Iraqi National Journal of Earth Science
www.earth.mosuljournals.com

التقييم الجيوكيميائي لمحتوى عنصر الزرنيخ في انواع مختلفة من الترب في محافظة كركوك، شمالي العراق

ميعاد علاوي صالح[1]*، حسن احمد الجميلي [2]، طورهان مظهر المفتي[3]
[3،2،1] قسم علم الارض، كلية العلوم، جامعة كركوك، كركوك، العراق.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 09- يناير -2024
تاريخ المراجعة: 10- مارس -2024
تاريخ القبول: 30- مارس -2024
تاريخ النشر الالكتروني: 01- ابريل -2025

الكلمات المفتاحية:
الزرنيخ
جيوكيمياء
تربة
كركوك

المراسلة:
الاسم: ميعاد علاوي صالح
Email: meaadsalah289@gmail.com

الملخص

في هذهِ الدراسة تم الاعتماد على 32 عينة من التربة مأخوذة من عمق (0-20) موزعة على مناطق مختلفة هي (مدينة كركوك، مدينة الرياض، مدينة الحويجة، مدينة العباسي)، تم ارسالها الى كندا لإجراء التحاليل الكيميائية في مختبرات (Acme Lab.) باستخدام جهاز (ICP-MS). يهدف البحث الى دراسة التوزيع الجيوكيميائي لعنصر الزرنيخ في تربة مناطق الدراسة، وكذلك دراسة العلاقات بين عنصر الزرنيخ و بعض الاكاسيد الرئيسية فضلا عن درجة الحموضة (pH) والمادة العضوية (OM) وذلك من خلال حساب معامل الارتباط الثنائية (Correlation coefficient) والتحليل العاملي (Factor analysis) . وتبين بان عنصر الزرنيخ يرتبط بعلاقة معنويه موجبة مع اوكسيد المغنسيوم (MgO)، وعلاقة معنويه سالبة مع اوكسيد الصوديوم (Na2O) بقيمه (-0.454)، وعلاقة معنويه موجبة مع اوكسيد البوتاسيوم بقيمه (0.47) وعلاقة موجبة قوية مع عنصر الكوبلت (Co) بقيمة بلغت (0.474). ووفقاً للنتائج فان معدل تركيز الزرنيخ في ترب منطقة الدراسة (كركوك، الرياض، الحويجة، العباسي) في الجزء الطيني الناعم(Clay) بلغ (9.23 ppm) وهو أعلى من تركيزه في الاجزاء الخشنة المتمثلة بالغرين (Silt) والرمل (Sand)) بقيمة بلغت (5.83 ppm و 5.72ppm) على التوالي. وبلغ اعلى تركيز للعنصر الزرنيخ As في تربة (MK12) الذي يمثل موقع مستشفى حي النصر بقيمة (8.2 ppm) وهو اعلى من تركيز العنصر حسب القيمة المرجعية . وعند مقارنة تركيز عنصر الزرنيخ في تربة مناطق الدراسة مع المعايير العالمية وهي (WHO, 2021) و (EPA, 2017) تبين انه اقل مما منشور فيها.

DOI: 10.33899/earth.2024.145949.1212, ©Authors, 2025, College of Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Geochemical Evaluation of Arsenic Content in Different Types of Soils in Kirkuk Governorate/Northern Iraq

Meaad Alawi Salah [1*], Hassan A. Al-Jumaily [2], Torhan M. Al-mufti [3]

[1,2,3] *Department of Geology, College of Science, University of Kirkuk, Kirkuk, Iraq.*

Article information

Received: 09- Jan -2024

Revised: 10- Mar -2024

Accepted: 30- Mar -2024

Available online: 01- Apr – 2025

Keywords:
Arsenic
Geochemical
Soil
Kirkuk

Correspondence:
Name: Meaad Alawi Salah

Email:meaadsalah289@gmail.com

ABSTRACT

In this study, 32 soil samples were taken from a depth of (0-20) distributed over different areas (Kirkuk City, Riyadh City, Hawija City, and Al-Abbasi City). They were sent to Canada to conduct chemical analyzes in Acme Lab laboratories.) using an ICP-MS device. The research aims to study the geochemical distribution of arsenic in the soil of the study areas, as well as to study the relationships between arsenic and some major oxides, as well as the degree of acidity (pH) and organic matter (OM), by calculating the correlation coefficient and factor analysis. analysis). It was found that the arsenic element is associated with a positive significant relationship with magnesium oxide (MgO), a negative significant relationship with sodium oxide (Na2O) with a value of (-0.454), a positive significant relationship with potassium oxide with a value of (0.47), and a strong positive relationship with the element cobalt (Co) with a value of (0.454). 0.474). According to the results, the average concentration of arsenic in the soil of the study area (Kirkuk, Riyadh, Hawija, and Abbasid) in the fine clay part reached (9.23 ppm), which is higher than its concentration in the coarse parts represented by silt and sand, with a value amounting to (5.83 ppm and 5.72ppm) respectively. The highest concentration of arsenic as in the soil of (MK12), which represents the site of Hay Al-Nasr Hospital, was (8.2 ppm), which is higher than the concentration of the element according to the reference value. When comparing the concentration of arsenic in the soil of the study areas with the international standards (WHO, 2021) and (EPA, 2017), it was found that it was lower than in those areas.

DOI: 10.33899/earth.2024.145949.1212, ©Authors, 2025, College of Science, University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

يطلق مصطلح العناصر الثقيلة على مجموعة العناصر التي تزيد كثافتها الذرية عن 5.0 جم/سم3؛ ويشير إلى مجموعة من العناصر أو المعادن المستقرة (Khalef et al., 2022)، وتصنف ضمن العناصر السامة (PTEs)، وتمثل ملوثات خطيرة تهدد البيئة و صحة الإنسان (Mahmood et al., 2019)، وبالتالي فان تلوث التربة والمياه تهدد البيئة المستدامة بشكل كبير (Gyamfi et al., 2019). ووفقا لمنظمة الصحة العالمية، فإن تلوث الهواء والماء والتربة، والتعرض للمواد الكيميائية، وتغير المناخ، والأشعة فوق البنفسجية قد يسهم في أكثر من 100 مرض (Schulte and Chun, 2009). وتشير التقديرات إلى أن أكثر من 12.6 مليون شخص لقوا حتفهم بسبب العيش في بيئة غير صحية (Nriagu and Obi, 2021).

ان التركيب الكيميائي للتربة يتأثر بعدة متغيرات منها أنواع الصخور المنتشرة هناك، وتأثير المناخ على معدلات التجوية ، وكثافة الغطاء النباتي، والملوثات المنتشرة فيها (Al-hamdany et al., 2023; Al-Obeidi and Al-Jumaily, 2020)، وقد يتم نقل العديد من الملوثات النفطية من مصدر المياه الجوفية أو السطحية (Al-Hamdany et al., 2023) الى التربة.

ركزت الدراسات السابقة التي أجريت في المنطقة على تقييم المخاطر المرتبطة بتراكيز العناصر الثقيلة بما فيها عنصر الزرنيخ في التربة(Al-Hamdany et al., 2023;Al-Obeidi and Al-Jumaily, 2020) والمياه (السطحية والجوفية)(Al-hamdany et al., 2023)، ومدى تأثير الانشطة الزراعية والانشطة النفطية على زيادة تراكيز عنصر الزرنيخ. على الرغم من هذا التقدم في الأبحاث في منطقة الدراسة الا ان تقييم تركيز عنصر الزرنيخ في المحاصيل الزراعية للمنطقة لايزال محدود. يهدف هذا العمل إلى توفير فهم أكثر شمولية للتلوث البيئي الناجم عن المصادر البشرية في المنطقة.

يعد عنصر الزرنيخ من العناصر الاثرية في التربة، وان المصدر الرئيسي له في التربة هو تجوية الصخور المصدرية. (Al-Hamdany et al., 2025) بالإضافة الى إسهام الانشطة البشرية (مثل الانشطة التعدينية والزراعية والصناعية) في زيادة تركيزه في التربة. يهدف البحث الحالي الى مناقشة التوزيع والسلوك الجيوكيميائي لعنصر الزرنيخ (As) مع بعض العناصر الثقيلة والثانوية والرئيسية ودرجة الحموضة (pH) والمادة العضوية (OM) في التربة من خلال حساب معامل الارتباط، والتحليل العاملي باستخدام برنامج SPSS وبرنامج (Xlstat) وكذلك دراسة التوزيع الحجمي وتأثيره على محتوى تركيز الزرنيخ فيه فضلاً عن مقارنة نتائج الدراسة الحالية مع الدراسات المحلية والإقليمية والعالمية.

موقع منطقة الدراسة (Location of the study area)

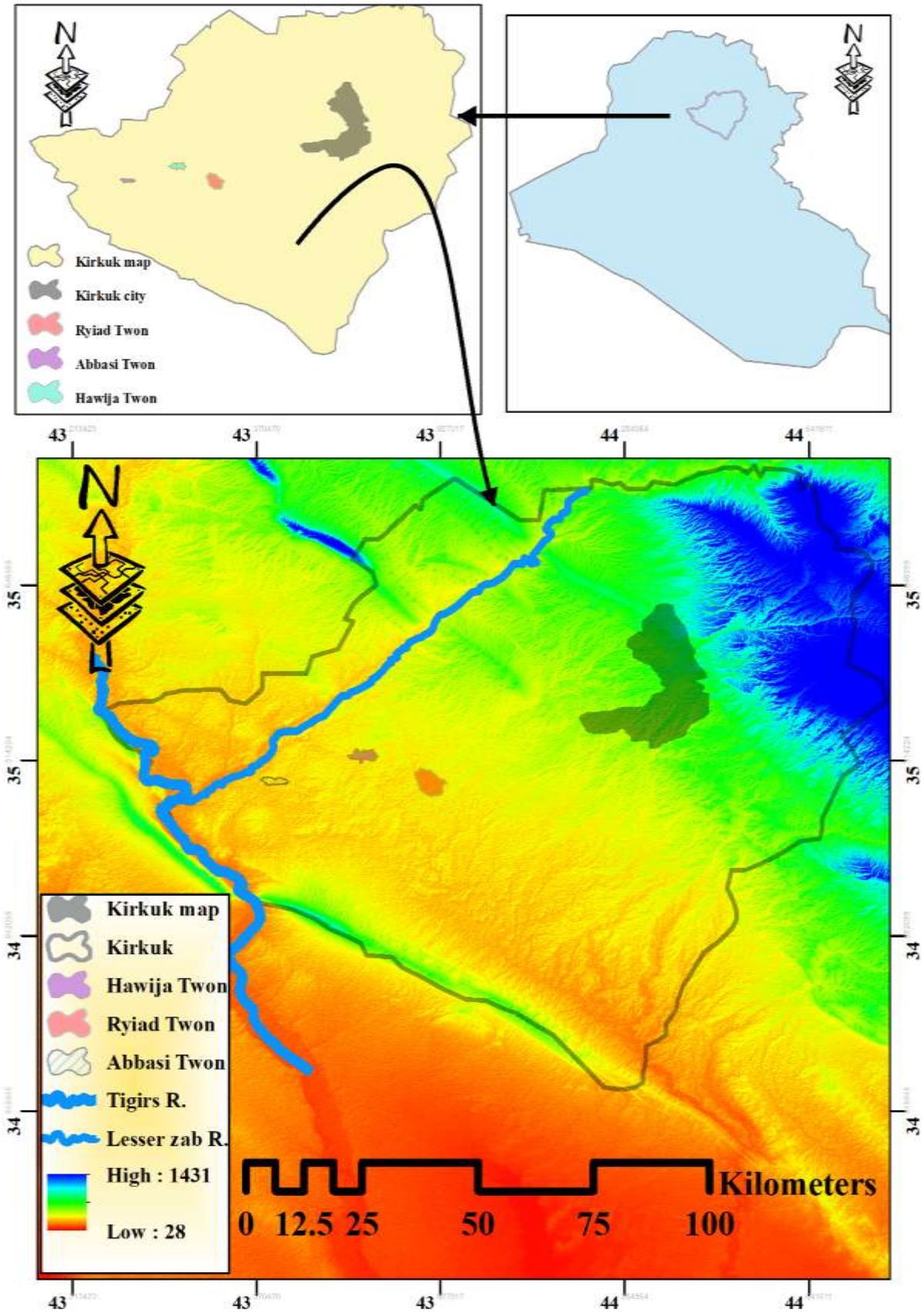
اشتملت منطقة الدراسة على أربع مناطق هي (مدينة كركوك، مدينة الحويجة، مدينة الرياض، مدينة العباسي) التي تقع جميعها في محافظة كركوك كما في الشكل (1)، وبين دائرتي عرض وخطي طول كما موضح في الجدول1.

الجدول 1: احداثيات مناطق الدراسة.

