European Journal of Agricultural and Rural Education (EJARE)
Available Online at: https://www.scholarzest.com
Vol. 5 No. 03, March 2024
ISSN: 2660-5643

SCIENTIFIC ARTICLE
BIOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH HEAVY METALS

Meiad Mahdi Al ـJaberi
College of Agriculture ـ University of Basrah ـ Soil Sciences and Water Resources
Soil microbiology Iraq
meiadaljaberi@gmail.com

Article history:

Received: 10th January 2024
Accepted: 08th March 2024

Abstract:

Soils in many regions of the world are exposed to pollution with toxic heavy metals as a result of human activity in many fields, especially industrial and agricultural practices, as well as the use of agricultural pesticides and phosphate fertilizers in terms of manufacturing, mining, or disposal of their waste. Human activity in disposing of wastewater and factories waste and their use for agricultural purposes greatly contributes to this problem of pollution when contaminated soil is used to produce food by growing various crops, since it is easy for these elements to enter the food chain when eating these crops, which increases the risks to human health.

Microorganisms are characterized by their high ability to retain heavy elements and reduce their concentrations in complex solutions, as they are an adsorbent for metal ions, because the microbial cells contain effective functional groups responsible for biosorption in several ways, such as ion exchange, complex formation, rearrangement, formation of chelating compounds, and microbial precipitation. This is what encouraged the exploitation of these organisms are used in the biological treatment of contaminated soil to get rid of the harmful effects of heavy metals.

Biological treatment of contaminated soil depends on enhancing the growth of endemic species and increasing their activity because they have the ability to adapt to conditions of contamination with heavy metals. Therefore, there is a need to isolate these tolerant organisms from the pollution sites themselves, as studies have found that the use of natural bacterial isolates has the ability to completely remove most of heavy metals.

OBJECTIVE OF THE ARTICLE:

Given that most agricultural lands are exposed to pollution with heavy metals, and the lack of local studies that are exposed to bioremediation using soil microorganisms and plants, the article aimed to clarify the different methods of bioremediation and the effective role of microorganisms in purifying the soil environment from pollutants and sustaining it by transforming it into clean agricultural soil using natural materials. Safe, environmentally friendly to create sustainable clean farming conditions.

Keywords: heavy metals, bioremediation, microorganisms

مقالة علمية

المعالجة الحيوية للترب الملوثة بالعناصر الثقيلة

ميعاد مهدي الجابري
كلية الزراعة ـ جامعة البصرة ـ علوم التربة والموارد المائية
أحياء التربة المجهرية
العراق
meiadaljaberi@gmail.com

المستخلص:
تتعرض الترب في العديد من مناطق العالم للتلوث بالعناصر الثقيلة السامة نتيجة النشاط البشري في العديد من المجالات لا سيما الصناعية والزراعية فضلاً عن استخدام المبيدات الزراعية والمخصبات الفوسفاتية من حيث التصنيع أو التعدين أو التخلص من مخلفاتها, كما ان النشاط البشري في التخلص من مياه الصرف الصحي والمصانع واستخدامها للأغراض الزراعية كثيراً في مشكلة التلوث هذه عند استخدام التربة الملوثة لإنتاج الغذاء بزراعة المحاصيل المختلفة, إذا نه من السهولة دخول هذه العناصر في السلسلة الغذائية عند تناول تلك المحاصيل مما يزيد المخاطر على صحة الانسان.
تتميز الأحياء المجهرية بقابليتها العالية على احتجاز العناصر الثقيلة وخفض تراكيزها في المحاليل المعقدة كونها مادة مازة للأيونات المعدنية لما تحتويه الخلايا الميكروبية من مجاميع وظيفية فعالة مسؤولة عن الامتزاز الحيوي بعدة أنماط مثل التبادل الأيوني وتكوين المعقدات وإعادة الترتيب وتكوين المركبات المخلبية والترسيب الميكروبي, وهذا ما شجع استغلال تلك الأحياء في المعالجة الحيوية للترب الملوثة للتخلص من الأثر الضار للعناصر الثقيلة.
تعتمد المعالجة الحيوية للترب الملوثة على تعزيز نمو أنواع التجمعات الحيوية المستوطنة وزيادة نشاطها لامتلاكها القابلية على التكيف في ظروف التلوث بالعناصر الثقيلة لذلك فهناك حاجة لعزل هذه الأحياء المتحملة من مواقع التلوث نفسها, إذ توصلت الدراسات إلى ان استعمال العزلات البكتيرية الطبيعية لها القابلية على الازالة التامة لمعظم العناصر الثقيلة.

الهدف من المقالة:
نظراً لتعرض معظم الأراضي الزراعية للتلوث بالعناصر الثقيلة, وقلة الدراسات المحلية التي تتعرض للمعالجة الحيوية باستعمال أحياء التربة المجهرية والنبات, فقد هدفت المقالة الى توضيح الأساليب المختلفة للمعالجة الحيوية والدور الفعال للأحياء المجهرية في تنقية بيئة التربة من الملوثات واستدامتها بتحويلها الى تربة زراعية نظيفة باستعال مواد طبيعي آمنة صديقة للبيئة لخلق ظروف الزراعة النظيفة المستدامة.

الكلمات المفتاحية: العناصر الثقيلة ,المعالجة الحيوية, الأحياء المجهرية.

