مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (٩) العدد (٣) ٢٠٢٥

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies –Basic Sciences Series Vol. (9) No. (3) 2025

كفاءة نبات القرّاص *Urtica dioica* في معالجة تربة ملوّثة بالرّصاص والكادميوم

ميسون زياده*

(تاريخ الإيداع ٥/١٠/ ٢٠٢٥ – تاريخ النشر ١٨/١١/ ٢٠٢٥)

□ ملخّص □

تناولت هذه الدّراسة تقييم مقدرة نبات القرّاص على مراكمة الكادميوم والرّصاص، لتحديد كفاءته للاستخدام بالمعالجة النّبتيّة لترب ملوّثة بالرّصاص والكادميوم، بالاعتماد على تجربة أصص تمّ معاملة تربتها بنترات الكادميوم بتراكيز 3– 15 (mg/kg) ونترات الرّصاص بتراكيز 100– 300 (mg/kg)، وبنترات الكادميوم ونترات الرّصاص معاً بتراكيز 3Cd+100Pb– 15Cd +300Pb (mg/kg).

أوضحت نتائج الدراسة الإحصائيّة وجود أثر معنوي لتركيز الرّصاص والكادميوم في التّربة على انخفاض الوزن الرّطب والجافّ للجذور في جميع المعاملات مقارنةً بالشّاهد، كما كان هناك أثر معنويّ لتركيز الرّصاص الكلّيّ والكادميوم الكلّيّ في التّربة على محتوى الجذور والمجموع الخضريّ لنبات القرّاص من كلا المعدنين.

استطاع نبات القرّأص تجميع الكادميوم في جذوره بكميّات أكثر ممّا راكمه في مجموعه الخضريّ، حيث تراوحت كميّات الكادميوم في جذوره بين 12.5- 64.93 (mg/kg)، أي تجاوز الكادميوم في الجذور بكلّ المعاملات المجال الطبيعيّ للكادميوم في النبات، وكانت قيم معامل التركيز الحيويّ BCF > 1، ومعامل التراكم الحيويّ BAC < 1، ومعامل الانتقال TF <1، وقيم عائديّة الاستخلاص للكادميوم SEY % منخفضة حيث نحتاج لحوالي ألف زراعة للقرّاص لمدّة شهرين لتنظيف تربة تركيز الكادميوم الكلّي فيها حتى 15 (mg/kg)، وهو أمر غير منطقي عمليّاً، كل ماسبق يشير إلى أن القرّاص ينجح عند استخدامه بمعالجة تربة ملوّثة بالكادميوم كمثبّت نباتي Phytostabilizer أكثر منه مستخلِص نباتي Phytoextractor ، لحماية المحيط الحيوي من انتقال الكادميوم وخصوصاً مع انعدام قابليته للرّعي وهو أخضر.

لم يُظهر نبات القرّاص كفاءة باستخلاص الرّصاص حيث كانت كلّ معاملات كفاءة المعالجة النّباتية أقلّ من الواحد، وقيم عائديّة الاستخلاص للرّصاص SEY % منخفضة جدّاً ضمن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المستخدمة في البحث الحالي.

الكلمات المفتاحيّة: الاستخلاص النّباتيّ، التّثبيت النّباتي، القرّاص، المعادن الثّقيلة، معامل التّركيز الحيويّ BCF ، معامل التّراكم الحيويّ BAC ، معامل الانتقال TF ، مردود الاستخلاص SEY% .

---

*مشرف على الأعمال –قسم علم الحياة– كليّة العلوم – جامعة طرطوس.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (٩) العدد (٣) ٢٠٢٥

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies –Basic Sciences Series Vol. (9) No. (3) 2025

Efficiency of Nettle (*Urtica dioica*) in the Phytoremediation of Soil Contaminated with Lead and Cadmium

Maissoun Ziadeh*

(Received 5/10/2025.Accepted 18/11/2025)

□ABSTRACT □

This study dealt with evaluating the ability of Nettle *Urtica dioica* to accumulate cadmium and lead in order to determine its efficiency for use in phytoremediation, based on a pot-experiment

The results indicated a significant effect of lead and cadmium concentrations in the soil on the reduction of fresh and dry root weights across all treatments compared to the control. Furthermore, a significant effect of total lead and total cadmium concentrations in the soil was observed on the content of both metals in the roots and shoots.

The nettle plants were able to accumulate cadmium in their roots in higher quantities than in their shoots, with root cadmium concentrations ranging from 12.5 to 64.93 mg/kg. This exceeded the normal range of cadmium in plants. The values for the Bioconcentration Factor (BCF) were >1, while the Bioaccumulation Coefficient (BAC) and Translocation Factor (TF) were <1. The Soil Extraction Yield (SEY%) values for cadmium were low, indicating that approximately one thousand nettle cultivations over a two-month period would be required to clean soil with a total cadmium concentration of up to 15 mg/kg, which is impractical. Collectively, these findings suggest that nettle is more successful as a phytostabilizer rather than a phytoextractor for cadmium-contaminated soils, helping to protect the biosphere from cadmium transfer, especially given that it is not grazed upon while green.

Nettle plants did not demonstrate efficiency in lead extraction, as all phytoremediation efficiency coefficients for lead were less than one. The Soil Extraction Yield (SEY%) values for lead were very low within the specific physio-chemical properties of the soil used in this research.

Keywords: Phytoextraction, Phytostabilization, Nettle, Heavy metals, Bioconcentration Factor (BCF), Bioaccumulation Coefficient (BAC), Translocation Factor (TF), Soil Extraction Yield (SEY%).

---

*Work Supervisor, Department of Biology - Faculty of Science, Tartous University .

1- المقدّمة والدّراسات المرجعيّة

يُعدّ التلوّث بالمعادن الثّقيلة مشكلة بيئيّة خطيرة في العالم حاليّاً، بسبب الانبعاثات الصّناعيّة واستخدام الحمأة أو الرّي بمياه الصّرف الصّحيّ، والاستخدام المفرط للمبيدات الحشريّة والأسمدة، ومخلّفات صناعة صهر المعادن (Chen *et al*., 2011)، وتعدّ المعادن الثّقيلة الخطرة مثل الكادميوم (Cd)، الكروم (Cr)، الزّئبق (Hg)، الزّرنيخ (As)، الرّصاص (Pb)، والزّنك (Zn)، غير قابلة للتّحلل الحيويّ ممّا يجعلها تبقى في البيئة لفترات طويلة، فتصبح التّربة المعرّضة للمعادن الثّقيلة مع الزّمن غير صالحة للزّراعة، وبعض هذه المعادن شديدة السّميّة للإنسان حتى في التراكيز المنخفضة مثل الكادميوم والرّصاص (Bortoloti and Baron, 2022)