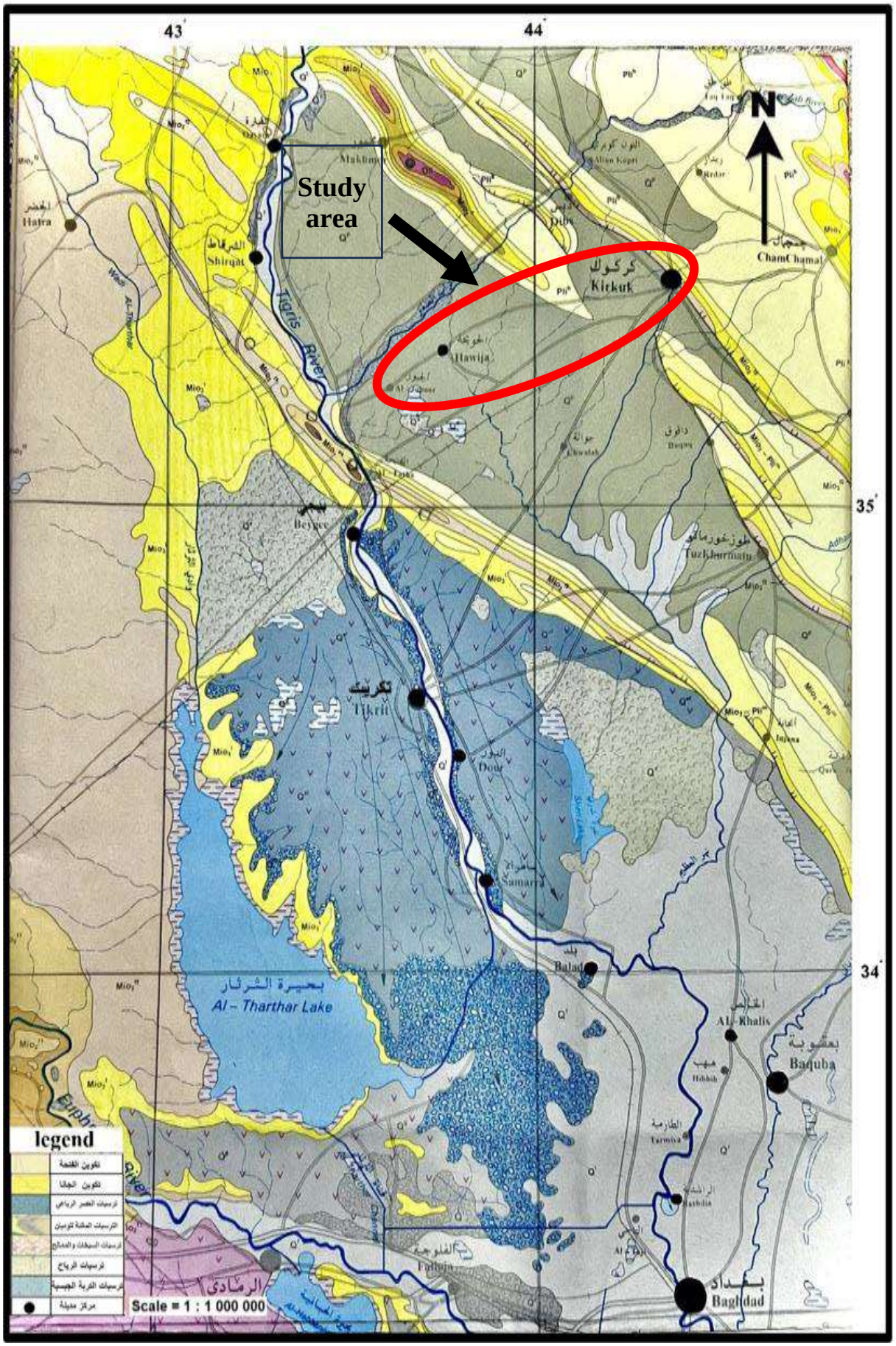
ت	الموقع	خط عرض	خط طول
1	مدينة كركوك	44° 22' 24" – 44° 21' 47"	35° 20' 12" – 35° 36' 48"
2	مدينة الرياض	43° 55' 32" – 43° 53' 14"	35° 14' 51" – 35° 18' 3"
3	مدينة الحويجة	43° 46' 21" – 43° 46' 07"	35° 18' 23" – 35° 20' 0.8"
4	مدينة العباسي	43° 36' 24" – 43° 36' 12"	35° 16' 0.2" – 35° 16' 54"

جيولوجية منطقة الدراسة (Geology of the study area)

أربع تكاوين جيولوجية تنكشف في منطقة الدراسة من الاقدم الى الاحدث وهي تكوين الفتحة (Fatha Formation)، تكوين انجانة (Injana Formation)، تكوين المقدادية (Mukdadya Formation)، تكوين باي حسن (Bai Hassan) وتعود جميعها الى حقبة الحياة الحديثة (Era Cenozoic) الشكل (2). وهذهِ التكاوين تتألف من صخور رسوبية كيميائية وصخور فتاتية متمثلة بصخور (Limestone, Gypsum, Sandstone, Siltstone, Claystone) ولا توجد صخور نارية في منطقة الدراسة(Buday, 1980).



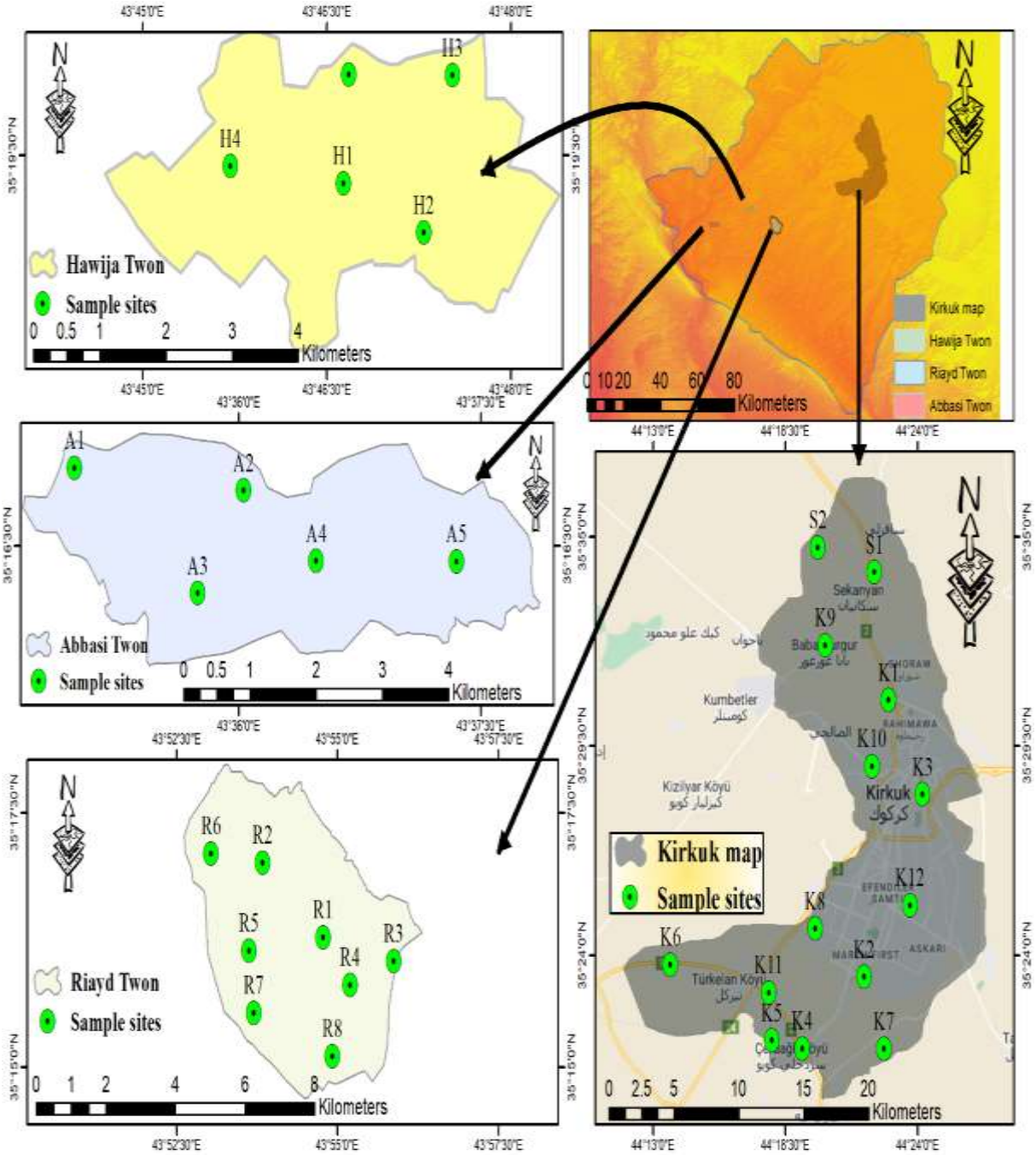
الشكل 1. مواقع مناطق الدراسة.



الشكل 2. خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة. (الهياة العامة للمسح الجيولوجي، 2014).

جمع وتحليل النماذج

بدا العمل الحقلي بتاريخ 22 /10/ 2022 تم استقراء المنطقة وحددت المناطق التي قد تكون ملوثة وغنية بالمخلفات الصناعية والطبية اذ تم جمع 32 عينة من الترب السطحية من اربعة مواقع بعمق (0–20 سم) لغرض اجراء التحاليل الكيميائية كما في الشكل (3)، باستعمال جهاز (Auger) اليدوي، اذ تم اخذ وزن 1 كيلو غرام تقريبا للعينة الواحدة وباستخدام اكياس نايلون محكمة للحفاظ على رطوبة التربة مع اخذ احداثيات كل موقع وباستخدام جهاز GPS، ومثلت العينات مواقع ومناطق مختلفة تنوعت بين الصناعية والتجارية والزراعية. تم تجفيف التربة على الهواء لفترة من الزمن ومن ثم طحنها بواسطة هاون خزفي وبشكل عمودي لضمان عدم تكسر الحبيبات وفصل التكتلات الموجودة في العينة بعدها تم غربلة التربة في منخل حجم mesh200، ثم وضع 10 غرام من كل عينه في اكياس محكمة وترقيمها وارسالها الى مختبرات كندا (Acme Lab.) لأجراء التحاليل الكيميائية اللازمة لها.



الشكل 3. مناطق الدراسة موضح عليها مواقع النماذج.

النتائج والمناقشة

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة في منطقة الدراسة

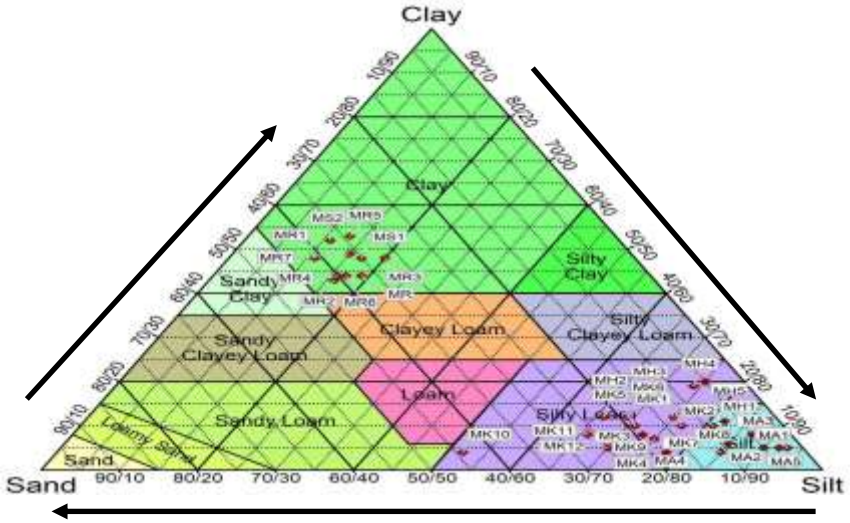
1-نسيج التربة: Soil texture

يعتبر نسيج التربة من أهم العوامل التي تتحكم في احتباس أو إطلاق المعادن الثقيلة والعمليات الكيميائية والفيزيائية في التربة لذلك نسيج التربة يمكن أن يؤثر على جوانب مختلفة من الزراعة، ويعد فهم نسيج التربة أمرًا بالغ الأهمية لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن استخدام الأراضي واختيار المحاصيل والممارسات الزراعية (Achkir et al., 2023). أظهر التوزيع الحجمي في تربة منطقة الدراسة الى أن الجزء الأكبر من عينات التربة كان من النوع الغريني وبنسبة متوسطة (57.68%) أما الجزء الرملي والطيني كانا بنسبة (21.53%) و (20.78%) على التوالي كما في الجدول (2) والشكل (4).

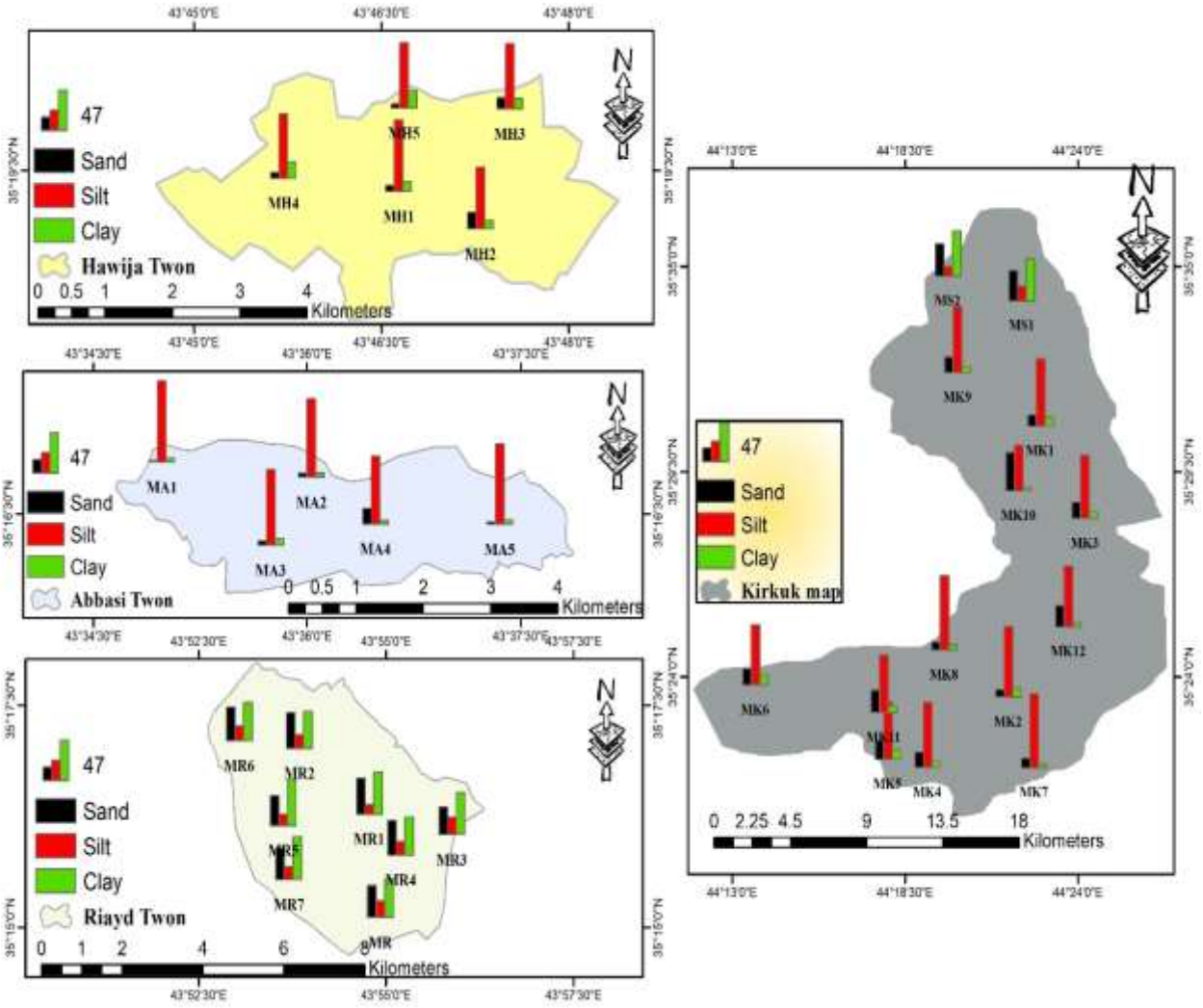
الجدول 2: نوع نسيج التربة في منطقة الدراسة.