المقدمة:
يعد تلوث التربة في السنوات الأخيرة من أبرز المشاكل وأكثرها تعقيداً وأصعبها حلا فقد أدى تطور الاقتصاد العالمي الى زيادة التلوث التربة وخاصة التلوث بالمعادن الثقيلة إذ انه عديم اللون والرائحة ومن الصعب ملاحظته, وتقدر الدراسات ان هناك أكثر من 5 ملايين هكتار من الأراضي حول العالم تتجاوز فيها المعادن الخطرة حدودها الحرجة في التربة (Sharma,2021) .فالعناصر الثقيلة هي مواد طبيعية تمتلك عدد ذري أكبر من 20, وتوصف بأن لها كثافة عالية نسبياً (على الأقل 5 غم سم 3) .وتعتبر سامة حتى في تراكيزها الواطئة بسبب ثباتها وسميتها وطول نصف عمرها وامكانية تراكمها الأحيائي (Koller and Saleh., 2018 ; Nath *et al.*, 2019 ;Shenet *et al.,*2017) وتشكل خطرا على التربة والنبات وصحة الأنسان من خلال انتقالها عبر السلسلة الغذائية من دون تغير في خواصها وقد لا تظهر الأضرار الناتجة عنها مباشرة أو بفترات قصيرة, لكن عندما تتغير الظروف البيئية تنشط هذه المعادن في التربة وتسبب أضراراً بيئية خطيرة بما في ذلك انخفاض انشطة انزيمات التربة (Meng *et al* ,2018). و ان المستويات العالية من هذه العناصر تخلق مشاكل بيئية وتؤثر على نمو ونشاط الأحياء المجهرية اذ يمكن ان تتلف أغشية الخلايا وتعطل الوظائف الأنزيمية والخلوية من خلال حجب المواقع الفعالة للانزيمات كما تتلف بنية الحامض النووي الريبوزي (RNA) وترتبط ايضاً بحامض (DNA) وتعطله من خلال تشكيل معقدات مع جزيئات البروتين وجعلها غير نشطة وهذه التأثيرات تعطل غشاء الخلية الميكروبية وتدمر الخلية بأكملها (Nikolova *et al.*, 2022 ; Huang *et al.,*2021).

تعد عناصر Pbو Cdو Znمن أكثر الملوثات الموجودة في ترب ومياه المنطقة, إذ يعد Pb من أهم الملوثات وأكثرها شيوعاً في العالم وان المستويات المرتفعة منه يشكل خطرا كبيرا على صحة الأنسان (Sparks.,2005) وتأتي سميته نتيجة للتغير في تركيب الأحماض النووية وتثبيط البروتين الأنزيمي واضطراب وظائف الجدار الخلوي (Bruins *et al.*,2000) كما أن عنصر Cd من أكثر الملوثات الكيميائية التي يواجهها النظام البيئي بشكل كبير وذلك لطبيعته التراكمية وتأثيراته السمية لكل الكائنات الحية اذ ان تركيزه في البيئة لا يقل وانما يتغير من صورة الى أخرى (Schouw *et al.*, 2002) وهو عنصر غير ضروري في العمليات البيولوجية في كل من الأحياء المجهرية والنبات والحيوان واعتبرته الوكالة العالمية للبحوث السرطانية كمادة مسرطنة للبشر(WHO, 2004).وهو يتجمع بالتربة بسبب استعمال النفايات الصناعية السائلة والأسمدة الفوسفاتية والمبيدات الزراعية, ومما يزيد من خطورة هذا العنصر هو قدرته على تكوين معقدات مع الجزيئات الحيوية (Jarup and Akesson.2009) ويكتسب خواصه السمية من التركيب الكيميائي المشابه للزنك Znالذي هو أحد العناصر الصغرى التي تحتاجها الأحياء المجهرية والنباتات. اذ ينتشر Zn في الطبيعة وهو لا يوجد حراً وانما متحداً مع غيره من العناصر, ويعد من العوامل المختزلة في التفاعلات الكيميائية ويعد من العناصر المفيدة في الطبيعة لكنه عنصر سام في التراكيز المرتفعة عن الحدود الموصى بها على الصحة العامة, وتأتي سميته من تعارضه مع امتصاص العناصر الأساسية خاصة الفسفور والمغنيسيوم والنحاس والحديد (عبد المنعم والتركي. 2012 و 2019 Al- Heety *and Saod,*). وأوضحت الدراسات أن محتوى الأسمدة المستخدمة من الشوائب و المعادن الثقيلة تكون عالية مع ذلك فإن تلوث التربة بالاسمدة يرتبط بالاستخدام الغير سليم وغير المتوازن للتسميد (جدول 1).
الجدول (1) محتوى بعض الاسمدة من المعادن الثقيلة

تركيز الشوائب المعدنية (ppm)					
السماد	زنك	نحاس	نيكل	رصاص	كادميوم
كبريتات الامونيوم	13.5	0.8	13.2	20.5	0.83
نترات الامونيوم	40	12	60	35	5.8
اليوريا	3	0.9	8.3	18.7	1.1
سوبر فوسفات	265	70	114	30	13.5
كبريتات البوتاسيوم	1.3	3.8	44	23	2
سماد القمامة	315	13.5	68	67	4.9
سماد المزرعة	93	11.1	15	13.5	1.2