تتألف كلمة المعالجة النّباتيّة (*Phytoremediation*) من الجذرين اللاتينيّين *phyto* وتعني نبات، و *remedium* وتعني معالجة الشّر أو إزالته، وتستخدم النّباتات آليّات مختلفة في المعالجة النّبتيّة لتربة ملوّثة بالمعادن الثقيلة، أو لمياه ملوّثة بالمعادن الثقيلة، وهي الاستخلاص النّباتيّ Phytoextraction، التّثبيت النّباتيّ Phytostabilization، ترشيح الجذور Rhizofiltration، التّطاير النّباتي Phytovolatilization، التّحلل النّباتيّ Phytodegradation، (Chandra *et al*., 2020)، وتختلف الطرق المتبعة بكل موقع حسب الهدف من المعالجة ومواصفات الموقع كما يتم اختيار النبات المناسب لكل طريقة، ومن المعروف أن الاستخلاص النباتي الطّريقة الأكثر شيوعاً في المعالجة النّبتيّة، خصوصاً في المناطق التي تحتوي على مستويات منخفضة إلى معتدلة من المعادن الثقيلة، والمطلوب استعادتها كأراضي زراعيّة حيث يتمّ امتصاص الملوّثات المعدنيّة من التّربة عبر جذور النّباتات ثمّ تخزينها بعد ذلك في المجموع الخضريّ (Setia *et al*., 2018)، ثمّ التخلّص منها بالطرق المناسبة والمتوفرة ويعدّ انتاج كتلة حية كبيرة ومعدّل النّمو السّريع هما السّمتان الرئيسيتان في المعالجة النّباتيّة (Anjum *et al*., 2012, Nungula *et al*., 2024)، بالإضافة لقدرة النّبات على امتصاص كميّات عالية من المعدن لذلك تستخدم بهذه الطريقة النّباتات فائقة المُراكَمة للمعادن Metal Hyperaccumulators Plants، وهي نباتات قادرة على تجميع ما لا يقل عن 0.1٪ من الوزن الجافّ للأوراق من أيّ معدن ثقيل (Bortoloti and Baron, 2022)، أوتُعدّ النّباتات فائقة المُراكمة عندما يتم مراكمة المعادن في الأوراق بتراكيز أكبر من

ppm 10000 < Mn, Zn ،ppm 1000 < Co, Cu, Ni, Pb ، ppm 100 < Cd

(Kabata-Pendias and Pendias, 2001, Dar *et al*., 2015)، في حين تُستخدم النّباتات المُستبعِدة Metal Excluders Plants، بعملية التثبيت النّباتي حيث تمتص هذه النّباتات المعادن في الجذور وتتجنّب نقلها ومُراكمتها بالمجموع الخضريّ، وتتمتّع المُستبعِدات بإمكانيّة منخفضة لاستخلاص المعادن، والهدف من استخدامها تثبيت التّربة وتجنّب انتشار المزيد من التلوّث بسبب التّعرية، وحماية المياه الجوفيّة من التّلوّث (Chandra *et al*., 2020).

المعالجة النباتية طريقة صديقة للبيئة واقتصاديّة من حيث التّكلفة، ويمكن تطبيقها على مناطق واسعة ولكن لها بعض العيوب، منها أنّ معظم النّباتات فائقة المراكمة تكون أعشاب ذات كتلة حيوية صغيرة ممّا يجعل المعالجة النباتية بطيئة جدّا، وتستغرق عدة سنوات، أو حتى عقود، لخفض مستويات التلوث بالمعادن في التربة إلى النصف (Chen *et al*., 2011, Raz *et al*., 2020) ، وتنجح عمليّة المعالجة النّباتيّة

في المواقع ضعيفة إلى متوسّطة التّلوّث، وغير مناسبة للمواقع عالية التّلوّث (Thangavel and Subbhuraam, 2004) .

تنتمي النّباتات المستخدمة في المعالجة النّباتيّة إلى عدّة عائلات نباتية، مثل Brassicaceae, Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Chenopodiaceae (Amin *et al*, 2018) ، حيث تمّ تصنيف أكثر من 500 نوع نباتي تنتمي لـ 101 فصيلة كنباتات فائقة المراكمة للمعادن الثّقيلة (Sarma, 2011).

ويوضح الجدول (1) الحدود المسموحة لمعدني الكادميوم والرصاص في التّربة الزّراعية، والمدى الطّبيعي لهما في النباتات، ومتى تصل تراكيزهما لإحداث تأثيرات سميّة وخلل في العمليّات الفيزيولوجيّة، ويعزى التّباين الكبير بين الدّراسات المرجعيّة في التراكيز الحدّيّة لكلّ من الكادميوم والرّصاص بالنّباتات تحديداً إلى الاختلافات الجينيّة بين الأنواع النّباتيّة من حيث قدرتها على امتصاص ومراكمة المعادن الثقيلة وكذلك تحمّل سمّيّتها(Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

الجدول (1): المدى الطبيعي للكادميوم والرّصاص في التّربة والعتبة المسموحة بالتّرب الزّراعية (mg/kg)، والتّراكيز الطبيعيّة والحدود الحرجة السّامة للكادميوم والرّصاص في النّبات (mg/kg) وزن جافّ

	المدى الطبيعي في التربة	العتبة المسموحة للترب الزراعية	المدى الطبيعي في النّبات	المدى الحرج السّام للنّبات	Ref
Pb	[1]10- 67	[1]100	[3] 5-10 [2], [4] 0.2-20	[2],[3]30-300 [1]100-500	[1](Kabata- Pendias and Pendias, 2001) [2](Ramadan, 2003) [3](Prasad *et al*., 2006) [4](Qunshan Wei et al., 2020)
d	[1]0.1-1	[1]1-3	[2],[3],[4] 0.1-2.4	[2],[3]5-30 [1]5-10 , 10-20	

إنّ حركة الرّصاص في التّربة هي الأقل بين جميع المعادن الثقيلة، وتعدّ حركة الرّصاص في النّباتات منخفضة نسبيّاً، ومعظم الرصاص الذي تمتصه النباتات يتجمّع في الجذور ويتم نقل كميّة صغيرة فقط إلى البراعم، حيث ترتبط الفيتوشيلاتين (الممخلبات النّباتيّة) Phytochelatin بأيونات Pb مما يؤدي إلى عزل أيونات Pb في جذور النباتات، بشكلٍ عامّ يوجد الرّصاص في التّربة كأملاح في أشكال قابلة للذوبان وغير قابلة للذوبان، ومن المعروف أنّ تلوّث التربة بالرّصاص يعيق ويثبّط إنبات البذور وذلك بحسب Meyers *et al*., (2008) و Anjum *et al*., (2012) ، وهذا ما أثبته Kaur, (2018) حيث لاحظ انخفاضاً في إنبات بذور الخردل الهندي عند نموّه في تربة ملوّثة بالرّصاص وقام بتجميع الرّصاص في الأجزاء الجذريّة والخضريّة.

الكادميوم معدن سام جدّاً قد يسبّب مشاكل خطيرة للإنسان عندما يتمّ استخدام التربة الملوثة بالكادميوم لزراعة المحاصيل، لأنّه ينتقل بسهولة من التّربة إلى السّلسلة الغذائية، ويعتبر الرّقم الهيدروجيني للتّربة مهمّاً بشكل خاص لأنّه يتحكم في قابلية ذوبان الكادميوم وحركته في التربة، فيزداد ذوبانه وتوافره الحيويّ بشكل ملحوظ في الوسط الحمضيّ عندما الـpH أقلّ من 6.5 بينما يترسّب في الوسط المتعادل إلى القلوي(Kabata-Pendias and Pendias, 2001, Chen *et al*., 2011)، ويحتلّ الكادميوم المرتبة السّابعة بين العشرين مادّة الأكثر سميّة في العالم نظراً لذوبانه العالي في الماء وسمّيته العالية (Kumar *et al*., 2019)، ومن الأمور الّتي تثير القلق بشكل أساسيّ انتقال الكادميوم من الخضراوات إلى جسم الإنسان، لأنّ الخضراوات تساهم بنسبة ≤ 70 % من كمّية الكادميوم التي يتناولها الإنسان (Sarwar *et al*., 2010).

وأظهرت دراسة زياده (2024) كفاءة بعض نباتات الفصيلة الصليبية بمعالجة تربة – خصائصها تماثل تربة البحث الحالي – وملوثة بالكادميوم، حيث استطاعت كلّ النّباتات المدروسة نقفل الكادميوم بكميّات مرتفعة

نحو المجموع الخضريّ، وقد تفوّق الجرجير على كل من الخردل الأسود والفجل حيث كانت قيم معاملات تقييم كفاءة معالجة التربة من الكادميوم للجرجير BCF وBAC وTF >1، في حين امتلك الخردل الأسود والفجل قيم معاملات BAC و TF >1.