No.	Particle Size Analysis of Soil				No.	Particle Size Analysis of Soil			
	Sand %	Silt %	Clay%	Texture Type		Sand %	Silt %	Clay %	Texture Type
MK1	13	77	10	Silty Loam	MR3	32	20	48	Clay
MK2	9	81	10	Silt	MR4	40	16	44	Clay
MK3	19	73	8	Silty Loam	MR5	34	13	53	Clay
MK4	18	75	7	Silty Loam	MR6	39	17	44	Clay
MK5	22	66	12	Silty Loam	MR7	36	15	49	Clay
MK6	19	69	12	Silty Loam	MR8	37	19	44	Clay
MK7	11	85	4	Silt	MH1	7	82	11	Silt
MK8	9	85	6	Silt	MH2	19	71	10	Silty Loam
MK9	18	75	7	Silty Loam	MH3	13	75	12	Silty Loam
MK10	44	52	4	Silty Loam	MH4	7	74	19	Silty Loam
MK11	26	66	8	Silty Loam	MH5	5	75	20	Silty Loam
MK12	25	70	5	Silty Loam	MA1	2	93	5	Silt
MS1	35	17	48	Clay	MA2	5	90	5	Silt
MS2	37	11	52	Clay	MA3	5	87	8	Silt
MR1	41	11	48	Clay	MA4	18	78	4	Silty Loam
MR2	41	16	43	Clay	MA5	3	92	5	Silt
					Ave.	21.53	57.68	20.78	-

تم تصنيف عينات التربة حسب تصنيف وزارة الزراعة الأمريكية (Ditzler et al., 2017) اعتماد على المثلث نسيج التربة حيث تبين بان (43.75%) أي (14 عينة) من عينات التربة السطحية كانت من النوع Silty Loam، و (25%) اي(8 عينات) من النوع Silt و (31.25%) (10 عينات) من نوع Clay موزعه على اربع مناطق في محافظة كركوك هي (مركز محافظة كركوك، الرياض، الحويجة، العباسي) الشكل (5).



الشكل 4. نوع نسيج التربة في منطقة الدراسة.



الشكل 5. خرائط توضح توزيع الأجزاء الحجمية (Sand, Silt, Clay) لعينات التربة.

2- الدالة الحامضية pH

يعد الترسيب والامتزاز من أهم العمليات الجيوكيميائية الكبرى التي تتحكم في احتباس المعادن الثقيلة وحركتها في التربة. تتأثر خصائص التربة بدرجة الحموضة، والرقم الهيدروجيني له تأثير كبير على العمليات الجيوكيميائية والفيزيائية للتربة(Rueda-Garzón et al., 2023). يمكن أن يؤثر الرقم الهيدروجيني (الحموضة أو القلوية) على قابلية ذوبان وتنقل المعادن الثقيلة في الماء والتربة، مما قد يؤثر بدوره على تركيزاتها. العلاقة بين الرقم الهيدروجيني وتركيز عنصر الزرنيخ معقدة وتختلف حسب الظروف المعدنية والبيئية المحددة(Alloway, 1995).

عند انخفاض درجة الحموضة عند مستويات قليله جدا تصبح بعض العناصر الثقيلة أكثر قابلية للذوبان مؤدية إلى زيادة تركيزات هذه العناصر في الماء (Kicińska et al., 2022)،وعلى العكس من ذلك فان زيادة الرقم الهيدروجيني يمكن أن يقلل من ذوبان بعض العناصر الثقيلة. ويلاحظ هذا غالبًا مع عناصر الزرنيخ والزنك، والتي تصبح أقل قابلية للذوبان في الظروف القلوية. وقد تشكل رواسب أو تمتز على الأسطح مما يقلل من حركتها (Kupka and Gruba, 2022).

أظهرت النتائج بان تربة منطقة الدراسة كانت قلوية قليلاً في (5 مواقع) ومعتدلة القلوية في (13موقعاً) وقلوية متعادلة في (12 مواقع)، وتربة قلوية قوية في (2 مواقع) (الجدول 4) و(الشكل 6) ،حيث ان التربة التي لديها درجة حموضة ما بين (7.9 – 8.4) هي تربة غنية بالمعادن المقاومة لعمليات التجوية، اذ تميل بعض المعادن الثقيلة إلى تكوين مركبات هيدروكسي

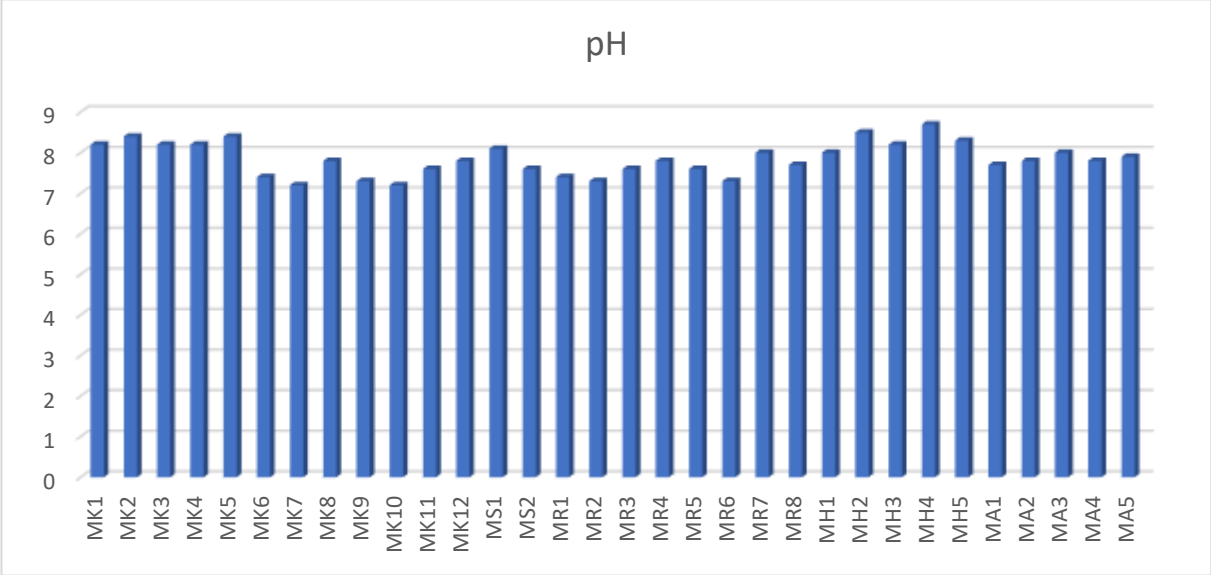
عند مستويات الرقم الهيدروجيني أعلى من 7 مما يزيد من قابلية ذوبان المعدن في التربة (Ismanto et al., 2023). يمكن تصنيف الرقم الهيدروجيني لتربة منطقة الدراسة حسب (Ditzler, et al, 2017) (الجدول 3).

الجدول 3: تصنيف التربة اعتماداً على pH (Ditzler, et al, 2017)

Site Name	pH	Site Name	pH	Site Name	pH
*MK1	8.2	MK12	7.8	MH1	8
MK2	8.4	MS1	8.1	*MH2	8.5
MK3	8.2	MS2	7.6	MH3	8.2
MK4	8.2	MR1	7.4	MH4	8.7
MK5	8.4	MR2	7.3	MH5	8.3
*MK6	7.4	MR3	7.6	MA1	7.7
*MK7	7.2	MR4	7.8	MA2	7.8
MK8	7.8	MR5	7.6	MA3	8
MK9	7.3	MR6	7.3	MA4	7.8
MK10	7.2	MR7	8	MA5	7.9
MK11	7.6	MR8	7.7		
*Neutral Soil					
*Slightly Alkaline Soil					
*Moderately Alkaline Soil					
*Strongly Alkaline Soil					

الجدول 4: قيم الرقم الهيدروجيني (pH) في تربة منطقة الدراسة.

pH	Soil Class	pH	Soil Class
<3.5	Ultra-acid	6.6-7.3	Neutral
3.5-4.4	Extremely acid	7.4-7.8	Slightly Alkaline
4.5-5	Very Strongly acid	7.9-8.4	Moderately Alkaline
5.1-5.5	Strongly acid	8.5-9	Strongly Alkaline
5.6-6	Moderately acid	>9	Very Strongly Alkaline
6.1-6.5	Slightly acid		



الشكل 6. قيم الدالة الحامضية في نماذج تربة منطقة الدراسة.

1- المادة العضوية (OM): Organic matter

تمتص العناصر الثقيلة بواسطة المواد الدبالية الموجودة في التربة ويختلف تأثيرها على الوفرة البيولوجية للعناصر الثقيلة حسب أطوارها وتركيزها ومصادرها وخواصها الفيزيائية والكيميائية في المعادن والتربة. وان دور المواد العضوية مهم في عملية نقل العناصر الغذائية من التربة إلى أنسجة النبات، حيث يزداد امتصاص الجذور عندما تكون التربة متعادلة القلوية (Custos et al., 2020) كما في تربة منطقة الدراسة.

ان العلاقة بين الزرنيخ (As) والمادة العضوية (OM) تكون معقدة وتعتمد على عوامل بيئية مختلفة، اذ ان الزرنيخ هو شبه فلز يمكن أن يوجد في أشكال كيميائية مختلفة، ويكون على شكل زرنيخ غير عضوي (arsenite and arsenate)

ومركبات الزرنيخ العضوية، ويمكن أن يحدث تفاعل بين الزرنيخ والمواد العضوية في التربة والمياه والرواسب، ويلعب دورًا حاسمًا في قابلية الحركة والتوافر البيولوجي وسمية الزرنيخ(Shen et al., 2020). تم تصنيف التربة حسب محتواها من المادة العضوية وحسب (Rueda-Garzón et al., 2023 ;Lasota et al., 2020) كما هو مبين في الجدول (5).

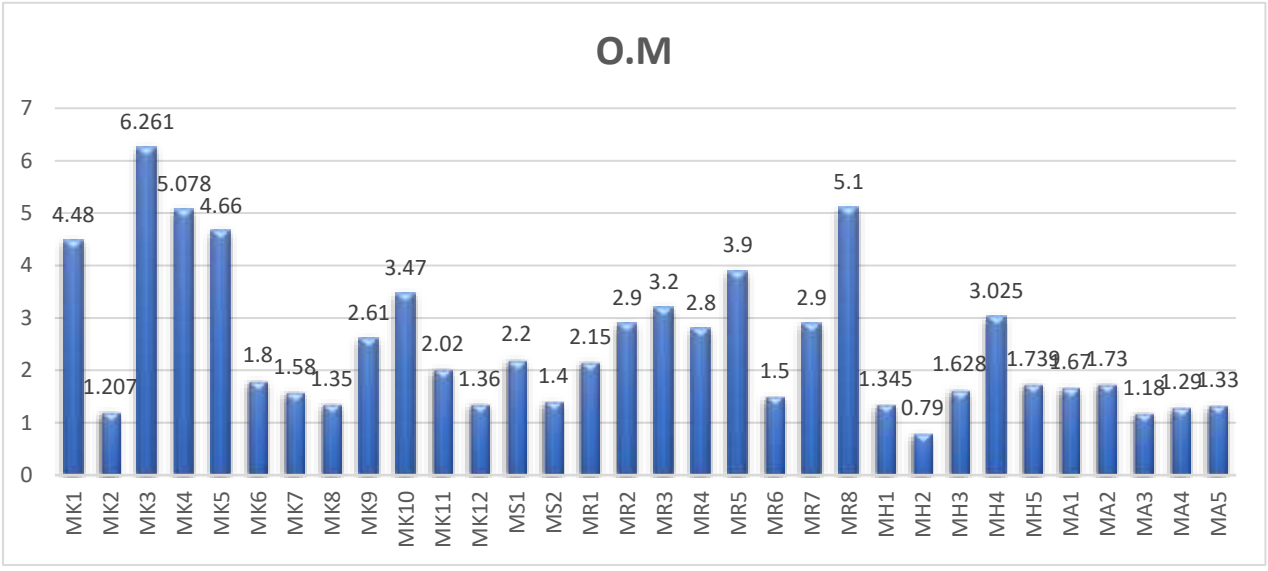
الجدول 5: تصنيف التربة حسب محتواها من المادة العضوية(Lasota et al., 2020 ;Ditzler, et al, 2017)

Soil class	Organic Matter %	Soil class	Organic Matter %
Very Low	0.5<	High	2.5-6
Low	0.5–1.5	Very High	6-15
Moderate	1.5-2.5	Extremely High	15-30

في تربة منطقة الدراسة تراوح محتوى المادة العضوية (OM) من 0.79% إلى 6.61% وبمعدل 2.48% (الجدول 6) و(الشكل 7)، ففي (10 مواقع) كان محتوى التربة منخفضاً منها، وفي (9 مواقع) كان متوسطاً ، بينما في (12 موقعاً) كان محتوى المادة العضوية فيها عالي حسب تصنيف التربة (Ditzler, et al, 2017)، وموقعاً وحيداً كان محتواه فيها هو عالي جداً وهو الموقع (MK3) اذ بلغ (6.261 %)،حيث تساهم زيادة المادة العضوية في زيادة تراكيز العناصر الثقيلة ومنها الزرنيخ في التربة، كما يمكن أن تعزى هذهِ الزيادة في المادة العضوية في تربة منطقة الدراسة إلى عوامل مختلفة تعزز مدخلات المواد العضوية والاحتفاظ بها وتحللها، اذ يودي ترك مخلفات المحاصيل الزراعية في الحقل بعد الحصاد الى زيادة المادة العضوية حيث تتحلل هذه المخلفات بمرور الوقت، وتؤدي اضافة الاسمدة الزراعية الى التربة اي اضافة المواد العضوية (OM) اليها مباشرة، مما يوفر مصدرًا غذائيا للنباتات وبالتالي تحسين بنية التربة (Voltr et al., 2021).