تنطلق العناصر الثقيلة الى البيئة في العراق من خلال المصادر الطبيعية التي تتأثر بمرور الزمن بالعوامل البيئية التي تؤدي الى انطلاق تلك العناصر بسبب الفعاليات البشرية والصناعية كالعمليات العسكرية وزيادة وسائل النقل وطرح الملوثات الكيميائية من المنشآت الحكومية مثل المستشفيات ومعامل الطاقة الكهربائية وشركات النفط والغاز ومعامل الأسمدة فضلاً عن الري بالمياه الملوثة في المناطق الزراعية (البيضاني وآخرون, 2015). وتعرضت ترب محافظة البصرة جنوبي العراق الى العديد من المصادر التي تطرح العناصر الثقيلة مثل الصناعات النفطية ومصافي الوقود التي تضيف رابع أثيلات الرصاص الى الوقود لغرض تحسينه ورفع العدد الأوكتاني له, الى جانب أهم الموانئ التي تنشط فيها حركة النقل والإنسكابات النفطية فضلاً عن الاستعمال المفرط للأسمدة والمبيدات لغرض زيادة خصوبة التربة والأنتاج كما ونوعا, إضافة لما تعرضت له المنطقة من المتفجرات بسبب الحروب العديدة التي مرت بها خلال السنوات الماضية , إذ وجد خويدم وآخرون (2009) في دراسة أجريت في محافظة البصرة جنوبي العراق ان هناك زيادة في أغلب العناصر الثقيلة (Cr Ni, Cd, Pb,) في مناطق غرب المدينة ويعود ذلك لقربها من المنشآت النفطية وكذلك وجود المناطق الشعبية العشوائية التي لها أثر كبير في زيادة التلوث بهذه العناصر بسبب مخرجات العمليات الصناعية ومخلفات الصرف الصحي والنفايات, وبين وجود زيادة في تراكيز العناصر الثقيلة في وسط المدينة بسبب الحركة الكبيرة لوسائل النقل ولكونها مركزاً تجارياً, وأن نواتج احتراق الوقود تسبب ارتفاع في تركيز العناصر لا سيما الرصاص وهذا يؤثر بدوره في زيادة تراكيز العناصر في الجو ثم تترسب على التربة.

تظهر نتائج الدراسات أن تلوث التربة بالمعادن الثقيلة أصبح قضية محلية وعالمية تتطلب الاهتمام المتزايد بالتربة الملوثة بالمعادن الثقيلة لأنها تؤدي الى تدهور البنية البيئية للتربة ووظيفتها ولها تأثيراً سلبياً في الإنتاجية الزراعية (Saraswat *et al.*, 2020).

تلوث التربة بالعناصر الثقيلة:

عرف تلوث التربة بأنه أي تغير فيزيائي أو كيميائي في التربة يجعلها غير صالحة للاستغلال الزراعي , وقد يكون ذلك نتيجة سوء استغلال الأرض أو نتيجة اهمالها أو بسبب الإضافات الكيميائية لها (Cachada *et* al.,2018). ويمكن تعريف تلوث التربة بالعناصر الثقيلة بأنه تواجد تلك العناصر بكميات غير طبيعية وفوق حدودها الحرجة بسبب الإضافات المختلفة الناتجة عن الأنشطة الصناعية والزراعية والبشرية التي تؤثر على جودة وخصائص التربة والأنشطة الحيوية فيها(Patinha *et al.*,2017).

تتميز العناصر الثقيلة بكتلة ذرية أكبر من 20 وبكثافة عالية نسبياً (أكبر من 5 غم سم ـ3) وتمثل أكبر من خمسة أضعاف كثافة الماء, ومنها الرصاص Pb والنيكل Ni والزئبق Hg والزنك Zn والكادميوم Cd والكروم Cr والزرنيخ As والكوبلت Co والمنغنيز Mn (Jiang *et al.*, 2020). جذبت العناصر الثقيلة اهتمام الباحثين من بين جميع الملوثات بسبب ثباتها في البيئة وسميتها . على مدى العقود القليلة الماضية كانت التربة ملوثة بمواد خطرة سامة منتشرة في جميع أنحاء العالم فهناك أكثر من 20 مليون هكتار من الأراضي ملوثة بالمعادن الثقيلة (Liu *et al.*,2018).

توجد العناصر الثقيلة بشكل طبيعي في التربة بسبب الصفات الوراثية لمادة الأم المتجوية ومع ذلك تعتبر تراكيز هذه العناصر ضئيلة (أقل من 1000 ملغم كغم $^{-1}$) ونادرً ما تكون سامة, وأن المعادن الثقيلة التي توجد في التربة من مصادر بشرية تكون أكثر قابلية على الحركة وبالتالي فهي أكثر جاهزية حيوياً قياساً بالمعادن التي يكون منشأها من المصادر الطبيعية(Abdu *et al.*, 2016), لذلك تكون الأسباب الرئيسية للتلوث بالمعادن الثقيلة في أرجاء مختلفة من العالم هي المصادر البشرية المنشأ نتيجة لظهور التصنيع والتطور التكنولوجي وأصبح مصدر قلق كبير خصوصاً بالترب الزراعية(Wu *et al.*,2020).