أثبت نبات القرّاص كفاءة بالمعالجة النّباتية بامتصاص الرّصاص والكادميوم من التربة، حيث تتركز المعادن في الجذور ثم تنتقل جزئياً إلى الأوراق (Sharma *et al*., 2020)، وسجّل القراص تراكماً للكادميوم بنسبة أعلى بعشر مرات من النّباتات المحيطة به في الموقع المدروس (Maleva *et al*., 2012)، كما أزال نبات القراص حوالي 8% من كلّ من الزّنك والرّصاص والكادميوم بعد أربعة أشهر زراعة في تربة ملوثة (Victorova *et al*., 2017) .

2- أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية هذه الدراسة من زيادة تلوث البيئة بالمعادن الثقيلة نتيجة نشاطات الإنسان وبسبب كون التربة المدخل الأساسي للمعادن الثقيلة نحو السلسلة الغذائية فإنّ تلوثها يُشكّل خطورة على صحة الإنسان، والبحث هو تتِمّة لدراساتٍ سابقة في سورية أثبتت وجود عدّة مناطق تتجاوز الحدود المسموحة من بعض المعادن الثقيلة، فقد أشارت نتائج بحث أُجري في مكبّ البصّة إلى تجاوز كل من الرّصاص، الكادميوم، والنّيكل، الحدود المسموح بها عالمياً في الأراضي الزّراعيّة (الجبيلي، 2006)، وعند تقييم كميّة عدد من المعادن الثقيلة وفي التّرب المحيطة بمصفاة بانياس من قبل إبراهيم (2014) وجد أنّ كميّة الرّصاص في التّربة لم تتجاوز الحدّ المسموح من الرّصاص للتّرب الزّراعيّة، في حين تجاوز الكادميوم الحدّ المسموح له، وفي دراسة أخرى أكدّ خليل وآخرون (2024) أنّ مصدر تلوّث التّرب السطحيّة بالرّصاص والكادميوم والنّيكل في مدينة بانياس يعود إلى المنشآت الصّناعيّة و حركة المواصلات، وفي دراسة أجريت على 88 بيت بلاستيكي في محافظة طرطوس، وجد أنّ 91.13% من هذه البيوت قد تجاوز فيها معدن الكادميوم الكميّة المسموحة في التّرب الزّراعيّة (درغام وآخرون، 2021)، ومن كل هذه الدّراسات نستنتج مدى الحاجة طريقة صديقة للبيئة وغير مكلفة اقتصادياً للتخلّص منها وهذا ما تقدّمه المعالجة النّباتيّة.

ويهدف البحث إلى تقييم كفاءة نبات القرّاص في معالجة التربة الملوثة بعنصري الكادميوم والرصاص وتوزعهما في الأجزاء النّباتيّة (جذور – مجموع خضريّ) لنبات القرّاص الّذي ينمو فوق ترب ملوّثة، لتحديد أيّ الأجزاء النّباتيّة هو الأكثر فاعليّة بمراكمة الملوِّث، ثمّ تقييم كفاءة نبات القرّاص في المعالجة النّباتيّة.

3- موادّ البحث وطرائقه

نُفّذ هذا البحث بين أيلول 2021 وتشرين الأوّل 2022 م في طرطوس، وأجريت التّحاليل في مخابر كليّة الزّراعة جامعة اللاذقية، ومخابر كليّة العلوم جامعة طرطوس، والمعهد العالي لبحوث البيئة جامعة اللاذقية.

3-1. تحضير عيّنات التربة والنبات

3-1-1. أخذ عيّنات التّربة والتّحليل الأوليّ

تمّ جمع التّربة من الطبقة السطحيّة من أرض زراعيّة بعيدة عن أوتوستراد طرطوس- لبنان باتجاه الغرب في منطقة المنطار من ريف محافظة طرطوس، وقد أثبت تحليل التّربة وجود الرّصاص والكادميوم ضمن قيم مقبولة للتربة حيث كان التّركيز الكلّي للرصاص 0.48 (mg/kg)، والتّركيز الكلّي للكادميوم 0.035

(mg/kg) (الجدول2)، جُمعت التربة على عمق 10 سم، تُركت لتجفّ هوائيّاً لمدة يومين، ثمّ تمّ نخلها بمنخل ٢مم، ثمّ خلطها جيّدا وأخذ حوالي ١كغ لإجراء التحاليل الأساسية على التربة، ويوضح الجدول رقم (2) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة، حيث تمّ تحديد قوام التّربة بطريقة الهيدروميتر(Bouyoucos (1962، وتقدير المادّة العضويّة باستخدام طريقة الاكسدة مع ثاني كرومات البوتاسيوم وحمض الكبريت Walkly and Black (1934)، والسّعة التّبادليّة الكاتيونيّة بطريقة خلّات الأمونيوم وخلّات الصّوديوم(1965) Chapman ، وتقدير كربونات الكالسيوم الكليّة بطريقة المعايرة الحجمية Gupta (2000) ، كما تمّ قياس درجة الحموضة والنّاقلية الكهربائيّة ضمن مستخلص **5:1** (تربة: ماء مقطّر)، وتقدير التركيز الكليّ لعنصري الرّصاص والكادميوم بالتّربة بالهضم بالماء الملكي (Soltanpour and Workman, 1979).

الجدول (2) بعض خصائص التّربة المستخدمة في تجربة الأصص

خصائص التّربة	
قوام التّربة	طينيّة رمليّة
نسبة الطّين %	40
نسبة السّلت %	14
نسبة الرّمل %	46
السّعة التّبادليّة الكاتيونيّة ميللمكافئ/100غ	36.85
المادّة العضويّة %	2.72
درجة الحموضة 5:1 (تربة: ماء)	7.11
النّاقلية الكهربائيّة ميلليموس/سم 5:1 (تربة: ماء)	0.35
كربونات الكالسيوم الكليّة%	8.41
كربونات الكالسيوم الفعّالة%	2.73
تركيز الرّصاص (mg/kg)	0.48
تركيز الكادميوم (mg/kg)	0.035

3-1 -2. تحضير الأصص ومعاملة تربتها بالكادميوم والرّصاص

تمّ اختيار تراكيز المعادن في التّربة بالاعتماد على العتبة الحديّة المسموحة بالتّرب الزّراعية (الجدول1)، لذلك ابتدأت التراكيز للكادميوم من 3 (mg/kg)، وللرصاص من 100 (mg/kg)، وتمّت معاملة كل أصيص (2 كغ تربة) بمحلول يحتوي نترات الرّصاص أو نترات الكادميوم أو الاثنين معاً، بعد تحضير محلول أمّ للكادميوم 3 مغ Cd/ مل، ومحلول أمّ للرصاص 50 مغ Pb /مل، وتمّت معاملة كل أصيص بما يتناسب مع تركيز الكادميوم أو الرصاص أو الاثنين معاً المطلوب في التربة، فمثلاً لتحضير أصيص تربته فيها 100 مغ رصاص /كغ تربة أخذنا 4 مل من المحلول الأمّ للرصاص 50 مغ Pb /مل، ومُدّدت بحوالي 100مل ماء مقطّر وتمّ وضعها في علبة رذاذ ورشّها على 2 كغ تربة جافّة هوائيّاً، مع الفرك جيّداً لتتوزع الكمية