الجدول 6: قيمة المادة العضوية (MO%) في التربة السطحية لمنطقة الدراسة.

samples	OM %	samples	OM %	samples	OM %
MK1	4.48	MK12	1.36	MH1	1.345
MK2	1.207	MS1	2.2	MH2	0.79
MK3	6.261	MS2	1.4	MH3	1.628
MK4	5.078	MR1	2.15	MH4	3.025
MK5	4.66	MR2	2.9	MH5	1.739
MK6	1.8	MR3	3.2	MA1	1.67
MK7	1.58	MR4	2.8	MA2	1.73
MK8	1.35	MR5	3.9	MA3	1.18
MK9	2.61	MR6	1.5	MA4	1.29
MK10	3.47	MR7	2.9	MA5	1.33
MK11	2.02	MR8	5.1		
Min.		0.79		* Low OM * Moderates OM *High OM *Very high	
Max.		6.261			
Mean		2.48			



الشكل 7. تراكيز المادة العضوية (MO%) في تربة منطقة الدراسة.

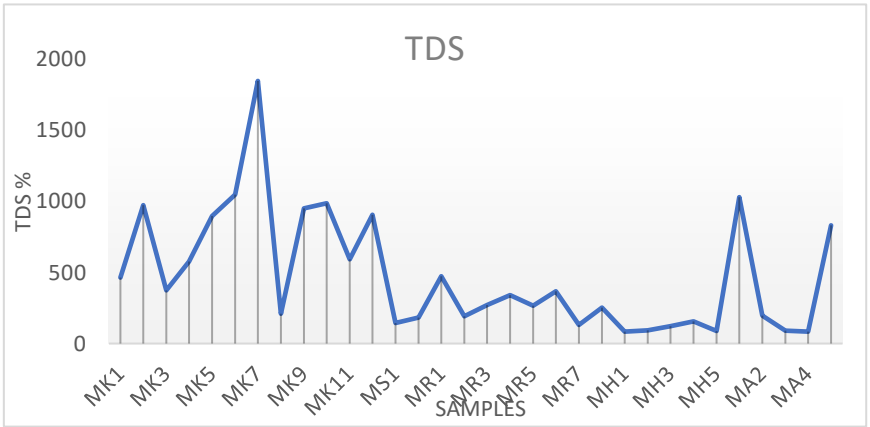
2- مجموع الاملاح الصلبة Total Dissolved solids (TDS)

يشير إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) في التربة إلى تركيز المواد غير العضوية الذائبة في مياه التربة، وتشمل هذه المواد المعادن والأملاح والجسيمات الذائبة الأخرى الموجودة في محلول التربة(Haribowo et al., 2022). يتم قياس المواد الصلبة الذائبة عادةً بأجزاء في المليون (ppm)، ان TDS تشمل على أيونات مختلفة مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريتات والكربونات، اذ يمكن أن تؤثر مستوياتها في التربة على خصوبتها ونمو النباتات وجودة التربة بشكل عام، كما يمكن أن تكون مستويات TDS المرتفعة في بعض الأحيان مؤشراً على تردي نوعية المياه أو الاستخدام المفرط للأسمدة والمبيدات الكيميائية (Shyamala et al., 2020).

يمكن أن يكون قياس المواد الصلبة الذائبة في التربة مفيدًا جدا لفهم ملوحة التربة وتأثيرها المحتمل على صحة النبات، اذ تكون بعض النباتات أكثر تحملاً لمستويات TDS العالية، بينما قد تكون نباتات أخرى حساسة وتظهر عليها علامات الإجهاد أو انخفاض النمو عند تعرضها لتركيزات مرتفعة من المواد الصلبة الذائبة(Hossain et al., 2020). بلغ معدل تركيز الاملاح الذائبة الكلية في تربة منطقة الدراسة (476.03 ppm) وبمدى (84- 1848 ppm) كما في الجدول (7) الشكل (8)، بلغ اعلى تركيز ل TDS في الموقع MR7 الذي يمثل الطمر الصحي في كركوك، وقد يعزى ذلك الى ان مدافن النفايات الصحية تودي إلى زيادة تركيزات الأملاح الذائبة الكلية في التربة من خلال آليات مختلفة: منها تولد مدافن النفايات الصحية ، وهو سائل ينتج عن تحلل النفايات العضوية ومياه الأمطار المتسربة عبرها (Pazoki and Ghasemzadeh, 2020). يمكن أن تحتوي هذه المادة المرتشحة على أملاح مذابة من تحلل مواد النفايات المختلفة، فعندما تتسرب المادة المرتشحة إلى التربة يمكن أن تزيد من تركيز الأملاح الذائبة الكلية فيها من خلال تحلل أنواع معينة من النفايات مؤدية إلى إطلاق أيونات مثل الصوديوم والكلوريد والكبريتات، مما يساهم في زيادة إجمالي الأملاح الذائبة في التربة(Adhikari and Khanal, 2015)

الجدول 7: تراكيز الاملاح الذائبة الكلية في ترب منطقة الدراسة.

Site Name	TDS	Site Name	TDS	Site Name	TDS
MK1	465	MK12	906	MH1	85
MK2	973	MS1	144	MH2	92
MK3	375	MS2	183	MH3	123
MK4	578	MR1	474	MH4	156
MK5	897	MR2	192	MH5	89
MK6	1049	MR3	270	MA1	1030
MK7	1848	MR4	340	MA2	197
MK8	210	MR5	266	MA3	90
MK9	952	MR6	368	MA4	84
MK10	988	MR7	132	MA5	832
MK11	593	MR8	252		
		Min.			84
		Max.			1848
		Mean			476.03



الشكل 8. محتوى المادة العضوية في تربة منطقة الدراسة

توزيع تراكيز عنصر الزرنيخ في تربة مناطق الدراسة

Distribution of Arsenic concentrations in the Soil of the study areas

توزيع عنصر الزرنيخ في التربة يعتمد على ثلاثة عوامل، الأول هو وفرة الزرنيخ في صخور الام (parent rock) (Menezes et al., 2020 ;Al-Jumaily, 2016)، والثاني طبيعة التجوية وعمليات تكوين التربة المؤثرة على هذه الصخور (Zhang and Wang, 2020)، أما العامل الثالث فيتمثل بتأثير النشاطات الطبيعية والغير طبيعية المختلفة على تزويد التربة بالعناصر عن طريق ارتشاح المياه إلى التربة مثال ذلك استخدام المبيدات(Al-Jumaily et al., 2020) (Karthikeyan1 et al., 2021). التربة تحتوي على عنصر الزرنيخ بكميات اكبر مقارنة مع الصخور التي اشتقت منها (Kanwar et al., 2020)، وقد تكون اسباب هذهِ الزيادة هو قابلية التربة المختلفة (العضوية واللاعضوية) على الاحتفاظ بالزرنيخ، كما ان (As) يتراكم في التربة من خلال استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة الزراعية ، فضلاً عن عوامل التجوية والمتمثلة بالغلاف الجوي والمائي والحياتي(Alengebawy et al., 2021). وتعد ترب هذهِ المناطق قيد الدراسة من مناطق زراعية وصناعية وسكنية . يعرض الجدول (8) مديات ومعدلات تركيز عنصر الزرنيخ وكذلك تراكيزه القياسية حسب الخلفية الجيوكيميائية ومنظمة صحة العالمية(WHO, 2021) ووكالة حمائية البيئية الامريكي(EPA, 2017) . اذا بلغ معدل تركيز (As) في ترب مناطق الدراسة (6.27 ppm) وبمدى يتراوح بين (4.9 ppm – 8.2). وعند مقارنة تركيز As مع Geochemical Background (Kabata-Pendias,2011) وجد انه اقل من الخلفية المرجعية حسب (Kabata-Pendias, 2011) الا انه يقع ضمن الحدود المسموح بها حسب منظمة الصحة العالمي (WHO) ووكالة حماية البيئة الامريكية (WHO, 2021).

الجدول 8: معدل ومديات تركيز عنصر الزرنيخ في ترب منطقة الدراسة

sample no	الموقع	(As) ppm		sample no	الموقع	(As) ppm	
MK1	عرفة	6.6	سكني	MR3	الرياض /داخل السايلو	6	صناعي
MK2	واحد اذار	6.5	زراعي	MR4	الرياض /الشارع العام	5.1	زراعي
MK3	كراج الشمال	5.3	صناعي	MR5	الرياض /ارض زراعية	6.9	زراعي
MK4	بداية الحي الصناعي	5.8	صناعي	MR6	الرياض /ارض زراعية	5.5	زراعي
MK5	وسط الحي الصناعي	6.1	صناعي	MR7	الرياض /ارض زراعية	5.8	زراعي
MK6	شركة غاز الشمال	7.4	صناعي	MR8	الرياض /قرية زكاع	5.8	زراعي
MK7	الطمر الصحي	5.2	صناعي	MA1	الحويجة /حي حطين	6.9	صناعي
MK8	الحي الصناعي	6.9	صناعي	MA2	الحويجة /حي حطين	7.9	صناعي
MK9	شركة نفط الشمال	5.2	صناعي	MA3	حويجة /معهد التقني	4.9	سكني
MK10	عرفة	7.4	سكني	MA4	حويجة /حي العسكري	7.3	سكني
MK11	مطحنة كركوك	7	سكني	MA5	حويجة المعهد التقني	7.1	سكني
MK12	مستشفى النصر	8.2	سكني	MH1	عباسي	5.8	زراعي
MS1	قرب مطعم ميديا	5.5	زراعي	MH2	عباسي	6.2	سكني
MS2	قرب مطعم ميديا	5.7	زراعي	MH3	عباسي	6.2	زراعي
MR1	قرب المطعم	5	سكني	MH4	عباسي	6.4	صناعي
MR2	الرياض /الحي الصناعي	6.6	صناعي	MH5	عباسي	6.7	زراعي
		Min.				4.9	-
		Max.				8.2	-
		Mean				6.27	-
		Geochemical Background (Kabata-Pendias,2011)				6.83	-
		World Health Organization (WHO)				20	-
		US Environmental Protection Agency (U.S. EPA,2016)				10	-

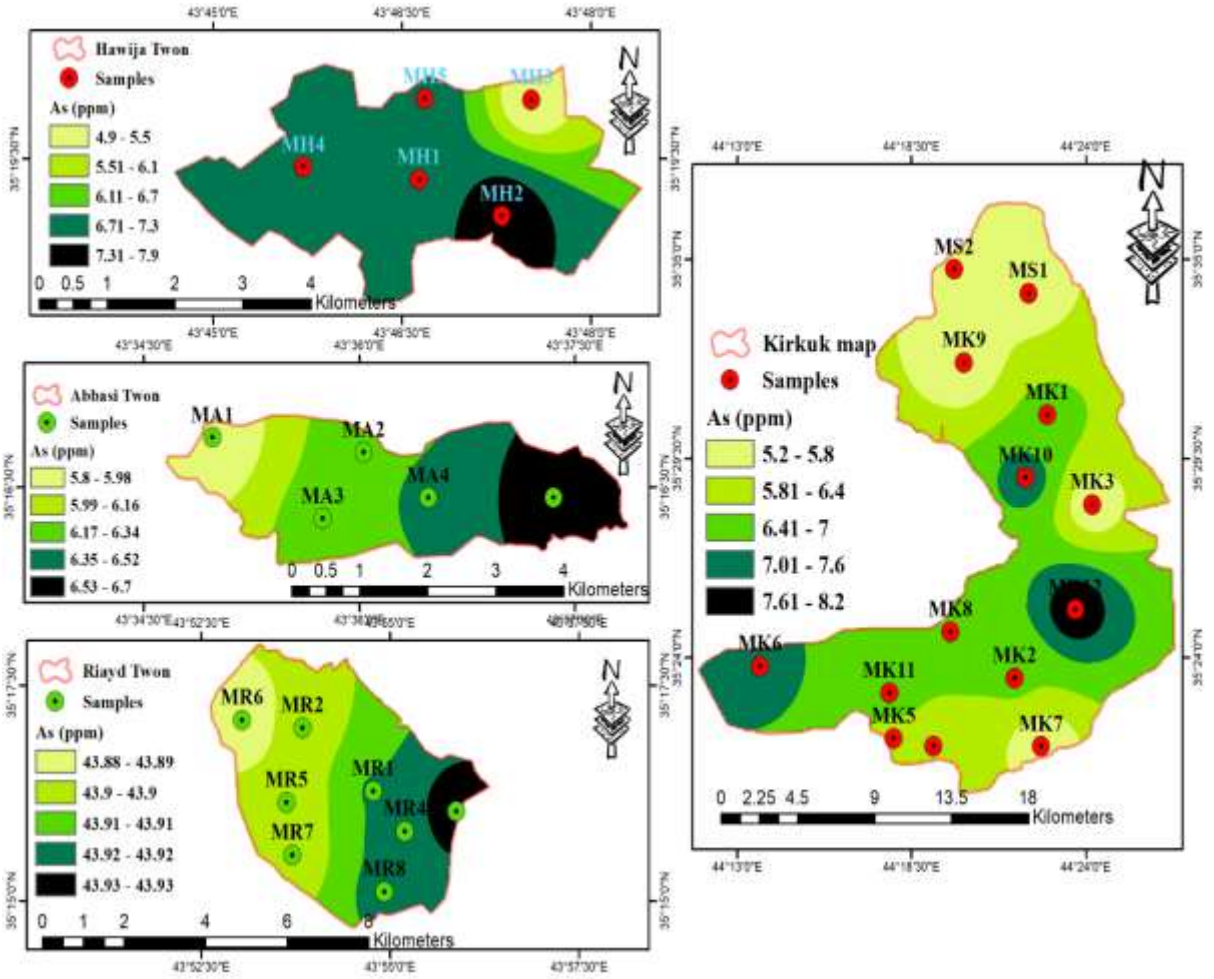
بلغ اعلى تركيز للعنصر الزرنيخ As في تربة (MK12) الذي يمثل موقع مستشفى حي النصر بقيمة (8.2ppm) وهو اعلى من تركيز العنصر حسب حسب (Kabata-Pendias, 2011)، وقد يعزى سبب هذهِ الزيادة هو حرق الفضلات الطبية التي تحدث داخل مستشفى وهذا يتفق مع ما ذكره (Prüss et al., 1999) ،اذ اشار بان عمليات الحرق تزيد من

