هذا الارتفاع ليس مجرد سمة كيميائية، بل هو "كابح ديناميكي" يحدد السلوك الفيزيائي والكيميائي لجميع العناصر المعدنية، فمن الناحية الكيميائية تؤدي هذه القلوية المرتفعة إلى زيادة شحنة المواقع النشطة على غرويات التربة، مما يعزز من قدرة التربة على أدمصاص (Adsorption) وترسيب الكاتيونات المعدنية، وبالتالي تقليل حركيتها وجاهزيتها البيولوجية.

ثانيًا: التباين المكاني والعمودي للمغذيات الصغرى (Fe, Mn, Zn, Cu)

كشفت مقارنة توزيع المغذيات الزهيدة عن أنماط توزيعية متباينة:

عنصر الحديد (Fe): سجل السيادة المطلقة بتركيزات وصلت إلى 2620 µg/g في "الدفنية"، مما يعكس غنى المادة الأم. ومع ذلك، وبسبب الـ pH المرتفع، فإن معظم هذا المخزون يتواجد في صورة أكاسيد وهيدروكسيدات غير ذائبة.

الزنك (Zn) والمنجنيز (Mn): أظهر موقعا "طمينة" و"أبورووية" تركيزات جيدة مخبرياً، إلا أن التراكم الملحوظ في الطبقات التحت سطحية للزنك 54ppm يشير إلى عمليات ترشيح (Leaching) نسبية، بينما يعكس التراكم السطحي للمنجنيز 80 µg/g ارتباطا وثيقًا بالمحيط الحيوي (Rhizosphere).

استقر النحاس في أدنى مستويات التركيز (4–6 µg/g)، مما يجعله العنصر الأكثر حرجًا في هذه التربة، حيث يقترب من حدود النقص الحاد بالنظر إلى القلوية السائدة.

ثالثًا: مؤشرات التلوث بالعناصر الثقيلة (Pb, Ni)

تبرز النتائج حالة من الشذوذ الجيوكيميائي (Geochemical Anomaly) في موقع "الدافنية"، حيث سُجل تركيز حاد لعنصر الرصاص (Pb) بمقدار 1222µg/g، من الناحية السمية يمثل هذا الرقم مؤشرًا على تداخل بشري (Anthropogenic Influence) يتجاوز الخلفية الطبيعية للتربة. وفي المقابل، حافظ النيكل (Ni) على مستويات آمنة للغاية (9.2 µg/g)، مما يستبعد وجود تلوث بهذا العنصر في المنطقة.

تخلص الدراسة إلى أن التربة المدروسة تعاني من حالة "فقر وظيفي" (Functional Deficiency)؛ فرغم الوفرة المخبرية لعناصر مثل الحديد والزنك، إلا أن "الحالة الكيميائية" للتربة (القلوية العالية) تعمل كعامل مقيد يمنع تحول هذه العناصر إلى صور ذائبة.

التوصيات:

تقترح الدراسة ضرورة تبني استراتيجيات التعديل الكيميائي (Chemical Amendment) عبر إضافة الكبريت الزراعي أو الأحماض العضوية لخفض الـ pH موضعيًا، مما يؤدي إلى زيادة "ثابت الاستقرار" للمعقدات المعدنية، وبالتالي تحرير المغذيات المحتبسة وتقليل الأثر السمي المحتمل للرصاص عبر تقليل إتاحته الحيوية.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (CC BY-4.0).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

يمثل التوازن بين الرقم الهيدروجيني وتوفر العناصر المعدنية في هذه الدراسة نموذجًا كلاسيكيًا لتربة المناطق الجافة، حيث تسبق الكيمياء الفيزيائية الوفرة الكمية في تحديد جودة التربة وسلامتها البيئية.

المصادر والمراجع:

جمعة، غفران فاروق، والأنباري، رياض حسن. (2010). تقييم التلوث بالعناصر الثقيلة في الأراضي الزراعية الواقعة في منطقة جسر ديالى. *المجلة العراقية لبحوث السوق وحماية المستهلك*، *3* (2)، 104-116.

Alomar, T., Al-Anazia, R., Hassania, T., Allahema, A., Al-Warhia, M., Al-Dkheela, N., Al-Mutairia, R., Al-Mutairia, S., & Al-Masouda, N. (2022). Determination of heavy metals concentration in soil and its impact on humans and environment. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, *9*(6), Article 372.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.

Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2003). *The iron oxides: Structure, properties, reactions, occurrences and uses* (2nd ed.). Wiley-VCH.

FAO/WHO. (2001). Codex Alimentarius Commission: Codex committee on contaminants in foods. Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization. Rome, Italy.

Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace elements in soils and plants* (4th ed.). CRC Press.

Krishna, A. K., Mohan, K. R., & Murthy, N. N. (2009). Determination of heavy metals in soil, sediment, and rock by inductively coupled plasma optical emission spectrometry: Microwave-assisted acid digestion versus open acid digestion technique. *Atomic Spectroscopy*, *30*(3), 75–81.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (**CC BY-4.0**).

Scientific Journal of Faculty of Education, Misurata University, Libya

المجلة العلمية لكلية التربية، جامعة مصراتة المجلـد (13) / العـــدد (02)

ISSN: 2710-4141

https://doi.org/10.36602/sjfe.2026.v13.i02.13

تاريخ التقديـم : 2026/07/26 تاريخ القبول: 2026/09/23 تاريخ النشر: 2026/09/29

Minasny, B., McBratney, A. B., Brough, D. M., & Jacquier, D. (2011). Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride. *Soil Research*, *49*(3), 254-261.

Onder, S., Dursun, S., Gezgin, S., & Demirbas, A. (2007). Determination of heavy metal pollution in grass and soil of city centre green areas (Konya, Turkey). *Polish Journal of Environmental Studies*, *16*(1), 145–154.

Richards, L. A. (ed.). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (Agriculture Handbook No. 60). United States Department of Agriculture.

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T., & Sumner, M. E. (1996). *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*. Soil Science Society of America, Inc.

Sparks, D. L. (2003). *Environmental soil chemistry* (2nd ed.). Academic Press.

Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils* (2nd ed.). Oxford University Press.

Copyright:©2026 by the authors. This work is licensed under a (**CC BY-4.0**).