على معظم حبيبات التّربة، ولتحضير أصيص تربته فيها 3 مغ كادميوم /كغ تربة تمّ أخذ 2 مل من محلول الكادميوم 3 مغ Cd/مل، ومُدّدت بحوالي 100مل ماء مقطّر وتمّ رشّها على 2 كغ تربة جافّة هوائيّاً، مع الفرك جيّداً لتتوزع الكمية على معظم حبيبات التّربة، ولتحضير أصيص المعاملة الأولى للرّصاص والكادميوم معاً Pb1 + Cd1 تمّ رش 2 كغ تربة جافّة هوائيّاً ب4 مل من المحلول الأمّ للرّصاص +2 مل من المحلول الأم للكادميوم الممددين بالماء المقطّر لضمان توزعهما جيّداً على كامل تربة الأصيص .... وهكذا، لتكون المعاملات التّجريبية كما هو موضّح:

الجدول(٣): المعاملات التجريبية

الشاهدPb0 + Cd0 بدون معاملة.		
Cd1 بتركيز 3 (mg/kg) كادميوم.	Pb1 بتركيز 100 (mg/kg) رصاص.	Cd1 + Pb1 بتركيز 3 (mg/kg) كادميوم +100 (mg/kg) رصاص.
Cd2 بتركيز 15 (mg/kg) كادميوم.	Pb2 بتركيز 300 (mg/kg) رصاص.	Cd2 + Pb2 بتركيز 15 (mg/kg) كادميوم +300 (mg/kg) رصاص.

تمّ ملء الـ21 أصيص، بـ 2 كغ تربة جافة هوائياً لكلّ أصيص، وحُضّنت المعادن مع التّربة لمدّة 15 يوم، مع المحافظة على التربة رطبة للسماح لأملاح الكادميوم والرّصاص بالتّوزع بين مكوّنات التّربة، عن طريق ري الأصص لأوّل مرّة بالماء المقطّر حتّى السّعة الحقلية ثمّ الرّي ب 200 مل من الماء بمعدل مرة كل يوم أو كل يومين حسب جفاف التّربة، مع إعادة المياه الراشحة للأصيص مرّة ثانية، خُفّفت النّباتات إلى نباتين في كل أصيص، وتمّ الحصاد بعد شهرين من الزّراعة في 15/ 1/ 2022م.

3-1-3. تحضير العيّنات النّباتيّة

غُسِلت النّباتات بالماء عدّة مرّات بعد الحصاد، ثمّ تمّ فصل الجذور عن المجموع الخضري، وقياس الوزن الرّطب ثمّ الجافّ، حيث جُفّفت العيّنات على درجة حرارة 80°م لمدّة 16 ساعة وأكثر حتّى ثبات الوزن، ثمّ تمّ طحن العيّنات المجفّفة للجذور والمجموع الخضري بمطحنة كهربائيّة، ونخلها بمنخل 1مم، والاحتفاظ بها بعبوات بلاستيكيّة محكمة الإغلاق.

تمّ هضم العيّنات النّباتيّة باستخدام حمض الآزوت المركّز، وذلك بوضع 0.5غ من العيّنة النباتيّة المطحونة والمجفّفة قي أنبوب اختبار، وأضيف لها 5 مل HNO3 65%، وتُركت حتّى اليوم التّالي، ثمّ وضعت قي حمام مائي لمدّة ساعتين حتّى يصبح المُستخلص شفاف أو باهت اللّون، وبعد أن تبرد نقلت إلى أرلنماير، وتمّ إكمال الحجم حتّى 50 مل بالماء المقطّر (Gupta, (2000، ثمّ تمّ تقدير الكادميوم والرصاص الكليّين في المستخلصات باستخدام جهاز الامتصاص الذريShimadzu AA -6800، في المعهد العالي لبحوث البيئة في جامعة اللاذقية.

3- 2. مؤشّر التحمّل Tolerence Index (TI)

يُعبَّر مؤشر التحمّل (TI) عن النّسبة بين قياسات النّمو (طول الجذر، طول المجموع الخضري أو الأوراق، الوزن الرّطب والجافّ للجذور، الوزن الرّطب والجافّ للأوراق) للنّباتات في التّربة الملوّثة إلى القياسات في تربة الشّاهد غير الملوّثة(Amin et al, 2018, Chen et al, 2011)

$$\text{Tolerance index} = \frac{\text{(مؤشّر النمو) لنبات ينمو في تربة ملوثة}}{\text{(مؤشر النمو) لنبات ينمو في تربة الشّاهد}} \quad (1)$$

3-3. كفاءة النّبات في استخلاص المعادن

3-3-1. معاملات كفاءة المعالجة النّباتيّة

تمّ حساب كل من معامل التّركيز الحيويّ Bioconcentration Factor (BCF)، معامل التّراكم الحيوي Bioaccumulation Coefficient(BAC)، ومعامل الانتقال Transfer Factor (TF) لتقييم كفاءة القرّاص بالمعالجة النّباتيّة، وفق المعادلات الموضّحة: (AMIN *et al*., 2018, Malik *et al.*, 2010, Yoon *et al.*, 2006)

$$BCF = \frac{\text{تركيز المعدن في الجذور}}{\text{تركيز المعدن الكلي في التربة}} \quad (2) \qquad BAC = \frac{\text{تركيز المعدن في المجموع الخضري}}{\text{تركيز المعدن الكلي في التربة}} \quad (3)$$

$$TF = \frac{\text{تركيز المعدن في المجموع الخضري}}{\text{تركيز المعدن في الجذور}} \quad (4)$$

3-3-2. النّسبة المئويّة لمردود الاستخلاص لمعدن The specific extraction yield percentage (SEY%)

يُحسب مردود استخلاص النّبات لمعدن ما من حساب النسبة المئويّة لمحتوى المعدن في النّبات إلى تركيز المعدن الكلّي في التربة: (Audet and Charest, 2006, Audet and Charest, 2007)

$$SEY\% = \frac{\text{محتوى المعدن في الجذور + محتوى المعدن في المجموع الخضري}}{\text{تركيز المعدن الكلّي في التربة}} * 100 \quad (5)$$

حيث يتمّ حساب محتوى المعدن في النّبات = (تركيز المعدن بالجذور مغ/غ * الوزن الجاف للجذور) + (تركيز المعدن بالمجموع الخضري مغ/غ * الوزن الجاف للمجموع الخضري)

3-4. تقدير بعض الأشكال الكيميائيّة للكادميوم والرّصاص في التربة (Soltanpour and Workman, 1979)

تمّ اعتماد تحليل التجزئة على التوازي Parallel fractionation، أي كل مرة نستخدم عينة جديدة، حيث تمّ تقدير المستخلص بنترات المغنزيوم (وهو يُمثّل المتاح للنبات من المعدن أي الشكلين الذّائب والمتبادل للمعدن معاً)، كما تمّ تقدير المستخلص بماءات الصوديوم (وهو يُمثّل المتاح للنبات من المعدن مع مرور الوقت اللازم لتحلل المادّة العضوية – وذلك باعتبار أنّ المعالجة النباتية قد تستغرق عدّة سنوات– أي يحتوي المستخلص الأشكال التّالية للمعدن: الذائب والمتبادل والمرتبط بالمادة العضوية)، وتمّ الاستخلاص بالطرق التّالية:

3-4-1. تقدير المستخلص بنترات المغنزيوم: وضعنا 10غ من التّربة الجافّة هوائيّاً في دورق ثمّ أضفنا 50 مل من نترات المغنزيوم $Mg(NO_3)_2$ (1N)، بعد الخضّ لمدّة ساعتين قمنا بالتّرشيح وأكملنا الحجم بالماء المقطّر حتى 50 مل.