تركيز As، ومع ذلك، فإن تأثير الحرق على تركيز الزرنيخ في التربة يمكن أن يعتمد على عوامل مختلفة، بما في ذلك نوع المواد المحروقة، وظروف الاحتراق، والمسافة من مصدر الانبعاثات (Vishwakarma et al., 2021). بالإضافة إلى ذلك، يتأثر مصير الزرنيخ في البيئة بأشكاله الكيميائية (speciation)، حيث أن الأشكال المختلفة للزرنيخ لها سلوكيات وحركية مختلفة في التربة(Yang et al., 2022). اما المواقع (MA6, MK10) التي تمثل تربة منطقة عرفة وشركة نفط الشمال فقد وصل تركيز عنصر As الى (7.4 ppm) في كلا الموقعين، وقد يعزى سبب هذهِ الزيادة هو تأثير الانشطة النفطية وعمليات النضوح النفطي وكذلك عمليات الحرق المنتشرة في شركة النفط وتأثيرها قد يصل الى المناطق القريبة من شركة النفط مما ادى الى زيادة تركيز عنصر الزرنيخ في منطقة عرفة، وهذا يتفق مع ما ذكره (Johnston et al., 2019)، فضلاً عن ارتفاع تراكيز الزرنيخ في تربة الحويجة وخصوصا في المواقع (MA5 – MA4 – MA2) (حي حطين، حي العسكري، المعهد الفني) التي تمثل حدائق تستخدم الاسمدة بكثرة والذي بلغ تركيز الزرنيخ فيها الى (7.9 – 7.3 – 7.1 ppm) على التوالي على التوالي وقد يكون السبب هو الاستخدام المتكرر للمبيدات وهذا يتفق مع ما ذكره Zhou et al., (Al-Obeidi and Al-Jumaily, 2020 ; 2018) الذي اوضح بان الاستخدامات المتكررة للأسمدة والمبيدات ولفترات طويلة يزيد من تراكيز As في التربة. اما الموقع (MK10) المتمثل بمطحنة كركوك فقد بلغ تركيز عنصر الزرنيخ (7 ppm) والمواقع (MA8 – MA5) اللذان يقعان في حي الصناعي بقيمه بلغت (6.1 – 6.9 ppm)على التوالي، ويعزى هذهِ الزيادة الى الملوثات الناتجة من ورش السيارات و تبديل الزيوت والاصباغ وصيانه السيارات (Al-Obeidi and Al-Jumaily, 2020;Järup, 2003). كما تلعب الانشطة الزراعية دوراً مهماً في تلوث الترب من خلال الاستخدامات المتكررة للأسمدة وكذلك المبيدات التي تستخدم في مكافحة الآفات الزراعية وهذ يبدو واضحاً في تركيز As في مواقع (MA5, MA4, MA3, MA2, MR5, MR3) ،اذ بلغت قيمة التراكيز As فيها (6.7, 6.4, 6.2, 6.2, 6.9 and 6 ppm) على التوالي، وهذا يتفق مع ما ذكره (Zhou et al., 2018) اذ اوضح بان الانشطة الزراعية تعتبر مصدر مهم لعنصر الزرنيخ (As)، ويمكن للملوثات النفطية، مثل تلك الناتجة عن انسكابات النفط أو التصريفات الصناعية المنشرة قرب الرياض، الى إدخال مجموعة من المواد الكيميائية إلى البيئة بما فيها عنصر الزرنيخ، قد تتفاعل هذه المواد الكيميائية مع التربة والمياه، مما يؤثر على قابلية الحركة والتوافر الحيوي للزرنيخ (Al-hamdany et al., 2023 ;Skrypnik et al., 2021)

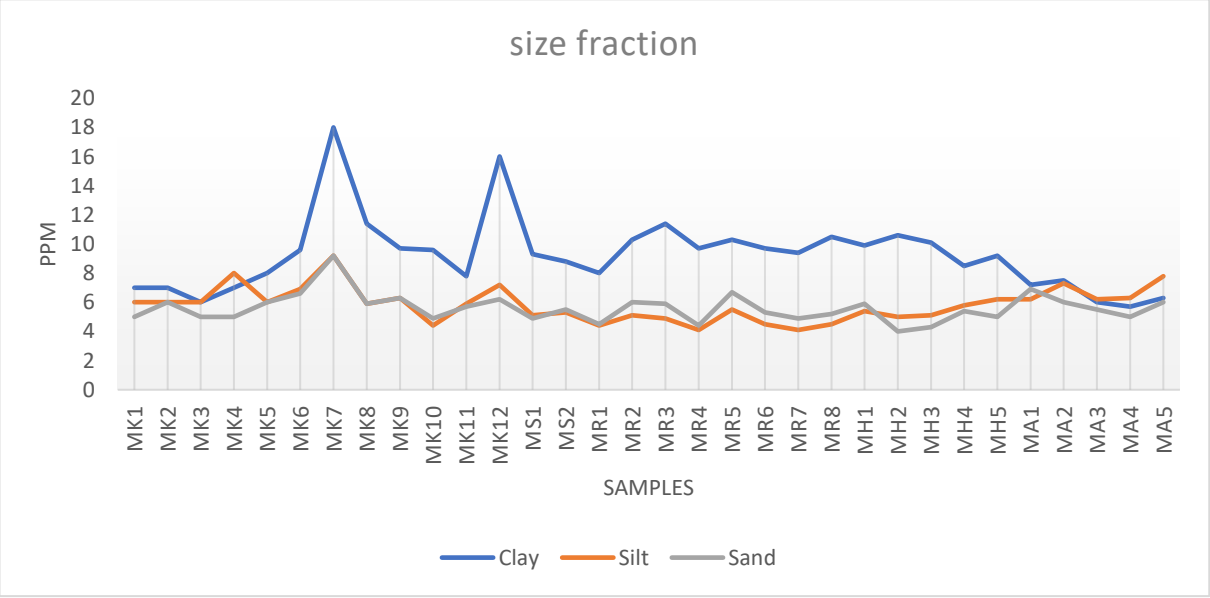
توزيع الزرنيخ في الاجزاء الحجمية لتربة (الرمل، الغرين، الطين) في نماذج منطقة الدراسة

Distribution of Arsenic in Soil size fractions (sand, silt, clay) in samples of the study area

أن الزرنيخ في التربة سواء كان من مصادر طبيعية كتعرية الرواسب والصخور الحاملة له أو من مصادره الصناعية مثل الانشطة الزراعية او الانبعاثات من احتراق الوقود والانشطة النفطية سوف يمتز على حبيبات التربة وبالتالي فان الحجم الحبيبي يؤثر في محتوى As في التربة(Al-Jumaily and Alhamdany, 2018)، ونتيجة لذلك، قد تحتفظ التربة ذات المحتوى العالي من الطين بمزيد من الزرنيخ مقارنة بالتربة الرملية ذات الجزيئات الأكبر (Almeida et al., 2020). يتبين من الجدول (9) والشكل (9-10) بأن معدل تركيز الزرنيخ في ترب منطقة الدراسة (كركوك، الرياض، الحويجة، العباسي) في الجزء الطيني الناعم (Clay) بلغ (9.23 ppm) أعلى من تركيزه في الاجزاء الخشنة المتمثلة بالغرين (Silt) والرمل (Sand) بقيمة بلغت (5.83 ppm و 5.72ppm) على التوالي, أذ ان تركيز عنصر الزرنيخ كان الأعلى في الجزء الطيني مقارنة بالجزء الغريني والرملي وذلك بسبب صغر الحجم الحبيبي, اي كلما كانت الحبيبات التربة صغيرة الحجم، كلما ازدادت مساحه السطحية للحبيبات وازدادت الشحنة وبالتالي زيادة امتصاص العنصر الزرنيخ عليها, إذ ذَكَر (Almeida et al., 2020) بان تركيز الزرنيخ في اغلب الاحيان يمتز على الحبيبات ذات الحجم الحبيبي الكبير التي هي أكبر من (250µm) ثم يزداد بصورة تدريجية في الحبيبات الاصغر من (250µm) وهي الغرين والطين كما في تربة منطقة الدراسة.



الشكل 9. التوزيع المكاني لعنصر الزرنيخ في تربة مناطق الدراسة (كركوك، الرياض، الحويجة، العباسي).



الشكل 10. تركيز الزرنيخ في الاجزاء الحجمية لتربة منطقة الدراسة.

الجدول 9. تراكيز عنصر الزرنيخ في الاجزاء الحجمية لتربة (sand, silt, clay).

Sample	Clay	Silt	Sand	Sample	Clay	Silt	Sand
MK1	7	6	5	MR3	11.4	4.9	5.9
MK2	7	6	6	MR4	9.7	4.1	4.4
MK3	6	6	5	MR5	10.3	5.5	6.7
MK4	7	8	5	MR6	9.7	4.5	5.3
MK5	8	6	6	MR7	9.4	4.1	4.9
MK6	9.6	6.9	6.6	MR8	10.5	4.5	5.2
MK7	18	9.2	9.2	MH1	9.9	5.4	5.9
MK8	11.4	5.9	5.9	MH2	10.6	5	4
MK9	9.7	6.3	6.3	MH3	10.1	5.1	4.3
MK10	9.6	4.4	4.9	MH4	8.5	5.8	5.4
MK11	7.8	5.9	5.7	MH5	9.2	6.2	5
MK12	16	7.2	6.2	MA1	7.2	6.2	6.9
MS1	9.3	5.1	4.9	MA2	7.5	7.3	6
MS2	8.8	5.3	5.5	MA3	6	6.2	5.5
MR1	8	4.4	4.5	MA4	5.7	6.3	5
MR2	10.3	5.1	6	MA5	6.3	7.8	6
				Min.	5.7	4.1	4
				Max.	18	9.2	9.2
				mean	9.234375	5.83125	5.725

مقارنة بين تزكيز عنصر الزرنيخ في تربة منطقة الدراسة مع دراسات محلية واقليمية وعالمية

Comparison of the concentration of Arsenic in the Soil of the study area with local, regional and global studies

لإجراء مقارنة لتركيز الزرنيخ في تربة منطقة دراسة مع الدراسات المحلية والإقليمية والعالمية، لكي يمكن أن يساعد ذلك في تقييم ما إذا كانت المستويات المرصودة في منطقة الدراسة تشكل مخاطر محتملة على النظم البيئية أو صحة الإنسان.

يبين الجدول (10) تراكيز عنصر الزرنيخ في بعض الدراسات المحلية والاقليمية والعالمية، وتبين بان معدل تركيز As في تربة منطقة الدراسة كان اقل من تركيزه في قضاء الحويجة (Al-Hamdany et al., 2023) و قد يكون السبب في ذلك هو تأثير وادي النفط ومخلفاته النفطية وانسكابها في منطقة الدراسة، واقل من الدراسة التي اجرها (Al-Khatony, 2014) في الموصل وهذا ربما يعود الى اختلاف مواقع اخذ العينات. أما على الصعيد الاقليمي فقد كان تركيز As في تربة منطقة الدراسة اعلى مما منشور في الدراسة التي اجرها (Ghasemidehkordi et al., 2018) في ايران والسعودية التي اجرها (Alarifi et al., 2023)، وهذا ربما يعود ايضا الى اختلاف منطقة الدراسة ايضا.

وعند اجراء مقارنة لمعدل تركيز عنصر الزرنيخ مع بعض الدراسات العالمية تبين انه اقل مما منشور في اسبانيا والصين مع الأخذ بنظر الاعتبار الغاء الاختلافات في نوعية الترب ومحتوها من المادة العضوية ودرجة الحموضة التي تلعب دوراً في زيادة ونقصان تركيز الزرنيخ. اما عند مقارنته مع المعايير العالمية وهي (Geochemical Background) و(WHO, 2021) و(EPA, 2017) تبين انه اقل مما منشور كما في الجدول (10).

الجدول 10: مقارنة تركيز عنصر الزرنيخ مع دراسات محلية واقليمية وعالمية.