أن أهم خاصية تتميز بها العناصر الثقيلة عن الملوثات السامة الأخرى هي أنها غير قابلة للتحلل الحيوي وأكثر مقاومة للتحلل الكيميائي ويعتمد سلوكها في بيئة التربة على العوامل الحيوية وأشكالها الكيميائية وبدرجة أقل على محتواها الكلي في التربة(Aljerf and Choukaife,2018). ويمكن ان يسبب ترسب المعادن الثقيلة المتزايد في التربة الى مشاكل بيئية أخرى بتأثيرها في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة(Toan *et al.*,2022) كما تسبب مشاكل بيئية ثانوية حيث تتراكم المعادن الثقيلة في الحيوانات والأجسام البشرية من خلال السلسلة الغذائية, اذ ان التراكم المفرط في هذه الأنسجة له تأثير خطير وقاتل على الأعضاء البشرية ويؤدي الى الأمراض السرطانية والتشوهات والطفرات الجينية(dutta *et al.*,2020).

وفقاً للعديد من الدراسات أن هناك مخاطر متزايدة للمعادن الثقيلة في التربة تتعلق بخصوبة التربة وجودتها والأنشطة الكيميائية والحيوية متمثلة بنشاط أحياء التربة والانزيمات (Minnikova *et al.*, 2017) , وتمتص النباتات العناصر الثقيلة الموجودة بشكل ذائب في محلول التربة أو التي تذوب نتيجة للأفرازات الجذرية , اذ أن النبات يحتاج كمية محدودة من هذه العناصر لنموه ولكن إذا حصلت زيادة في تركيز هذه العناصر عن حدها الحرج تصبح سامة وتؤثر سلباً كتثبيط انزيمات السيتوبلازم وتلف الجدار الخلوي للنباتات والأحياء نتيجة الإجهاد (Jadia and fulekar, 2009), أما التأثير غير المباشر هو إحلال العناصر الثقيلة محل العناصر الضرورية للنبات على مواقع

التبادل وكذلك تقليل أعداد الكائنات الحية الدقيقة المفيدة بالتربة, وهذا يؤدي الى انخفاض في تحلل المادة العضوية وبالتالي انخفاض المغذيات وبالتالي انخفاض نمو النبات وموته أحياناً(Chibuike and Obira,2014).

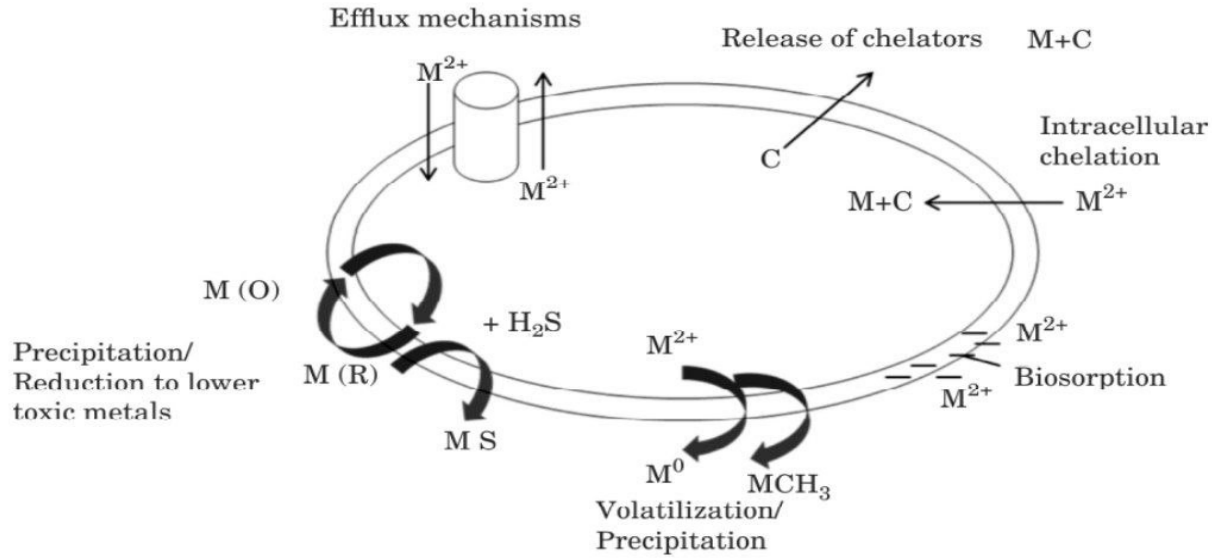
تقنيات معالجة التربة الملوثة بالعناصر الثقيلة:

تعمل تقنيات المعالجة على توفير حل آمن للبشر والبيئة وتعتمد قابليتها للاستخدام على عدة اعتبارات مثل التوفر التجاري وانخفاض التكلفة وفعاليتها على المدى البعيد, كذلك لابد ان يكون انخفاض جاهزية العناصر الثقيلة مساوياً لانخفاض المخاطر الناتجة عنها (Abdelhafeez *et al.*, 2022).

استخدمت طرق مختلفة لإزالة العناصر الثقيلة من التربة مثل الطرق الكيميائية والفيزيائية , وان هذه الطرق تسفر عن نتائج جيدة على المستوى الميداني لكن أهم عيوبها ان آثارها خطيرة من خلال انتاجها لنواتج ثانوية مضرة للبيئة و تكون مكلفة نسبياً وغير مناسبة للمساحات الواسعة من الأراضي, وقد تحتاج الى معالجات أخرى للتخلص من النواتج الثانوية التي تنتجها (Zhao *et al.*, 2022), لذلك تعد المعالجة الحيوية Bioremediation واحدة من أكثر المعالجات أماناً ونظافة وذات فعالية جيدة وتقنية صديقة للبيئة لتطهير المواقع الملوثة وهي كذلك غير مكلفة ولا تنتج مركبات ثانوية سامة, اذ تستخدم مختلف الكائنات الحية مثل البكتريا والخمائر والفطريات والطحالب والنباتات كأدوات رئيسية في معالجة المعادن الثقيلة في البيئة (Hassan *et al.*,2020. Bhatnagar and Kumari, 2013;) وتعد المعالجة الميكروبية أحد أشكال المعالجة الحيوية للتربة الملوثة التي تستخدم الفطريات والبكتريا لزيادة النشاط الحيوي والأنزيمي للتخلص من الملوثات أو الحد من تأثيرها السلبي باستخدام آليات مختلفة مثل الإمتزاز أو الترسيب أو الأكسدة والاختزال لأيونات العناصر الثقيلة بالتربة (Atieh *et al.*,2017).