3-4-2. تقدير المستخلص بماءات الصوديوم: وضعنا 10غ من التّربة الجافّة هوائيّاً في دورق ثمّ أضفنا 50 مل من ماءات الصّوديوم NaOH (1N)، بعد الخضّ لمدّة نصف ساعة قمنا بالتّرشيح وأكملنا الحجم بالماء المقطّر حتى 50 مل، تمّت إضافة 0.3 مل من حمض الآزوت (1n) لكل عيّنة بعد ترشيحها لمنع إعادة ارتباط العناصر بالمركبات العضويّة الذّائبة.

3-4-3. تقدير الكلّي: تمّ هضم 1غ تربة بالماء الملكيّ (7 مل HCl 37% + 2.5 مل HNO3 65%)، حيث تمّ نقع العيّنة بالماء الملكي لمدة 24 ساعة، وبعد ترك المزيج لليوم الثاني يتم تسخين العينات ورفع حرارتها حتّى 175°م خلال ساعة ونصف، وتترك على هذه الحرارة لمدّة ساعتين، ثمّ تترك لتبرد ويُكمل

الحجم إلى 50 مل بالماء المقطر، ثمّ تمّ تقدير الكادميوم في المستخلصات باستخدام جهاز الامتصاص الذري Shimadzu AA -6800.

3-5. التحليل الإحصائيّ

تمّ إجراء التّحاليل الإحصائيّة باستخدام برنامج (Statistic program for social science SPSS)، باستخدام ANOVA، وتطبيق معامل Duncan لحساب الفروق بين المتوسطات، وتمّ حساب معامل الارتباط بواسطة Excel.

4- النّتائج والمناقشة

4-1. الوزن الرّطب والجافّ للمجموع الخضريّ والجذور لنبات القراص

يتبيّن من الجدول(4)، ومن نتائج التّحليل الإحصائيّ تفوّق الشّاهد بالوزن الرّطب للمجموع الخضريّ على كافّة المعاملات ولكن هذا التّراجع لم يكن معنوياً حيث $p>0.05$، في حين كان تراجع الوزن الجافّ للمجموع الخضري عن الشّاهد معنوياً حيث $p<0.05$، وتراوح الوزن الجاف للمجموع الخضري بين 1.81- 3.1 (g) مقابل المعاملة Pb2 ومعاملة الشّاهد، وكان التّراجع الأكبرعن الشّاهد يقابل معاملة التربة بالرّصاص بالتركيز الأعلى عند دراسة الفروقات بين المتوسّطات، أمّا بالنّسبة للوزن الرطب والجافّ للجذور فنلاحظ من الجدول (4) تراوح الوزن الرّطب بين 1.85- 4.11 (g)، والوزن الجافّ بين 0.14- 0.27 (g)، بما يتوافق مع المعاملاتPb2 والشّاهد، وقد تفوّق كلا الوزنيين الرّطب والجافّ للجذور للشّاهد معنويّاً على بقيّة المعاملات.

الجدول (4) بعض المؤشرات الحيوية لنبات القرّاص

المعاملات المدروسة	الوزن الرّطب للمجموع الخضري g	الوزن الجافّ للمجموع الخضري g	الوزن الرّطب للجذور g	الوزن الجافّ للجذور g
شاهد	17.77±0.62	$3.1±0.37^{a}$	$4.11±0.71^{a}$	$0.27±0.049^{a}$
Cd1	16.14±1.43	$2.57±1.44^{abc}$	$3.75±0.7^{ab}$	$0.19±0.05^{b}$
Cd2	13.9±1.9	$2.26±0.56^{abc}$	$3.74±0.18^{ab}$	$0.17±0.021^{bc}$
Pb1	14.27 ±2.8	$2.05±0.66^{bc}$	$2.54±0.3^{cd}$	$0.19±0.015^{bc}$
Pb2	13.05±2.63	$1.81±0.12^{c}$	$1.85±0.43^{d}$	$0.14±0.041^{c}$
Cd1+Pb1	16.77±1.29	$2.91±0.56^{abc}$	$2.96±0.71^{bc}$	$0.21±0.04^{ab}$
Cd2+Pb2	15.01±3.11	$2.51±0.55^{ab}$	$2.4±0.26^{cd}$	$0.19±0.02^{bc}$
P	0.119	0.048	0.001	0.012

- P مستوى المعنوية ٠,٠٥ .
- a, b, c, d سويات الفروق المعنوية بين المتوسطات عند درجة ثقة 95 %

4-2. تحديد مؤشر التحمّل Tolerance Index (TI)

وفقًا لـ Audet and Charest, 2007 ، إذا كانت قيم TI أقل من 1، فهذا يشير إلى أن النّبات عانى من الإجهاد بسبب التلوث المعدني مع انخفاض صاف في الكتلة الحيوية، وعلى النقيض من ذلك، إذا كانت قيم TI أكبر من 1، فاقترح أن النباتات قد طورت تحمل مع زيادة صافية في الكتلة الحيوية (تراكم مفرط)، وإذا كانت قيم TI تساوي 1، فإن النبات لا يتأثر بالتلوث المعدني، (Audet and Charest, 2007).

وبتطبيق معادلة مؤشّر التّحمل (1) على قراءات المؤشّرات الحيوية لنبات القرّاص من الجدول (4)، نلاحظ أنّ كلّ قيم مؤشّر التّحمل أصغر من واحد كما هو موضّح في (الجدول 5)، فمثلاً كانت قيم

مؤشّر التّحمل للوزن الجافّ للجذور تتراوح بين 0.52− 0.78 ، أي أنّ التّراجع في الوزن الجافّ للجذور عن الشّاهد كان بين 22% و48%، بما يتوافق مع المعاملتين Cd1+Pb1 و Pb2، على التّوالي، في حين تراجع الوزن الجافّ للمجموع الخضريّ بين 6% و42% بنفس المعاملتين السابقتين، إذاً نستطيع أن نقول تراجعت الكتلة الحيّة الجافّة للقرّاص بشكل معنويّ حسب الجدول(٤)، وأظهرت الجذور تأثّراً أكبر من المجموع الخضريّ عند تعرّضها للرّصاص، وهو ما يتوافق مع ما ذُكر في دراسة Pantola and Alam (2014) بأنّ تثبيط معدّل النمو هو ردّ فعل النّبات الأكثر وضوحاً على إجهاد المعادن الثّقيلة، وهذا ينطبق بشكلٍ خاصّ على نظام الجذر، كونه أولّ جزء نباتيّ يتلامس مباشرة مع الأيونات السّامة، وكذلك تراجع الوزن الرّطب للجذور بنسبة 9%− 55%، والوزن الرّطب للمجموع الخضري بين 6%− 27%، وهو ما تؤكّده العديد من الدّراسات من انخفاض الكتلة الحيّة للنّبات عند النّمو في تربة ملوّثة بالمعادن الثقيلة (Anjum *et al*.,2012, Kaur, 2018)، حيث يؤدي التعرض للتركيزات العالية من المعادن الثقيلة في التربة إلى إعاقة العمليات الفسيولوجية والبيوكيميائية الحيوية مثل تثبيط عملية البناء الضوئي، وإتلاف الأغشية الخلوية، وإحداث إجهاد تأكسدي، مما ينعكس سلباً على نمو النبات(Pantola and Alam, 2014).