	Century / City	As (ppm)	References
Iraq	Kirkuk	6.27	Current study
	Hawija	18.3	(Al-Hamdany et al., 2023)
	Mosul	8.6	(Al-Khatony, 2014)
	Iran	6.0286	(Ghasemidehkordi et al., 2018)
	Turky	9.50	(Ozturk and Arici, 2021)
	Saudi Arabia	3.78	(Alarifi et al., 2023)
	Egypt	10.6	(Badawy et al., 2016)
	Spain	11	(Díaz-de Alba et al., 2011)
Standards	China	17.90	(Liu et al., 2020)
	Geochemical Background	6.83	(Kabata-Pendias and Pendias, 2011)
	World Health Organgization	20	(WHO, 2021)
	US Environmental Protection Agency	10	(EPA, 2017)

علاقة الزرنيخ مع العناصر الرئيسية والثانوية في ترب مناطق الدراسة

Relationship of Arsenic with Major and Minor Elements in the Soil of the study areas

1- معامل الارتباط Correlation coefficient

تم استخدام برنامج (SPSS) لإيجاد معامل الارتباط الثنائية (Correlation coefficient) للعلاقة بين عنصر الزرنيخ مع أكاسيد العناصر الرئيسية (L.O.I, MnO, P_2O_5, TiO_2, K_2O,Na_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO2) في عينات تربة مناطق الدراسة والتي بلغ معدل تراكيزها فيها الى (17.92 %, 0.10 %, 0.17 %, 0.57 %, 41.54 %, 8.12 %, 5 %, 3.99 %, 20.35 %, 0.34 %, 1.45 %) على التوالي، وبينه وبين معدل تركيز للعناصر الثقيلة مثل(S, Cr, Cd, Co, Ni, Zn, Pb, Cu, Mo) فقد بلغت قيمها(0.36, 79,08, 0.53, 21.95, 112.58, 148.09, 45.78, 53.12, 2.47) (ppm) على التوالي فضلا عن بعض الصفات والخوص الفيزيوكيميائيه (الجدول 11).

يعد معاملات الارتباط الثنائية من أكثر العمليات الإحصائية شيوعا في تفسير العلاقات الجيوكيميائية بين العناصر الرئيسة والثانوية والأثرية والثقيلة وغيرها، اذ تستخدم لتحديد إمكانية وجود مصدر مماثل لعنصرين أو أكثر (Maitre, 2013)، فكلما ارتفعت القيمة كلما كان معامل الارتباط (r) أكثر وثوقيه. وتشير العلاقة الإيجابية المعنوية القوية إلى تشابه مصدر هذه العناصر، بينت إذا كانت العلاقة قوية وسلبية فإنها قد تدل على اختلاف المصدر، أما العلاقات الضعيفة واقتراب قيمة (r) من الصفر فتدل على تنوع المصادر وليس لها دلالة إحصائية (Manahan, 2017).

الجدول 11: معدل ومديات تراكيز عنصر الزرنيخ مع الاكاسيد العناصر الرئيسية والخواص الفزيائية والكيميائية في تربة منطقة الدراسة.

Elements	Min.	Max.	Mean
As (ppm)	4.9	8.2	6.28
SiO_2 (%)	37.89	45.76	41.54
Al_2O_3 (%)	5.023	10.79	8.12
Fe2O3 (%)	3.83	8.22	5.00
MgO (%)	2.51	5.408	3.99
CaO (%)	13.8	31.11	20.35
Na2O (%)	0.042	1.87	0.34
K2O (%)	0.9917	1.868	1.45
TiO2 (%)	0.3022	0.6998	0.57
P2O5 (%)	0.111	0.3892	0.17
MnO (%)	0.08	0.191	0.10
L.O.I (%)	10.64	25.2	17.92
MO (ppm)	0.44	7	2.47
Cu (ppm)	20.1	197.13	53.12
Pb (ppm)	6.67	527.15	45.78
Zn (ppm)	48.3	740.3	148.09
Ni (ppm)	77.4	144.7	112.58
Co (ppm)	12.8	67.5	21.95
Cd (ppm)	0.18	1.04	0.53
Cr (ppm)	65.9	104	79.08
S (ppm)	0.02	2.99	0.36
OM	0.79	5.231	2.46
pH	7.2	8.7	7.84
TDS	84	1848	476.03

تم استخدام اثنان وثلاثين عينة من التربة في حساب معامل الارتباط الثنائية في منطقة الدراسة وكانت القيمة الجدولية لـ (R) هي (0.463) عند مستوى $p \geq 0.05$ (الجدول 12) .يتضح بان عنصر الزرنيخ يرتبط بعلاقة معنويه موجبة مع اوكسيد المغنسيوم (MgO) بقيمة بلغت (0.431)، هذا يوضح ارتباط الزرنيخ بالجز الفتاتي للتربة في منطقة الدراسة وهذا يتفق مع (Chen et al., 2020) ،اذ تلعب الاكاسيد والهيدروكسيدات الموجودة عادة في التربة دورًا حاسمًا في التحكم في حركة العناصر الثقيلة المختلفة بما في ذلك الزرنيخ. لأنها تتميز بمساحة سطحية عالية وقدرتها العالية على الامتزاز (adsorb) أو الامتصاص (sorb) للملوثات على أسطحها(Miretzky and Cirelli, 2010). يشير الامتزاز (Adsorption) إلى ارتباط الجزيئات أو الأيونات بسطح المادة الصلبة، وفي هذه الحالة فان أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد لها دورا كبيرا في ذلك،

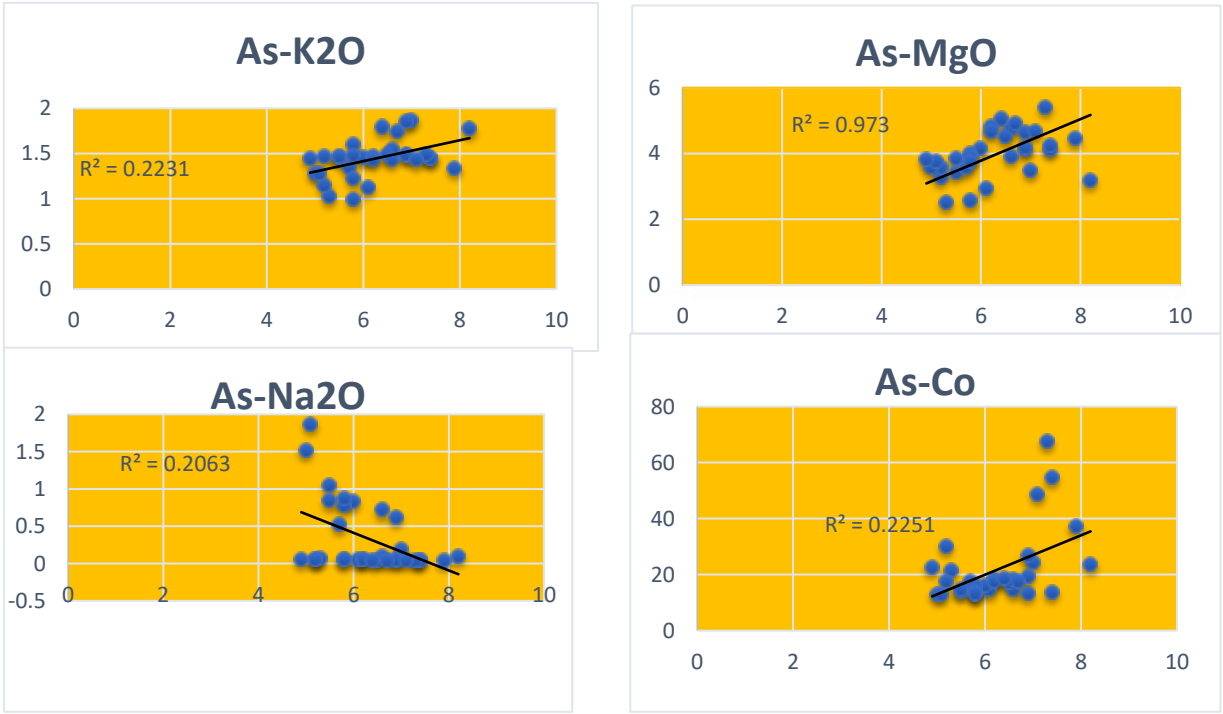
أما الامتصاص (Sorption) هو مصطلح أوسع يشمل كلا من الامتزاز والامتصاص (اختراق المواد إلى الجزء الأكبر من المادة الصلبة أو السائلة)، وبالتالي فان الزرنيخ يتعمد بصورة رئيسية على محتوى الترب من اكاسيد الحديد (Chen et al., 2020).

أظهرت النتائج الى وجود علاقة معنوية بين As واوكسيد الصوديوم (Na_2O) في عينات التربة بسبب عوامل مختلفة تتعلق بجيوكيميائية التربة وهذا ربما يوشر بان للزرنيخ والصوديوم مصادر مختلفة أو يتأثران بعمليات جيوكيميائية مختلفة في التربة، فعلى سبيل المثال قد يرتبط الزرنيخ ببعض المعادن أو التكوينات الجيولوجية من جهة، بينما يمكن أن تتأثر مستويات الصوديوم بتجوية أنواع معينة من الصخور من جهة ثانيه(Raju, 2022)، اوقد يكون بسبب الناقلية بينهما تكون أقل قدرة على الحركة، في حين أن الصوديوم أكثر قدرة على الحركة، فقد يؤدي ذلك إلى ارتباطا معنويا سالبيا بينهما، وهذا يتفق مع ما ذكره (Du et al., 2020)، اذ ذكر بانه قد يخضع الزرنيخ واوكسيد الصوديوم لعمليات امتصاص أو تبادل أيوني مختلفة في التربة مما يؤدي إلى علاقة عكسية بينهما(Zongliang et al., 2012). فضلا عن تأثير استخدام بعض الأسمدة الزراعية أو ممارسات الري على مستويات الصوديوم في التربة، في حين أن الأنشطة البشرية الأخرى يمكن أن تساهم في ارتفاع مستويات الزرنيخ(Feitosa et al., 2021).

يرتبط عنصر الزرنيخ (As) بعلاقة معنويه موجبة مع اوكسيد البوتاسيوم (K_2O) بقيمة بلغت (0.472) وقد يعزى ذلك الى أن جيولوجية المنطقة تؤثر على تكوين التربة فقد تحتوي التكوينات الجيولوجية بشكل طبيعي على كل من الزرنيخ والبوتاسيوم، مما يوكد على العلاقة المعنوية بينهما(Anawar et al., 2003). كما يمكن ان يكون للأنشطة البشرية مثل بعض الممارسات الزراعية أو العمليات الصناعية أو استخدام الأسمدة والمبيدات الزراعية المنتشرة في منطقة الرياض والحويجة والعباسي أن تسهم في اضافة كلاً من الزرنيخ والبوتاسيوم إلى التربة في منطقة الدراسة وهذا يتفق مع ما ذكره (Khatun et al., 2022).

الجدول 12: معاملات الارتباط الثنائية بين عنصر الزرنيخ واكاسيد العناصر الرئيسية والعناصر الثانوية وبعض خواص التربة

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5
As	0.308	0.116	-0.118	.431*	0.154	-.454**	.472**	-0.035	-0.287
	MnO	MO	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cd	Cr
As	0.193	0.337	-0.161	-0.244	-0.211	0.317	.474**	0.325	0.117
	S	OM	pH	TDS	**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				
As	-0.156	-0.185	0.014	0.105	*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).				



الشكل 11. علاقة عنصر الزرنيخ مع بعض اكاسيد العناصر الرئيسية والعناصر الثقيلة في التربة .

يرتبط عنصر الزرنيخ (As) بعلاقة موجبة قوية مع عنصر الكوبلت (Co) بقيمة بلغت (0.474) والشكل (11)، قد يكون سبب العلاقة هو نتيجة للأنشطة البشرية مثل التعدين أو العمليات الصناعية أو استخدام بعض المبيدات الحشرية. يُعرف الزرنيخ والكوبلت بسميته للنباتات والحيوانات والبشر.

2- التحليل العاملي Factor analysis

الأهداف الرئيسية للتحليل العاملي، والتي أنشأها علماء النفس في البداية، هي تحديد هياكل البيانات المخفية متعددة المتغيرات وشرح التباين في مجموعة البيانات متعددة المتغيرات بأقل عدد ممكن من العوامل(Santos et al., 2019). يستخدم علماء النفس مصطلح "العامل" الذي يشبه "عمليات التحكم" في الكيمياء الجيولوجية. في ضوء ذلك، يجب أن يكون التحليل العاملي مناسبًا تمامًا لعرض المعلومات "الأساسية" في مجموعة بيانات جيوكيميائية تحتوي على العديد من المكونات التي تم تحليلها (Reimann et al., 2002). في الواقع، يعد تحليل العوامل مجهزًا بشكل أفضل للعثور على هياكل بيانات مشتركة. وبالتالي، فإن تطبيق التحليل العاملي يزيد من احتمال اكتشاف الآليات الشائعة التي تؤثر على سلوك العناصر في الكيمياء الجيولوجية (Sadat Nickayin et al., 2023).

ان وصف توزيع عنصر الزرنيخ مع العناصر الرئيسة والثقيلة وبعض الخواص الفيزيائية والكيميائية في عينات التربة في الدراسة الحالية باستخدام التحليل العاملي تم باستخدام خمس مكونات تمثل 69.786% من إجمالي التباين الكلي لمجموعة البيانات الجيوكيميائية (الجدول 13)، اذ يفسر العامل الاول 29.083% من اجمالي التحليل العاملي، والعامل الثاني15.735% من اجمالي التحليل العاملي والذي اظهر تحميل سالب لعنصر الزرنيخ As، بينما العامل الثالث شكل 11.704% من اجمالي التحليل العاملي ، في حين ان العاملين الرابع والخامس وصل الى (6.886 ، 6.377)% على التوالي من اجمالي التحليل العاملي. وسنركز في هذه الحالة على التحليل العاملي لعنصر الزرنيخ في العامل الثاني لأنه موضوع دراستنا الحالية.

الجدول 13: نسب التباين للعوامل (التحليل العاملي) مع النسب التراكمية في ترب منطقة الدراسة.