آليات المعالجة الميكروبية للعناصر الثقيلة:

بعض الكائنات الدقيقة تتمكن من تخليص البيئة من العناصر الثقيلة وتحويل المنتج النهائي الى جزء من عملية التمثيل الغذائي بمساعدة الانزيمات المتخصصة, اذ يتم امتزاز تلك العناصر أو تحويلها الى نواتج منخفضة السمية من خلال النشاط الحيوي لتلك الكائنات الحية الدقيقة (Verma and Kuila,2019). وقد تبين ان ميكروبات التربة تقلل حركة المعادن وجاهزيتها الحيوية من خلال الإمتزاز والتثبيت والترسيب الحيوي (Jayaram *et al.*, 2022). ووجد Kumar *et al.*,(2014) ان العزلات الفطرية والبكتيرية يمكن ان تكون بمثابة مواد حيوية ممتزة للعناصر الثقيلة. ويمكن لميكروبات التربة مقاومة تراكيز المعادن الثقيلة من خلال خمس آليات رئيسة هي الحجز خارج الخلية أو النقل النشط لأيونات المعادن أو العزل خارج الخلايا أو العزل داخل الخلايا أو اختزال أيونات العناصر الثقيلة (Tayang and Songachan,2021).



الشكل

1الآليات المختلفة للمعالجة الحيوية للمعادن الثقيلة بواسطة الميكروبات

تعد المعالجة الحيوية وسيلة فعالة للتحلص من التأثير الضار للعناصر الثقيلة الملوثة للتربة, ويستخدم في هذه العملية البكتريا والفطريات والخمائر والطحالب لتحويل أو خفض مستويات العناصر الثقيلة في التربة أو تحويلها إلى مركبات أقل سمية. يعتمد نجاح هذه العملية على نوعية الكائنات الحية المستخدمة والظروف البيئة المحيطة, ويمكن أن تستغرق وقتاً طويلاً نسبياً لتحقيق نتائج ملموسة, وتتميز المعالجة الميكروبية بالعديد من الإيجابيات مثل انخفاض تكلفتها وعدم حصول التلوث الثانوي وتأثيرها النافع لبيئة التربة, ولكن قد توجد بعض السلبيات فهي تتأثر بالظروف البيئية وتستغرق وقتاً طويلاً في المعالجة اعتماداً على شدة التلوث(Song *et al.*, 2022)

تستخدم عدة تقنيات للمعالجة الحيوية للتربة الملوثة بالعناصر الثقيلة مثل:

1- المعالجة بالجذور النباتية (Phytoremediation): تشمل استخدام النباتات لامتصاص وتجميع العناصر الثقيلة من التربة عبر جذورها وبذلك تساعد في خفض تركيز العناصر الثقيلة الجاهزة في التربة.
2- التقنية الحيوية(Biotechnology): تشمل استخدام الكائنات المعدلة وراثياً أو المطفرة لتحسين قدرتها على إزالة الملوثات الثقيلة. يمكن أن تكون لهذه الكائنات قدرة أفضل على امتصاص أو إزالة العناصر الثقيلة.
3- التنقية الحيوية(Bioleaching): يتم فيه استخدام البكتريا لتفكيك المعادن الملوثة بالعناصر الثقيلة في التربة وتحويلها إلى شكل قابل للذوبان.

4- محسنات التربة(Soil Amendment): يتضمن إضافة الأسمدة العضوية أو الكمبوست إلى التربة الملوثة, الذي يساعد في زيادة تركيز الأحياء المجهرية المهمة في تحليل وتحويل الملوثات.

تستخدم بعض أنواع المعالجة الحيوية للتربة الملوثة بالعناصر الثقيلة, ومن أهمها:

1- المعالجة الميكروبية(Microbial Bioremediation): تتضمن استخدام البكتيريا والطحالب والأشنات البحرية والميكروبات الأخرى لتحويل الملوثات الثقيلة في التربة إلى مركبات غير سامة, ويمكن تحفيز نشاط هذه الميكروبات من خلال إضافة مواد مثل الكربون والنتروجين والفسفور وغيرها من العناصر المغذية.

2- المعالجة الفطرية(Myco-remediation): وتمثل استخدام الفطريات لإزالة الملوثات الثقيلة في التربة أو تحويلها إلى مركبات غير سامة, إذ تمتلك الفطريات القابلية على امتزاز وامتصاص وتجميع العناصر الثقيلة وتحويلها إلى صور أكثر أماناً.

3- المعالجة الجذرية(Rhizoremediation): تعتمد على ارتباط الميكروبات مع الجذور النباتية المحيطة بها لتحويل وتخفيض تركيز الملوثات الثقيلة, تساهم جذور النباتات قي اطلاق مركبات تساعد على تحويل الملوثات إلى مركبات غير سامة.