الجدول (5): مؤشر التحمّل TI للوزن الرطب والجاف لنبات القرّاص عند تعرضه للكادميوم والرّصاص

المعاملات المدروسة	الوزن الرّطب للمجموع الخضري	الوزن الجاف للمجموع خضري	الوزن الرّطب للجذور	الوزن الجّاف للجذور
Cd1	0.91	0.83	0.91	0.7
Cd2	0.78	0.73	0.91	0.63
Pb1	0.8	0.66	0.62	0.7
Pb2	0.73	0.58	0.45	0.52
Cd1 + Pb1	0.94	0.94	0.72	0.78
Cd2 + Pb2	0.85	0.81	0.58	0.7

4-3. تأثير تلوّث التّربة بالرّصاص والكادميوم على تركيز الجذور والمجموع الخضري لنبات القراص من الكادميوم، وعلى كفاءة المعالجة النّباتيّة

يتضح من الشكل (1) تجمّع الكادميوم في جذور القرّاص وانتقاله بكميّات بسيطة نحو المجموع الخضري، حيث تراوحت كميّات الكادميوم في جذور القرّاص بين 12.5− 64.93 (mg/kg)، وهي أعلى من المجال الطبيعي في النّباتات 0.1− 2.4 (mg/kg) (Qunshan Wei *et al*., 2020)، وتراوحت بالمجموع الخضري بين 0.054− 0.25 (mg/kg)، ونلاحظ من الجدول (6) أنّ نبات القرّاص يقوم بتجميع الكادميوم في جذوره بكفاءة عالية فكل قيم معامل التّركيز الحيويّ BCF أكبر من واحد، كما لوحظ عدم تراجع عملية تركيز الكادميوم في جذور القراص بزيادة تلوث التربة بالكادميوم حيث تراوحت قيم معامل التّركيز الحيويّ BCF بين 3.91 − 4.78 مع عدم وجود دلالة معنويّة لتغيّر قيمه بتغيّر التّركيز الكليّ للكادميوم في التّربة حيث $p>0.05$، في حين كانت قيم كلّ من معامل التراكم الحيويّ BAC ومعامل الانتقال TF أقل بكثير من واحد، ممّا يشير إلى كفاءة القرّاص بعمليّة التّثبيت النّباتي أكثر من الاستخلاص النّباتي، حيث وفق ما ذكره Mendez and Maier., 2008, Amin *et al*.,(2018) وCruzado-Tafur *et al*., (2021) تُعدّ النباتات التي تمتلك على قيم معامل BCF وBAC و TF >1 مستخرجاً نباتيّاً واعداً ومناسباً لاستخراج

وتثبيت المعادن الثّقيلة، بينما النباتات التي تحتوي على معامل التركيز الحيويّ ومعامل انتقال <1 ليست مناسبة للاستخلاص النباتي أو التثبيت النباتي، في حين تُعدّ النباتات التي تمتلك على قيم معامل BCF >١ و TF <١، مناسبة للتثبيت فقط.

الجدول (6) تأثير تلوّث التّربة بالرّصاص والكادميوم على محتوى الجذور والمجموع الخضري لنبات القراص من الكادميوم، وعلى معاملات كفاءة المعالجة النّباتيّة

	المعاملات المدروسة	تركيز الكادميوم بالجذور (mg/kg)	تركيز الكادميوم بالمجموع الخضري (mg/kg)	BCF	BAC	TF
Cd	Cd1	12.5 ± 2.84^{b}	0.054 ± 0.006^{c}	4.16±0.95	0.018 ± 0.002^{b}	0.005±0.001
	Cd2	58.6 ± 1.35^{a}	0.13 ± 0.006^{b}	3.91±0.09	0.009 ± 0.0005^{c}	0.0022±0.00006
	Cd1+Pb1	14.33 ± 4.13^{b}	0.067 ± 0.011^{c}	4.78±1.38	0.022 ± 0.13^{a}	0.0198±0.026
	Cd2+Pb2	64.93 ± 5.17^{a}	0.25 ± 0.032^{a}	4.34±0.36	0.017 ± 0.002^{b}	0.0039±0.00035
P		P < 0.001	P < 0.001	0.66	0.001	0.386

نلاحظ من الجدول (7) وجود تناقص معنوي لقيم مردود استخلاص الكادميوم SEY_{TCd} % بزيادة تركيز الكادميوم في التّربة، وقد كان مردود الاستخلاص أفضل ما يمكن عند معاملة الكادميوم والرّصاص الأولى، وهو حوالي 0.095%، وهي نسبة منخفضة، أي كل زراعة واحدة لمدة شهرين تنظف حوالي 0.1%، وبالتّالي نحتاج لزراعة القرّاص أكثر من 1000 مرّة كلّ مرّة لمدّة شهرين لتنظيف التّربة من الكادميوم تماماً، هذه النتيجة غير منطقية تطبيقياً وتقودنا للتساؤل عن ماذا لو قمنا بتقدير قيمة مردود الاستخلاص نسبةً لتركيز المعدن المتاح للنّبات في تربة الأصص المدروسة بدلاً من التركيز الكلّي ؟

بالعودة إلى (الجدول7) نجد أنّ تركيز الكادميوم المتاح (تركيز المستخلص بنترات المغنزيوم الذي يشمل الكادميوم الذائب والمتبادل) يتراوح بين 0.078− 0.29 (mg/kg)، واعتماداً عليه إذا نسبنا محتوى الكادميوم في القرّاص إلى تركيز الكادميوم المتاح (الذائب والمتبادل) حسب المعادلة (5)، نجد أنّ $SEY_{(Mg(NO3)2)}$ % تصبح بين 3.17− 4,91%، أي أنّنا نحتاج لزراعة القرّاص بين 21− 32 مرة فقط لمعالجة التربة من الكادميوم المتوفر حالياً للنّبات.

أمّا إذا افترضنا أنّ المتاح هو الذائب والمتبادل والمرتبط بالمادة العضوية معاً أي المستخلص بماءات الصوديوم، فقد كانت تراكيزه تتراوح بين 0.124 − 0.65 (mg/kg) وبالتّالي إذا نسبنا محتوى الكادميوم في القرّاص إلى تركيز الكادميوم المستخلص بماءات الصوديوم نجد أنّ $SEY_{(NaOH)}$ % تصبح بين 1.68− 2.93%، أي أنّنا نحتاج لزراعة القرّاص بين 34− 60 مرة لتنظيف التّربة من الكادميوم المحتمل توفرّه للنّبات.

الجدول (7) المقارنة بين قيم مردود الاستخلاص للكادميومSEY % عند محتوى الكادميوم في النّبات نسبةً إلى التركيز الكلي في التربة، أو نسبةً لتركيز الكادميوم المستخلص بنترات المغنزيوم، أو نسبةً لتركيز الكادميوم المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة

المعدن	المعاملات التجريبية	التّركيز الكلّي للكادميوم قبل الزّراعة (mg/kg)	SEY% (Total)	تركيز الكادميوم المستخلص بنترات المغنزيوم قبل الزراعة (mg/kg)	SEY% (Mg(NO3)2)	تركيز الكادميوم المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة (mg/kg)	SEY% (NaOH)
	Cd1	3	0.087±0.033	0.083	3.17±2.2	0.124	2.12±1.49

2.93±0.94	0.38	4.91±2.3	0.25	0.07±0.001	15	Cd2	Cd
2.09±0.66	0.127	3.96±2.68	0.078	0.095±0.022	3	Cd1+Pb1	
1.68±0.19	0.65	3.76±0.39	0.29	0.076±0.016	15	Cd2+Pb2	
0.64	-	0.865	-	0.514	-	P	

4-4. تأثير تلوّث التّربة بالرّصاص والكادميوم على تركيز الجذور والمجموع الخضري لنبات القرّاص من الرّصاص، وعلى كفاءة المعالجة النّباتيّة

تراوحت قيم الرّصاص في جذور نبات القرّاص بين 13.38- 93.25 (mg/kg) بالمادّة جافّة في كلّ المعاملات (الجدول8)، وقد تجاوزت المجال الطّبيعي للرّصاص بالنّباتات 0.2 – 20 (mg/kg) (Qunshan *et al*., 2020)، ولوحظ أنّ نبات القرّاص استطاع مراكمة كميّات أكبر من الرّصاص في جذوره بزيادة التركيز الكليّ للرّصاص في التربة من جهة، وقد عزز وجود الكادميوم في التربة بشكل معنوي عمليّة تثبيت الرّصاص في الجذور عند المقارنة بين تربة معاملة بالرصاص وتربة معاملة بالرصاص والكادميوم عند نفس تركيز الرّصاص.