	F1	F2	F3	F4	F5
Eigenvalue	6.980	3.776	2.809	1.653	1.531
Variability (%)	29.083	15.735	11.704	6.886	6.377
Cumulative %	29.083	44.817	56.522	63.408	69.786

العامل الاول

العامل الاول يفسر نسبة (29.083%) من التباين الكلي لاحظ الجدول (14) ويعد اعلى عامل من بين العوامل الاخرى، اذ يوضح تحميلاً موجباً للعناصر النيكل، اوكسيد الالمنيوم، اوكسيد المغنسيوم، اوكسيد البوتاسيوم. قد يعزى ذلك الى مصادر اكاسيد وهيدروكسيدات الحديد بشكل عام التي تعتبر من اهم مكونات التربة الغنية بالألمنيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم(Emeh et al., 2019) . ويظهر هذا العامل تحميلاً موجباً للعناصر المولبيديوم، النحاس، الرصاص، الزنك، الكادميوم، واوكسيد الكالسيوم والمادة العضوية، ومجموع الاملاح الذائبة (الجدول 14) الشكل (12)، قد يعزى مصادر هذه العناصر الى انشطة بشرية المنشاء مثل الانشطة الزراعية والنفطية والمخلفات الصناعية وهذا يتفق مع ما ذكره (Khatun et al., 2022)

الجدول 14: تحميل متغيرات العوامل الخمس في تربة منطقة الدراسة.

Element	F1	F2	F3	F4	F5
As	0.093	-0.733	0.062	-0.151	-0.024
Mo	-0.636	-0.568	-0.280	-0.033	-0.201
Cu	-0.751	0.145	0.402	0.069	-0.105
Pb	-0.728	0.325	0.159	-0.443	-0.058
Zn	-0.656	0.304	0.164	0.076	0.025
Ni	0.619	-0.361	0.359	-0.012	-0.250

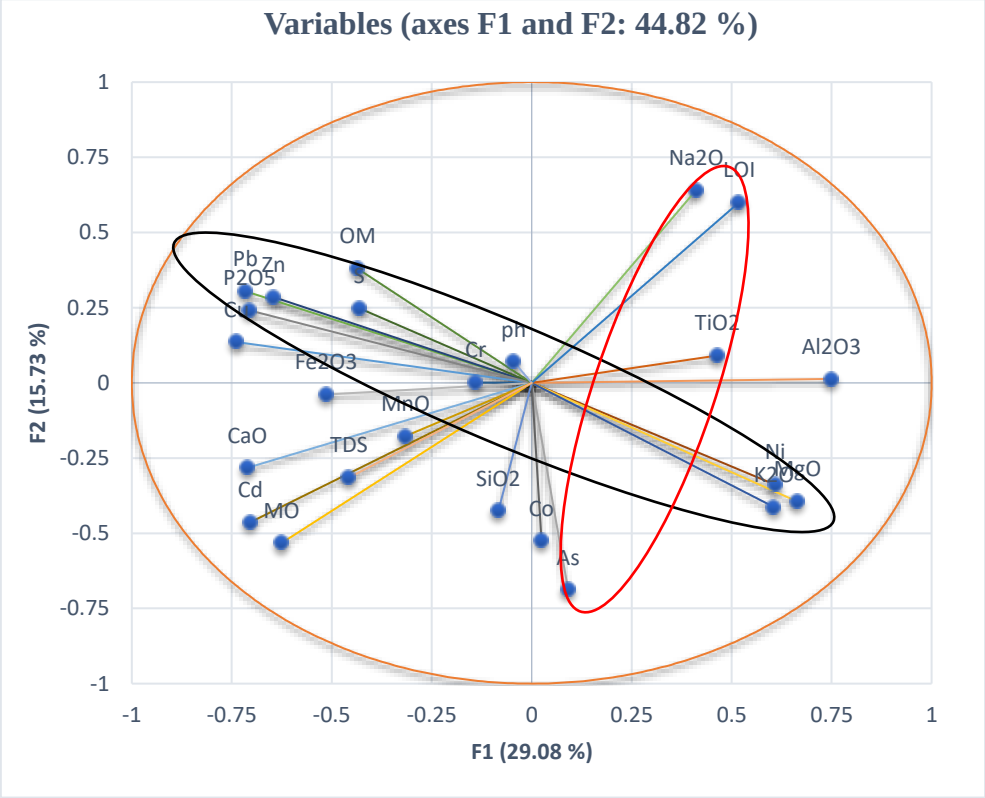
Co	0.025	-0.560	0.026	-0.158	-0.581
Cd	-0.716	-0.494	-0.127	0.048	-0.133
Cr	-0.142	0.001	0.640	-0.287	-0.418
S	-0.439	0.265	-0.113	-0.678	0.087
SiO_2	-0.085	-0.453	0.347	0.066	0.587
Al_2O_3	0.762	0.014	0.239	0.004	0.177
Fe_2O_3	-0.523	-0.041	0.565	0.466	-0.035
MgO	0.676	-0.421	0.285	-0.223	-0.131
CaO	-0.723	-0.301	-0.389	-0.138	0.109
Na_2O	0.418	0.684	-0.319	0.250	-0.068
K_2O	0.616	-0.440	0.015	-0.123	0.330
TiO_2	0.473	0.097	0.589	0.176	0.040
P_2O_5	-0.718	0.257	0.423	0.104	0.074
MnO	-0.321	-0.189	0.357	0.376	-0.183
LOI	0.528	0.640	-0.039	-0.003	-0.487
OM	-0.443	0.405	0.118	-0.070	0.125
pH	-0.046	0.075	0.631	-0.364	0.247
TDS	-0.465	-0.336	-0.219	0.402	-0.022

الجدول 15: تأثير مواقع النماذج على تحميل العوامل (تحليل العاملي)

Observation	F1	F2	F3	F4	F5
MK1	0.183	0.395	-0.167	-1.300	0.761
MK2	1.203	-1.156	1.188	0.471	1.190
MK3	-2.482	1.580	-0.380	-3.485	-0.013
MK4	-2.640	0.744	0.426	1.365	0.816
MK5	-2.562	0.695	2.556	1.087	-0.939
MK6	0.178	-1.711	0.283	1.005	-1.130
MK7	-1.367	-0.027	0.118	1.864	0.099
MK8	0.311	-0.769	0.038	0.274	1.184
MK9	-1.048	-0.425	-2.084	0.095	-0.330
MK10	-0.710	-2.196	-1.273	0.570	0.904
MK11	-0.337	-0.925	-1.239	-0.453	1.339
MK12	-0.274	-1.640	-0.879	0.079	1.645
MS1	0.397	1.232	-0.584	0.433	0.223
MS2	0.578	1.324	-0.354	0.157	-1.540
MR1	0.519	1.633	-1.277	0.669	-0.058
MR2	0.717	0.582	0.036	0.452	-0.501
MR3	0.856	1.074	-0.332	-0.141	-0.709
MR4	0.874	1.978	-1.747	0.275	-1.048
MR5	0.889	0.642	0.218	-0.480	-1.052
MR6	0.522	1.073	0.187	0.769	0.728
MR7	1.261	-0.606	1.166	1.238	2.282
MR8	0.520	0.827	0.205	0.583	0.365
MA1	-0.186	-0.476	-1.292	-0.064	-0.627
MA2	-0.221	-0.656	-0.223	-0.697	-1.419
MA3	0.418	-0.690	0.254	0.100	-0.495
MA4	0.584	-1.646	1.184	-0.732	-1.499
MA5	-0.190	-0.730	-0.495	-0.530	-2.719
MH1	-0.285	0.510	-0.044	-0.766	-0.237
MH2	0.193	0.349	0.264	-1.030	-0.129
MH3	0.869	-0.498	1.352	0.177	1.112
MH4	0.939	-0.574	2.874	-0.134	1.371
MH5	0.292	0.085	0.021	-1.852	0.427

العامل الثاني

يفسر هذا العامل نسبة (15.735%) من مجموع التباين الكي للمتغيرات ويعتبر ثاني اعلى عامل، يوضح هذا العامل تحميلاً موجبا للعناصر واوكسيد الصوديوم ومفقودات الحرق، وتحميلاً سالباً لعنصر الزرنيخ وهذا قد يعزى الى مصادر اكاسيد وهيدروكسيدات الحديد بشكل عام والتي تعد من اهم مكونات التربة الغنية بها والتي تعمل على الاحتفاظ بعنصر As عن طريق عمليات الامتزاز (sorption) وبالتالي فان الزرنيخ يتعمد بصورة رئيسية على محتوى الترب من اكاسيد الحديد (Emeh et al., 2019)، اوقد يكون احلال الزرنيخ محل عنصر الصوديوم على المعادن الطينية بسبب نصف قطره الايوني المتقارب مع الصوديوم فيحدث احلال بينهما (Onishi and Sandell, 1955).



الشكل 12. مخطط يمثل العامل الأول والثاني من المتغيرات في تربة منطقة الدراسة.

العامل الثالث

يوضح العامل الثالث تباينا كليا للمتغيرات بنسبة (11.704%) (الجدول 14)، أذ يظهر تحميلاً موجبا للعناصر الكروم، اوكسيد الحديد، اوكسيد التيتانيوم، والاس الهيدروجيني.

العامل الرابع

يفسر هذا العامل نسبة (6.886%) وهو يوضح تحميلاً سالب لعنصر الكبريت، مما يشير التحميل السلبي للكبريت إلى وجود بطور مستقل.

العامل الخامس

يظهر هذا العامل (6.377%) تحميلاً موجبا لأوكسيد السليكا وتحميلاً سالباً للكوبلت. يوجد أكسيد السيليكا بكثرة في القشرة الأرضية وهو مكون رئيسي للعديد من المعادن. اما، الكوبلت يعتبر معدنًا انتقاليًا ويوجد بشكل طبيعي في معادن مختلفة. يوجد السيليكا عادة في معادن مثل الكوارتز، وقد يتواجد الكوبالت مع معادن معينة.

الاستنتاجات (Conclusions)

1. أظهر التوزيع الحجمي في تربة منطقة الدراسة الى أن الجزء الأكبر من عينات التربة كان من النوع الغريني.
2. ان نتائج الدالة الحامضية (pH) اظهرت بان تربة منطقة الدراسة كانت نوعا ما من قلوية قليلاً الى معتدلة القلوية.
3. ان محتوى المادة العضوية (OM) كانت متباينة من منطقة لأخرى وهذا قد يعزى الى العوامل المختلفة والتي تعزز مدخلات المواد العضوية والاحتفاظ بها وتحللها فيها.
4. اظهر تركيز الاملاح الذائبة الكلية في التربة TDS ارتفاعا في بعض مناطق طمر النفايات الصحية مما قد يودي إلى زيادة تركيزات الأملاح الذائبة الكلية في التربة من خلال إطلاق أيونات مثل الصوديوم والكلوريد والكبريتات مساهمة في زيادة إجمالي الأملاح الذائبة فيها.

5. وجد بان معدل تركيز عنصر الزرنيخ (As) في ترب مناطق الدراسة بانه اقل مما في الخلفية الجيوكيميائية وكذلك ضمن الحدود المسموح بها حسب منظمة الصحة العالمية ووكالة حماية البيئة الامريكية.
6. ان سبب ارتفاع تركيز عنصر الزرنيخ As في بعض المواقع قيد الدراسة ربما يعزى الى حرق الفضلات الطبية والانشطة الزراعية والملوثات النفطية، والتصريفات الصناعية واستخدام الاسمدة والمبيدات الزراعية والكيميائية.
7. ارتفاع معدل تركيز عنصر الزرنيخ كان الأعلى في الجزء الطيني مقارنة بالجزئين الغريني والرملي وذلك ربما يعود الى صغر الحجم الحبيبي وزيادة المساحة السطحية للأطيان وتركزه فيه.

المصادر (References)

Achkir, A., Aouragh, A., El Mahi, M., Labjar, N., Bouch, M. E. L., Ouahidi, M. L., Badza, T., Farhane, H. and Moussaoui, T. E. L., 2023. Implication of sewage sludge increased application rates on soil fertility and heavy metals contamination risk. Emerging Contaminants, 9(1), 100200. doi.org/10.1016/j.emcon.2022.100200.

Adhikari, B. and Khanal, S. N., 2015. Qualitative study of landfill leachate from different ages of landfill sites of various countries including Nepal. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 9(1), 2319–2399. DOI: 10.9790/2402-09132336.

Al-hamdany, A. H., Al-Tawash, B. S. and Al-Jumaily, H. A., 2023. Evaluation of Groundwater Using The Water Quality Index (WQI) In Hawija Area, Kirkuk, Northern Iraq. Iraqi National Journal of Earth Science. DOI: 10.33899/earth.2023.141207.1097.

Al-Hamdany, A. H., Al-Tawash, B. S. and Al-Jumaily1, H. A., 2023. An Environmental Geochemical Assessment of Heavy Metals in Soil of Hawija Area, Kirkuk Governorate, Iraq. Iraqi Geological Journal, 56, 89–109. https://doi.org/10.46717/igj.56.2F.6ms-2023-12-12.

Al-Hamdany, A. H., Al-Tawash, B. S. and Al-Jumaily, H. A., 2025. Hydrochemistry Assessment of Surface and Groundwater Quality Using GIS and a Heavy Metal Pollution Index (HMPI) Model in a Hawija area, Kirkuk, north Iraq. *Iraqi Journal of Science*, *66*(1). https://doi.org/10.24996/ijs.2025.66.1.15

Al-Jumaily, H. A. A., 2016. An Evaluation Performance of Potential Pollution of Arsenic, Chromium and Cadmium in the Road Side Soil of Kirkuk City, Northern Iraq. Journal of Geoscience and Environment Protection, 04(09), 80–94. https://doi.org/10.4236/gep.2016.49007 .