إذاً المعالجة الحيوية للتربة الملوثة بالعناصر الثقيلة تشمل مجموعة أساليب مختلفة تستند إلى الكائنات الحية لتحسين جودة التربة وتقليل تأثير الملوثات على البيئة والصحة العامة.

جدول2. الامتصاص الحيوي لعنصر الكادميوم و النيكل بواسطة الفطريات

Fungal isolates	Cadmium (%)	Nickel (%)
Aspergillus niger	19.18^{b}	$\mathbf{43.69^{a}}$
Aspergillus flavus	17.00^{c}	42.69^{b}
Penicillium notatum	$\mathbf{38.81^{a}}$	20.00^{c}
Control	1.84^{d}	1.65^{d}

جدول3. الامتصاص الحيوي لعنصر الكروم و النحاس بواسطة البكتريا

Table 2 Bacteria isolates screened for biosorption potential

Bacterial isolates	Chromium (%)	Copper (%)
Bacillus lentus	38.03^{b}	36.33^{b}
Escherichia coli	4.47^{g}	8.63^{f}
Micrococcus roseus	36.56^{c}	20.33^{c}
Enterobacter aerogenes	22.09^{d}	14.87^{e}
Pseudomonas aeruginosa	$\mathbf{45.59^{a}}$	$\mathbf{42.69^{a}}$
Staphylococcus aureus	19.94^{e}	17.28^{d}
Streptococcus species	13.87^{f}	4.86^{g}
Control	0.41^{h}	0.65^{h}

العوامل المؤثرة في المعالجة الحيوية للترب الملوثة بالعناصر الثقيلة:

1- نوع الملوثات الثقيلة وتركيزها: تعتمد الطرق الحيوية على نوع وتركيز الملوثات حيث تختلف كفاءة الكائنات الحية المستخدمة وظروفها المثلى بناءً على ذلك.

2- الظروف البيئية: مثل درجة الحرارة والرطوبة ودرجة تفاعل التربة والتي تؤثر على نجاح العملية الحيوية, إذ تحتاج بعض الكائنات الحية إلى ظروف محددة للعمل بشكل فعال.

3- الكائنات الحية المستخدمة: اختيار صنف النبات أو الكائن المجهري (الفطريات أو البكتيريا) الملائمة يلعب دوراً مهماً في نجاح عملية المعالجة.

الفوائد المحتملة من المعالجة الحيوية:

1- قلة التكلفة والآثار الجانبية: المعالجة الحيوية غالباً ما تكون اقتصادية أكثر وتأثيرها أقل على البيئة قياساً ببعض الطرق التقليدية للتخلص من العناصر الثقيلة.

2- الأستدامة البيئية: تساهم في تحسين جودة التربة وخصوبتها وتعزز التنوع البيولوجي في المنطقة المعالجة.
3- تجديد الأراضي الملوثة: تمكن هذه المعالجة من إعادة استخدام الأراضي الملوثة التي كانت غير صالحة للزراعة أو الاستخدام البشري بسبب التلوث.
4- المحافظة على الصحة العامة: من خلال تقليل انتقال الملوثات إلى المياه الجوفية أو المحيطات والحد من التأثيرات السلبية للصحة العامة.

على الرغم من الفوائد المحتملة, فقد تستغرق عمليات المعالجة الحيوية وقتاً طويلاً لتحقيق نتائج ملموسة وقد تتطلب متابعة دقيقة. لذا يجب تقييم الظروف المحلية واستشارة الخبراء لتحديد أفضل الخيارات المتاحة للتعامل مع التربة الملوثة بالعناصر الثقيلة.

الخطوات العامة لتنفيذ المعالجة الحيوية:

1- **التقييم الأولي:** يتم تحديد نوع الملوثات الثقيلة وتركيزها في التربة وتقدير المساحات المتأثرة بالتلوث.
2- **اختيار الكائنات الحية المناسبة:** يتم اختيار النباتات أو الكائنات الحية المجهرية المناسبة لتنفيذ المعالجة حسب نوع التربة ونوع الملوثات.
3- **تهيئة البيئة:** بتوفير الظروف الملائمة لنمو وفعالية الكائنات الحية, مثل تعديل درجة الحرارة والرطوبة والحموضة إذا كان ذلك ضرورياً.
4- **زراعة النباتات أو التلفيح بالكائنات الحية**.
5- **الرعاية والمتابعة:** يجب رعاية النباتات ومتابعة نمو الكائنات الحية على مدار الوقت للتحقق من نجاح عملية المعالجة.
6- **تقييم النتائج:** يتم تحليل النتائج وقياس تركيز الملوثات بشكل دوري لتقييم فعالية عملية المعالجة.
7- **التعديل والتحسين:** استناداً إلى النتائج والتقييم, يمكن تغيير الإجراءات والظروف لتحسين كفاءة المعالجة.
8- **إعادة تأهيل الأرض:** بعد تحقيق نتائج إيجابية وتقليل تركيز الملوثات, يمكن إعادة استخدام الأرض المعالجة بأمان.