وبالمقابل تراوح محتوى المجموع الخضري في نبات القرّاص من الرّصاص بين 0.92 – 6.33 (mg/kg) بالمادّة جافّة في كلّ المعاملات، أي ضمن النّطاق الطبيعي له في النّباتات، مع تفوّق معنوي للمعاملة ذات التركيز الأعلى ومع وجود الكادميوم Cd_2+Pb_2، (الجدول 8)، وقد يعزى ذلك لوجود علاقة تآزر بين الرّصاص والكادميوم ضمن النّبات (Kabata-Pendias and Pendias, 2001)، ويرجع التّراكم الحيويّ المنخفض للرّصاص إلى انخفاض ذوبانه وعدم توفّره للنّبات بشكل عام في النّطاق الطّبيعيّ لدرجة حموضة التّربة (Szczygowska *et al*., 2011) وحتّى عند امتصاص الرّصاص من قبل النّبات تعدّ حركته في النّباتات منخفضة نسبيّاً، ومعظم ما يتمّ امتصاصه منه يقتصر على الجذور ويتمّ نقل كميّة منخفضة فقط إلى المجموع الخضريّ (Gupta *et al*., 2013).

لوحظ من قراءة معامل الانتقال عدم وجود كميّة للرّصاص في أنسجة الجذور بالمقارنة مع محتوى التّربة منه، مع قيم BCF أقل من واحد بكثير، وعدم مراكمته ضمن الأنسجة الخضريّة فوق سطح التّربة حيث قيم BAC أقل من واحد بكثير(الجدول8)، وحتّى القيم الّتي تراكمت ضمن الجذور تمّ احتجازها فيها وعدم نقلها للمجموع الخضريّ، ويُعزى ذلك إلى حركيّة معدن الرّصاص الضّعيفة مقارنةً بالكادميوم، وعدم إتاحته ضمن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة، وبالتّالي كان مردود استخلاص الرّصاص SEY_{Pb} % منخفضاً جدّاً، لا يتجاوز 0.1% حيث أنّ الشّكل المتوفّر حيويّاً من الرّصاص منخفض جداً فهو أقلّ من 1% في التّربة (Jena *et al*., 2013)، ومن المعروف أنّ الرّصاص يتراكم بعد الامتصاص في المقام الأوّل في خلايا الجذر بسبب الانسداد داخل البشرة الدّاخليّة بواسطة الأشرطة الكاسباريّة Casparian strip، بالإضافة إلى ذلك، يتمّ احتجاز الرّصاص على جدار خليّة الجذر بواسطة الشّحنات السّالبة (Kumar *et al*., 2019).

وبالتّالي فإنّ نبات القرّاص غير مناسب للاستخلاص النباتي أو التّثبيت النباتي لمعدن الرّصاص لتربة تملك خصائص تربة البحث الحالي بسبب كون كل معاملات كفاءة المعالجة النّباتيّة أصغر من واحد (الجدول

8)، وهذا يتوافق مع ما ذكره (Cruzado-Tafur Amin *et al*., 2018, Mendez and Maier., 2008 .(*et al*., 2021

الجدول (8) تأثير تلوّث التّربة بالرّصاص والكادميوم على محتوى الجذور والمجموع الخضري لنبات القرّاص من الرّصاص، وعلى كفاءة المعالجة النّباتيّة

TF	BAC	BCF	تركيز الرّصاص بالمجموع الخضري (mg/kg)	تركيز الرّصاص بالجذور (mg/kg)	المعاملات المدروسة	Pb
0.068±0.01^{b}	0.009±0.002^{c}	0.13±0.0055^{c}	0.92±0.18^{c}	13.38±0.55^{d}	Pb1	
0.038±0.0026^{c}	0.005±0.0007^{c}	0.14±0.01^{c}	1.54±0.2^{bc}	40.42±2.93^{b}	Pb2	
0.1±0.008^{a}	0.027±0.004^{a}	0.27±0.023^{b}	2.71±0.4^{b}	26.67±2.13^{c}	Cd1+Pb1	
0.069±0.017^{b}	0.021±0.0038^{b}	0.31±0.023^{a}	6.33±1.18^{a}	93.25±7.16^{a}	Cd2+Pb2	
0.001	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001	P	

إنّ مردود استخلاص الرّصاص عن طريق زراعة القرّاص SEY_{TPb} % كان منخفضاً جدّاً لا يتجاوز 0.01% أي أنّنا نحتاج لزراعة القرّاص عشرة ألاف مرّة لتنظيف التّربة من كامل الرّصاص فيها، وهو أمر غير ممكن عملياً، في حين كان مردود استخلاص الرّصاص المتاح $SEY\%_{(Mg(NO3)2)}$ بأعلى قيمه 1.57%، أي أنّنا نحتاج لزراعة القرّاص أكثر من 75 مرّة لتنظيف التّربة من الرّصاص المتاح، وصل لأكثر من 500 مرّة لتنظيف التّربة من الرصاص المتبادل والمرتبط بالمادة العضويّة معاً عندما كانت قيم $SEY\%_{(NaOH)}$ أقل ما يمكن و تساوي 0.18%، (الجدول 9)، وقد أكّدّ Setia وآخرون (2018) أنّ نسبة الرّصاص إلى الكتلة الحيّة الجافّة للنّباتات الّتي تنمو على تربة شديدة التّلوّث بالرّصاص تتراوح بين 0.01− 0.06٪ فقط.

كل ما سبق يؤكد عدم إمكانيّة استخدام نبات القرّاص بالمعالجة النّباتيّة من الرّصاص لتربة تملك خصائص تربة البحث الحالي.

الجدول (9) المقارنة بين قيم مردود الاستخلاص للرّصاص SEY % عند نسب محتوى الرّصاص في النّبات نسبةً إلى التركيز الكلي في التربة ، أو نسبةً لتركيز الكادميوم المستخلص بنترات المغنزيوم، أو نسبةً لتركيز الكادميوم المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة

$SEY\%_{(NaOH)}$	تركيز الرّصاص المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة (mg/kg)	$SEY\%_{(Mg(NO3)2)}$	تركيز الرّصاص المستخلص بنترات المغنزيوم قبل الزراعة (mg/kg)	$SEY\%_{(Total)}$	التّركيز الكلّي للرّصاص قبل الزّراعة (mg/kg)	المعاملات التجريبية	المعدن
0.2±0.023^{c}	1.98	0.44±0.13^{c}	0.93	0.004±0.0003^{b}	100	Pb1	Pb
0.18±0.023^{c}	4.29	0.48±0.08^{c}	1.56	0.003±0.0006^{b}	300	Pb2	
0.6±0.028^{a}	1.85	1.57±0.007^{a}	0.71	0.011±0.002^{a}	100	Cd1+Pb1	
0.51±0.037^{b}	5.02	1.35±0.012^{b}	1.88	0.01±0.003^{a}	300	Cd2+Pb2	
P<0.001	_	P<0.001	-	0.002	-	P	

5- الاستنتاجات والتّوصيات

1- ينجح القرّاص بمعالجة تربة ملوّثة بالكادميوم كمثبّت نباتي Phytostabilizer، حيث كانت قيم معامل التركيز الحيويّ BCF 1 >، ومعامل التراكم الحيويّ BAC< 1، ومعامل الانتقال TF <1.

2- لم يُظهر نبات القرّاص كفاءة باستخلاص أو تثبيت الرّصاص حيث كانت كلّ معاملات كفاءة المعالجة النّباتية أقلّ من الواحد.