Al-Jumaily, H. A. A. and Alhamdany, A. H., 2018. Geochemical distribution of Cadmium in geological formation (Miocene- Pliocene) Outcropped in Jambur area , Kirkuk Government /Northern IRAQ. Kirkuk University Journal /Scientific Studies, Volume 13, 19. (In Arabic) 10.32894/KUJSS.2018.13.3.23

Al-Jumaily, H. A. A., Mohammad, O. A. M. and Rasheed, B. R., 2020. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Ground and Tap Water of Chamchamal City-Sulaymaniyah Governorate/Kurdistan Region, Iraq. Tik. J. of Pure Sci., 25(5), 62–70. DOI:10.25130/tjps.v25i5.292

Al-Khatony, F. H. A. H., 2014. Geochemistry of Arsenic in Supergene Systems and its environmental significance at mosul and selected area from north of Iraq. University of Mosul.

Al-Obeidi, A. H. and Al-Jumaily, H. A. A., 2020. Geochemistry and environmental assessment of heavy metals in surface soil in Al-Hawija, southwest Kirkuk. The Iraqi Geological Journal, 36–61. https://doi.org/10.46717/igj.53.2E.4Ms-2020-11-26

Alarifi, S. S., El-Sorogy, A. S., Al-kahtany, K. and Hazaea, S. A., 2023. Contamination and health risk assessment of potentially toxic elements in Al-Ammariah agricultural soil, Saudi Arabia. Journal of King Saud University-Science, 35(7), 102826. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102826

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R. and Wang, M.-Q., 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxics, 9(3), 42. https://doi.org/10.3390/toxics9030042

Alloway, B. J., 1995. Soil processes and the behaviour of metals. Heavy Metals in Soils, 13, 3488.

Almeida, C. C., Fontes, M. P. F., Dias, A. C., Pereira, T. T. C. and Ker, J. C., 2020. Adsorption and desorption of arsenic and its immobilization in soils. Scientia Agricola, 78. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0368

Anawar, H. M., Akai, J., Komaki, K., Terao, H., Yoshioka, T., Ishizuka, T., Safiullah, S. and Kato, K., 2003. Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh: sources and mobilization processes. Journal of Geochemical Exploration, 77(2–3), 109–131. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00273-X

Badawy, W., Chepurchenko, O. Y., El Samman, H. and Frontasyeva, M. V., 2016. Assessment of industrial contamination of agricultural soil adjacent to Sadat City, Egypt. Ecological Chemistry and Engineering S, 23(2), 297–310. DOI: https://doi.org/10.1515/eces-2016-0021

Buday, T., 1980. The regional geology of Iraq: stratigraphy and paleogeography (Vol. 1). State Organization for Minerals, Directorate General for Geological Survey ….

Chen, P., Zhang, H.-M., Yao, B.-M., Chen, S.-C., Sun, G.-X. and Zhu, Y.-G., 2020. Bioavailable arsenic and amorphous iron oxides provide reliable predictions for arsenic transfer in soil-wheat system. Journal of Hazardous Materials, 383, 121160. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121160

Custos, J.-M., Moyne, C. and Sterckeman, T., 2020. How root nutrient uptake affects rhizosphere pH: A modelling study. Geoderma, 369, 114314. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114314

de Menezes, M. D., Bispo, F. H. A., Faria, W. M., Gonçalves, M. G. M., Curi, N. and Guilherme, L. R. G., 2020. Modeling arsenic content in Brazilian soils: What is relevant? Science of the Total Environment, 712, 136511. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136511

Díaz-de Alba, M., Galindo-Riano, M. D., Casanueva-Marenco, M. J., García-Vargas, M. and Kosore, C. M., 2011. Assessment of the metal pollution, potential toxicity and speciation of sediment from Algeciras Bay (South of Spain) using chemometric tools. Journal of Hazardous Materials, 190(1–3), 177–187. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.020

Ditzler, C., Scheffe, K. and Monger, H. C., 2017. Soil Science Division Staff. Soil Survey Manual. USDA Handbook; USDA. Natural Resources Conservation Service (NRCS): Washington, DC, USA, 18.

Du, X., Gao, L., Xun, Y. and Feng, L., 2020. Comparison of different sequential extraction procedures to identify and estimate bioavailability of arsenic fractions in soil. Journal of Soils and Sediments, 20, 3656–3668. https://doi.org/10.1007/s11368-020-02694-0

Emeh, C., Igwe, O. and Onwo, E. S., 2019. Potential effect of environmental pollution on the degree of dissolution of iron and aluminium oxides in lateritic soils. Environmental Earth Sciences, 78, 1–15. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8259-3

EPA., 2017. Regional Screening Level (RSL) Summery Table. https://doi.org/https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables-june- 2017.

Feitosa, M. M., Alvarenga, I. F. S., Jara, M. S., de Oliveira Lima, G. J. E., Vilela, F. J., Resende, T. and Guilherme, L. R. G., 2021. Environmental and human-health risks of As in soils with abnormal arsenic levels located in irrigated agricultural areas of Paracatu (MG), Brazil. Ecotoxicology and Environmental Safety, 226, 112869. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112869

Ghasemidehkordi, B., Malekirad, A. A., Nazem, H., Fazilati, M., Salavati, H. and Rezaei, M. 2018. Arsenic and boron levels in irrigation water, soil, and green leafy vegetables. International Journal of Vegetable Science, 24(2), 115–121. https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1356896

Gyamfi, E., Appiah-Adjei, E. K. and Adjei, K. A., 2019. Potential heavy metal pollution of soil and water resources from artisanal mining in Kokoteasua, Ghana. Groundwater for Sustainable Development, 8, 450–456. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.007

Haribowo, R., Asmaranto, R., Kusuma, L. T. W. N. and Amrina, B. G., 2022. Assessment of Mulch Material Effect on Surface Runoff, Soil Loss, and Water Quality in an Agricultural Region. AGRIVITA, Journal of Agricultural Science, 44(3), 459–469. DOI: http://doi.org/10.17503/agrivita.v41i0.3727

Hossain, M. S., Rahman, G. K. M. M., Solaiman, A. R. M., Alam, M. S., Rahman, M. M. and Mia, M. A. B., 2020. Estimating electrical conductivity for soil salinity monitoring using various soil-water ratios depending on soil texture. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51(5), 635–644. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729378

Ismanto, A., Hadibarata, T., Widada, S., Indrayanti, E., Ismunarti, D. H., Safinatunnajah, N., Kusumastuti, W., Dwiningsih, Y. and Alkahtani, J., 2023. Groundwater contamination status in Malaysia: level of heavy metal, source, health impact, and remediation technologies. Bioprocess and Biosystems Engineering, 46(3), 467–482. https://doi.org/10.1007/s00449-022-02826-5

Järup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin, 68(1), 167–182. https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032

Johnston, J. E., Lim, E. and Roh, H., 2019. Impact of upstream oil extraction and environmental public health: A review of the evidence. Science of the Total Environment, 657, 187–199. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.483

Kabata-Pendias, A., 2011. Trace elements in soils and plants/fourth editions. CRC Taylor and Francis Group, Boca Raton, 505.

Kanwar, V. S., Sharma, A., Srivastav, A. L. and Rani, L., 2020. Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review. Environmental Science and Pollution Research, 27, 44835–44860. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10713-3

Karthikeyan1, S., Arumugam, S., Muthumanickam, J., Kulandaisamy, P., Subramanian, M., Annadurai, R., Senapathi, V. and Sekar, S., 2021. Causes of heavy metal contamination in groundwater of Tuticorin industrial block, Tamil Nadu, India. Environmental Science and Pollution Research, 28, 18651–18666. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11704-0

Khalef, R. N., Hassan, A. I. and Saleh, H. M., 2022. Heavy Metal's Environmental Impact.

Khatun, J., Intekhab, A. and Dhak, D., 2022. Effect of uncontrolled fertilization and heavy metal toxicity associated with arsenic (As), lead (Pb) and cadmium (Cd), and possible remediation. Toxicology, 153274. https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153274

Kicińska, A., Pomykała, R. and Izquierdo-Diaz, M., 2022. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils. European Journal of Soil Science, 73(1), e13203. https://doi.org/10.1111/ejss.13203

Kupka, D. and Gruba, P., 2022. Effect of pH on the sorption of dissolved organic carbon derived from six tree species in forest soils. Ecological Indicators, 140, 108975. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108975

Lasota, J., Błońska, E., Łyszczarz, S. and Tibbett, M., 2020. Forest humus type governs heavy metal accumulation in specific organic matter fractions. Water, Air, and Soil Pollution, 231, 1–13. https://doi.org/10.1007/s11270-020-4450-0

Le Maitre, R. W., 2013. Numerical petrology: statistical interpretation of geochemical data. Elsevier.

Liu, P., Hu, W., Tian, K., Huang, B., Zhao, Y., Wang, X., Zhou, Y., Shi, B., Kwon, B.-O. and Choi, K., 2020. Accumulation and ecological risk of heavy metals in soils along the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea: A comparative study of China and South Korea. Environment International, 137, 105519. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105519

Mahmood, Q., Shaheen, S., Bilal, M., Tariq, M., Zeb, B. S., Ullah, Z. and Ali, A., 2019. Chemical pollutants from an industrial estate in Pakistan: a threat to environmental sustainability. Applied Water Science, 9, 1–9. https://doi.org/10.1007/s13201-019-0920-1

Manahan, S., 2017. Environmental chemistry. CRC press.

Miretzky, P. and Cirelli, A. F., 2010. Remediation of arsenic-contaminated soils by iron amendments: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 40(2), 93–115. https://doi.org/10.1080/10643380802202059

Nriagu, V. C. and Obi, E., 2021. The Environment and Health: Implications for Children. University-Led Knowledge and Innovation for Sustainable Development, 88.

Onishi, H. and Sandell, E. B., 1955. Geochemistry of arsenic. Geochimica et Cosmochimica Acta, 7(1–2), 1–33. https://doi.org/10.1016/0016-7037(55)90042-9

Ozturk, A. and Arici, O. K., 2021. Carcinogenic-potential ecological risk assessment of soils and wheat in the eastern region of Konya (Turkey). Environmental Science and Pollution Research, 28(12), 15471–15484. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11697-w

Pazoki, M. and Ghasemzadeh, R., 2020. Municipal landfill leachate management. Springer.

Prüss, A., Giroult, E. and Rushbrook, P., 1999. Safe management of wastes from health-care activities. World Health Organization.

Raju, N. J., 2022. Arsenic in the geo-environment: A review of sources, geochemical processes, toxicity and removal technologies. Environmental Research, 203, 111782. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111782

Reimann, C., Filzmoser, P. and Garrett, R. G., 2002. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. Applied Geochemistry, 17(3), 185–206. https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00066-X

Rueda-Garzón, L. F., Carrillo-Chavez, A., Miranda-Avilés, R., Puy-Alquiza, M. J., Zanor, G., Ramirez-Ramirez, M., Muñoz-Torres, C., Kshirsagar, P., Li, Y. and Liao, X. 2023. Heavy metal and metalloids concentration and mobility in soil leaching into a basin impacted by 500 years of mining in central Mexico: Column experiments and geochemical modeling. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3475332/v1

Sadat Nickayin, S., Egidi, G., Cudlin, P. and Salvati, L., 2023. Investigating metropolitan change through mathematical morphology and a dynamic factor analysis of structural and functional land-use indicators. Scientific Reports, 13(1), 695. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27686-1

Santos, R. de O., Gorgulho, B. M., Castro, M. A. de, Fisberg, R. M., Marchioni, D. M. and Baltar, V. T., 2019. Principal component analysis and factor analysis: Differences and similarities in nutritional epidemiology application. Revista Brasileira de Epidemiologia, 22.

Schulte, P. A. and Chun, H., 2009. Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 6(9), 542–554. https://doi.org/10.1080/15459620903066008

Shen, B., Wang, X., Zhang, Y., Zhang, M., Wang, K., Xie, P. and Ji, H., 2020. The optimum pH and Eh for simultaneously minimizing bioavailable cadmium and arsenic contents in soils under the organic fertilizer application. Science of the Total Environment, 711, 135229. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135229

Shyamala, G., Ramesh, S. and Saravanakumar, N., 2020. Major ion chemistry and groundwater quality evaluation for irrigation. Journal of Applied Sciences andEnvironmental Management, 24(4), 699–705. DOI:10.4314/jasem.v24i4.23

Skrypnik, L., Maslennikov, P., Novikova, A. and Kozhikin, M., 2021. Effect of crude oil on growth, oxidative stress and response of antioxidative system of two rye (Secale cereale L.) varieties. Plants, 10(1), 157. https://doi.org/10.3390/plants10010157

Vishwakarma, Y. K., Tiwari, S., Mohan, D. and Singh, R. S., 2021. A review on health impacts, monitoring and mitigation strategies of arsenic compounds present in air. Cleaner Engineering and Technology, 3, 100115. https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100115

Voltr, V., Menšík, L., Hlisnikovský, L., Hruška, M., Pokorný, E. and Pospíšilová, L., 2021. The soil organic matter in connection with soil properties and soil inputs. Agronomy, 11(4), 779. https://doi.org/10.3390/agronomy11040779

World Health Organization, W., 2021. A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality.

Yang, J., Guo, Z., Jiang, L., Sarkodie, E. K., Li, K., Shi, J., Deng, Y., Zhang, Z., Liu, H., Liang, Y., Yin, H. and Liu, X., 2022. Cadmium, lead and arsenic contamination in an abandoned nonferrous metal smelting site in southern China: Chemical speciation and mobility. Ecotoxicology and Environmental Safety, 239(December 2021), 113617. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv .

Zhang, Q. and Wang, C., 2020. Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review. Water, Air, and Soil Pollution, 231, 1–13. https://doi.org/10.1007/s11270-020-04728-2

Zhou, Y., Niu, L., Liu, K., Yin, S. and Liu, W., 2018. Arsenic in agricultural soils across China: distribution pattern, accumulation trend, influencing factors, and risk assessment. Science of the Total Environment, 616, 156–163. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.232

Zongliang, H., Senlin, T. and Ping, N., 2012. Adsorption of arsenate and arsenite from aqueous solutions by cerium-loaded cation exchange resin. Journal of Rare Earths, 30(6), 563–572. https://doi.org/10.1016/S1002-0721(12)60092-1