التحديات المحتملة:

- غالباً ما تستغرق المعالجة الحيوية وقتاً طويلاً قد يمتد لعدة سنوات حتى تظهر نتائج ملموسة أطول من خيارات المعالجة الأخرى مثل الحفر أو إزالة التربة أو الحرق.
- يجب التحكم في الظروف البيئية والمراقبة المستمرة لضمان فعالية المعالجة والإزالة.
- صعوبة تحلل وتحويل الملوثات الثقيلة باستخدام العمليات الحيوية.
- قد يكون الحصول على الكائنات الحية الملائمة وتكاثرها بكميات نشطة كافية تحدياً صعباً.
- هناك حاجة الى البحث لتطوير تقنيات المعالجة الحيوية وهندستها لأنواع معقدة من الملوثات المتفاوتة الانتشار في البيئة.

تعتبر المعالجة الحيوية خياراً واعداً للتعامل مع التربة الملوثة بالعناصر الثقيلة وتمثل استدامة الترب الزراعية بأستعمال الموارد الطبيعية المتمثلة بأحياء التربة ولكنها تتطلب تخطيطاً جيداً ومتابعة دقيقة لضمان نجاحها.

المصادر:

البيضاني، عباس حميد محمد وحوراء رمضان يونس وحامد طالب السعد (2015). تقييم التلوث الجيوكيميائي لبعض العناصر الثقيلة في ترب محافظة البصرة. مجلة علوم ذي قار، 5(2): 34-41.
دراسة توزيع بعض العناصر الثقيلة في تربة مدينة البصرة ـ جنوب العراق. المجلة العراقية للعلوم. 50(4): 533 ـ 542.
خويدم، كريم حسين و حبيب رشيد الأنصاري و خلدون صبحي البصام (2009). دراسة توزيع بعض العناصر الثقيلة في تربة مدينة البصرة - جنوب العراق. المجلة العراقية للعلوم، 50(4): 533-542.
عبد المنعم ,عصام محمد و أحمد بن إبراهيم التركي(2012). العناصر الثقيلة مصادرها وأضرارها على البيئة. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي, المملكة العربية السعودية, اصدر مركز الأبحاث الواعدة في المكافحة الحيوية والمعلومات الزراعية, جامعة القصيم, ص 7 ـ 22.

1. **Abdelhafeez, I.A.; S.A. El-Tohamy; M.A. Abdul-Malik; S.A.A. Abdel-Raheem and F.M.S. El-Dars (2022).** A review on green remediation techniques for hydrocarbons and heavy metals contaminated soil. Current Chemistry Letters, 11. 43-62.
2. **Abdu, N.; A.A. Abdullahi and A. Abdulkadir (2016).** Heavy metals and soil microbes. Environ. Chem. Lett.,15:65–84 https://doi.org/10.1007/s10311-016-0587-x
3. **AlHeety, E. and Saod, W, (2019).** Potential ecological risk assessment of heavy metals in Iraqi soils: Case studies. In: Mustafa, Y., Sadkhan, S., Zebari, S., Jaksi, K., (eds) Recent researches in earth and environmental sciences. Springer Proceedings in earth and environmental sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978_3_030_18641_8_6
4. **Aljerf, L. and A.E. Choukaife (2018)**. Review: Assessment of the doable utilisation of dendrochronology as an element tracer technology in soils artifi cially contaminated with heavy metals. Biodiversity International Journal, 2: 1-8. https://tinyurl.com/yc3hkbnl
5. **Atieh MA, Ji Y , Kochkodan V. (2017)**. Metals in the environment: toxic metals removal. Bioinorg Chem. Appl. 1_2. https://tinyurl.com/ycx8ftlm
6. **Bhatnagar, S. and Kumari, R. (2013).** Bioremediation: A Sustainable Tool for Environmental Management ـ A Review. Annual Research and Rwview in Biology. 3,4 (Aug. 2013), 974 ـ 993.
7. **Bruins, M. R., Kapil, S., & Oehme, F. W. (2000).** Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicology and environmental safety*, *45*(3), 198-207.
8. **Cachada, A.; T.A. Rocha-Santos and A.D. Duarte (2018).** Soil and Pollution: An Introduction to the main Issues. pp.1-28. 10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7.
9. **Chibuike, G.U. and S.C. Obiora (2014).** Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. Applied and environmental soil science, 2014: 1–12. doi:10.1155/2014/752708

10. **Dutta, A.; A. Patra; H.S. Jatav; S.S. Jatav; S.K. Singh; Sathyanarayana and P. Singh (2020).** Toxicity of cadmium in soil-plant-human continuum and Its bioremediation techniques. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.94307
11. **Hassan, A.; P. Agamuthu; O. Innocent and F. S. Hamid (2020).** Bioaugmentation assisted mycoremediation of heavy metal and/metalloid landfill contaminated soil using consortia of filamentous fungi. biochemical engineering journal, 157. DOI 107550. 10.1016/j.bej.2020.107550.
12. **Huang, C. C., Liang, CM., Yang, TI.,Chen JL, Wang WK.,(2021).** Shift of bacterial communities in heavy metal ‐ contaminated agricultural land during a remediation process. PLOS ONE 16(7): e0255137. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255137
13. **Jadia, C.D. and M.H. Fulekar (2009).** Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. African Journal of Biotechnology, 8: 921-928.
14. **Järup, L., and Åkesson, A. (2009).** Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and applied pharmacology*, *238*(3), 201-208.
15. **Jayaram S.; P.M. Ayyasamy; K.P. Aishwarya; M.P. Devi and S. Rajakumar (2022).** Mechanism of Microbial detoxification of heavy metals: A review. J. Pure. Appl Microbiol., 16(3):1562-1574. doi: 10.22207/JPAM.16.3.64.
16. **Jiang, L.; Y. Song; L. Sun; C. Song; X. Wang; X. Ma; C. Liu and J. Gao (2020).** Effects of warming on carbon emission and microbial abundances across different soil depths of a peatland in the permafrost region under anaerobic condition. Appl. Soil Ecol., 156: 103712. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103712
17. **Koller, M., and Saleh, H. M. (2018).** Introductory chapter: Introducing heavy metals. *Heavy metals*, *1*, 3-11.
18. **Kumar, R.; P. Singh; B. Dhir; A. K. Sharma and D. Mehta (2014)** Potential of some fungal and bacterial species in bioremediation of heavy metals. J. Nucl. Phys. Mat. Sci. Rad. A, 1: 213 –223.
19. **Liu, L.; W. Li; W. Song and M. Guo (2018).** Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability Science of the Total Environment, 633: 206-219.
20. **Meng, X., Ai, Y., Li, R., & Zhang, W. (2018).** Effects of heavy metal pollution on enzyme activities in railway cut slope soils. *Environmental monitoring and assessment*, *190*, 1-12.
21. **Minnikova, T.; T.V. Denisova; S.S. Mandzhieva; S.L. Kolesnikov; T.M. Minkina, V.A. Chaplygin; M.V. Burachevskaya; S.N. Sushkova and T.V. Bauer (2017).** Assessing the effect of heavy metals from the Novocherkassk power station emissions on the biological activity of soils in the adjacent areas. Journal of Geochemical Exploration, 174: 70-78.
22. **Nath, S., Paul, P., Roy, R., Bhattacharjee, S., & Deb, B. (2019).** Isolation and identification of metal-tolerant and antibiotic-resistant bacteria from soil samples of Cachar district of Assam, India. *SN Applied Sciences*, *1*, 1-9.
23. **Nikolova, R., Petkova, M., Dinev, I., Kenarova, A., Boteva, S., Berov, D. and Radeva, G., (2022).** Correlation between bacterial abundance, soil properties and heavy metal contamination in the area of non‐ferrous metal processing plant, Southern Bulgaria. Biorisk, 17, 19 ‐ 30. https://doi.org/10.3897/biorisk.17.77458
24. **Patinha, C.; M. Armienta; A. Argyraki and N. Durães (2017).** Inorganic pollutants in soils. (pp.127-159)1st Edn. Chapter, 6. Academic Press
25. **Saraswat R.; S. Devesh and Y. Meenakshi (2020).** A review on bioremediation of heavy metals by microbes. International Journal of Advanced Research, 8 (7): 200-210. http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/11281.
26. **Schouw, N. L., Tjell, J. C., Mosbæk, H., & Danteravanich, S. (2002).** Availability and quality of solid waste and wastewater in Southern Thailand and its potential use as fertiliser. *Waste management & research*, *20*(4), 332-340.
27. **Sharma, N., Sodhi, K. K., Kumar, M., & Singh, D. K. (2021).** Heavy metal pollution: Insights into chromium eco-toxicity and recent advancement in its remediation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *15*, 100388.
28. **Shen, F., Liao, R., Ali, A., Mahar, A., Guo, D., Li, R., & Zhang, Z. (2017).** Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in soil near a Pb/Zn smelter in Feng County, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *139*, 254-2**6** **.**
29. **Song, P.; X. Dan; Y. Jingyuan; M. Yuanchen; D. Shujun and F. Jing (2022).** Recent advances in soil remediation technology for heavy metal contaminated sites: A critical review. Science of the Total Environment, Volume 838, Part 3. 156417. 10.1016/j.scitotenv.2022.156417.
30. **Sparks, D. L. (2005).** Toxic metals in the environment: the role of surfaces. *Elements*, *1*(4), 193-197.
31. **Tayang, A. and L. Songachan (2021).** Microbial bioremediation of heavy metals. Current Science. 120(6): 1013-1025. 10 10.18520/cs/v120/i6/1013-1025.
32. **Toan, N.S.; D.H. Hanhl; D.N.T. Phuong; P.T. Thuy; P.D. Dong; N.T. Gia; L.D. Tam; T.T.N. Thu; D.T.V. Thanh; K.S. Khoo and P.L. Show (2022).** Effects of burning rice straw residue on-field on soil organic carbon pools: Environment-friendly approach from a conventional rice paddy in central Viet Nam. Chemosphere, 294, 133596. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133596

33. **Verma, S. and A. Kuila (2019).** Bioremediation of heavy metals by microbial process. Environ. Technol. Innov., 14. Available from: https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100369.
34. **WHO, (2004).** Joint FAO / WHO Expert Standard Programme Codex Limetations Commission. Geneva, Switzerland.
35. **Wu, H.; F. Yang; H. Li; Q. Li; F. Zhang; Y. Ba; L. Cui; L. Sun; T. Lv; N. Wang and J. Zhu (2020).** Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soil near a smelter in an industrial city in China. International Journal of Environmental Health Research, 30(2): 174–186. DOI: 10.1080/09603123.2019.1584666.
36. **Zhao, X. Y. Yang; N. Ning and Z. S. Yang, (2022).** Chemical stabilization of heavy metals in municipal solid waste incineration fly ash: a review. Environmental science and pollution research international, 29(27),40384-40402. https://doi.org/10.1007/s11356-022-19649-2