3- يُنصح باستخدام نبات القرّاص في المناطق الملوّثة غير الزّراعيّة مثل مكب نفايات أو أراضي قريبة من صناعات لحماية المحيط الحيوي من انتقال الكادميوم وخصوصاً مع انعدام قابليته للرّعي وهو أخضر.

4- متابعة الدّراسات على نباتات أخرى ومعادن ثقيلة أخرى لاختيار النّبات الأكثر كفاءة باستخلاص معدن ما أو تثبيته.

5- القيام بدراسة فيزيولوجيّة لتقييم الأسباب وراء عدم قدرة نبات القرّاص على نقل الرّصاص والكادميوم بكفاءة.

المراجع

- إبراهيم، دينا. (٢٠١٤). *دراسة إمكانيّة مراكمة بعض الأنواع النّباتيّة المزروعة في حرم مصفاة بانياس للعناصر الثّقيلة*، جامعة اللاذقيّة.
- الجبيلي، ريم. نديم. (٢٠٠٦). *دراسة بعض الخصائص الكيميائيّة وأشكال العناصر الثّقيلة في أتربة مكبّ البصّة*، جامعة اللاذقيّة.
- خليل، كامل؛ دعيس، ماهر؛ وفارس، باسل. (٢٠٢٤). *تحديد مصادر تلوث التربة السطحية ببعض العناصر المعدنية الثقيلة في مدينة بانياس بتوظيف تحليل العوامل الأساسية (PCA) والتحليل العنقودي الهرمي* .(HCA) المجّلة السوريّة للبحوث الزّراعيّة، ١١(٢): ٣٨٤ – ٣٩٩.
- درغام، حسان؛ بدا، مصطفى؛ داوود، محمود؛ وحسن، مالك. (٢٠٢١). *تحديد درجة تلوّث ترب البيوت البلاستيكية في محافظة طرطوس بأهمّ المعادن الثّقيلة (الكادميوم، الكروم، النيكل، الكوبالت)*، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، ٣٧(١).
- زياده، ميسون. (٢٠٢٤). *المعالجة النّبتيّة لترب ملوّثة بالرّصاص والكادميوم*، باستخدام بعض نباتات الفصيلة الصّليبيّة Brassicaceae ، جامعة اللاذقيّة.
- AMIN, H., ARIAN, B.A., JAHANGIR, T.M., ABBASI, M. S., AMIN, F., *Accumulation and distribution of lead (Pb) in plant tissues of guar (Cyamopsis tetragonoloba L.) and sesame (Sesamum indicum L.): profitable phytoremediation with biofuel crops*, Geology, Ecology, and Landscapes, VOL. 2, NO . 1, Taylor & Francis, 2018, 51-60,
- ANJUM, N.A., AHMAD, I., PEREIRA, M.E., DUARTE A.C., UMAR*, Sh, KHAN N.A., The Plant Family Brassicaceae - Contribution Towards Phytoremediatio*n , ENVIRONMENTAL POLLUTION, Springer, 2012, VOLUME 21.
- AUDET, P., CHAREST,C. (2006*). Effects of AM colonization on "wild tobacco" plants grown in zinc contaminated soil*. Mycorrhiza, 16, 277-283.
- AUDET, P., CHAREST, C*., Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective.* Environmental Pollution, Canada, 2007, 147, 231–237.

- BORTOLOTI, G. A., and BARON, D.*, Phytoremediation of toxic heavy metals by Brassica plants: A biochemical and physiological approach, Environmental Advances*, 2022, 8.
- BOUYOUCOS, G. J. *Hydrometer method improved for making particle size analyses of soil*s. Agronomy Journal, 1962, 54(5): 464–465.
- CHANDRA, R., DUBEY, N. K., AND KUMAR, V. *Phytoremediation of environmental pollutant*s. CRC Press, Taylor and Francis Group,2020, 510.
- CHAPMAN, H. D. Cation exchange. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*, Agronomy, 1965, 9(2): 891 - 901.
- CHEN, L., LONG, X.H., ZHANG, Z.H., ZHENG, X.T., RENGELl, Z., LIU, Z.P*, Cadmium accumulation and translocation in two Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus* L.) cultivars. Pedosphere21(5), Elsevier B.V. and Science Press, China, 2011, 573–580.
- CRUZADO-TAFUR, E., BIERLA, K., TORRO, L., SZPUNAR, J., *Accumulation of As, Ag, Cd, Cu, Pb, and Zn by Native Plants Growing in Soils Contaminated by Mining Environmental Liabilities in the Peruvian Andes*, Journal Plants, MDPI, Switzerland 2021, 10, 241.
- DAR, M. I., KHAN, F. A., REHMAN, F., MASOODI, A., ANSARI, A. A., VARSHNEY, D., NAUSHIN, F., and NAIKOO, M. I. (2015). *Roles of Brassicaceae in phytoremediation of metals and metalloids, Phytoremediation: Management of environmental contaminants*, 1: 201-213, Springer.
- GUPTA, D. K., HUANG, H. G. and CORPAS, F. J., *Lead tolerance in plants: Strategies for phytoremediation, Environmental Science and Pollution Research*, 2013, 20,2150–2161.
- GUPTA, P. K. Soil, *plant, water and fertilizer analysis. Agrobios, Second Editio*n, New Delhi, India, 2000, 438p.
- JENA, V., GUPTA, S., DHUNDHEL, R. S., MATIC, N., BILINSKI, S. F., and *DEVIC, N. Determination* of total heavy metal by sequential extraction from soil. International Journal of Research in Environmental Science and Technology, 2013, 3(1): 35-38.
- KABATA PENDIAS, A*., Trace Elements in Soils and Plant*, Third Edition, CRC Press, Poland,2001, P 403.
- KAUR, L*., Accumulation potential of Indian mustard (Brassica juncea var. arawali) and fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.*) planted on Lead and Nickel contaminated soil, TROPICAL PLANT RESEARCH, 2018, 5(2), p: 217–223.
- KUMAR, V., *SINGH, J., and KUMA, P. Heavy metals accumulation in crop plants: Sources, response mechanisms*, stress tolerance, and their effects. Contaminants in Agriculture and Environment: Health Risks and Remediation, 2019.
- MALEVA, M., NEKRASOVA, G., BORISOVA, G., CHUKINA, N., and USHAKOVA, O. *Effect of heavy metals on photosynthetic apparatus and antioxidant status of Urtica dioica,* Russian Journal of Plant Physiology, 2012, 59(1), 116-123.
- MALIK, R. N., HUSAIN,S. Z., and NAZIR, I., *Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad*, Pakistan Journal of Botany, 2010, 42(1), 291-301.

- MENDEZ, M.O., and MAIER, R.M., *Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology*, Environment Health Perspective, 2008,116(3), 278–283.
- MEYERS, D. E. R., AUCHTERLONIE, G. J., WEBB, R. I., and WOOD, B. *Uptake and localisation of lead in the root system of* Brassica juncea*.* Environmental Pollution, 2008*, 153*(2), 323–332.
- NUNGULA, E. Z., RAZA, M. A., NASAR, J., MAITRA, S., SELEIMAN, M. F., RANJAN, S. H., PADHAN, S. R., SOW, S., GAIKWAD, D. J., and GITARI, H. H. (2024). Cadmium in soil and plants: A review. In *Springer* (pp. 21–46). Springer.
- PANTOLA, R. C. H., AND ALAM, A. (2014*). Potential of Brassicaceae Burnett (Mustard family; Angiosperms) in phytoremediation of heavy metals*. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2*(4), 120–138.
- PRASAD, M. N. V., SAJWAN, K. S., and NAIDU, R. *Trace elements in the environment, biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation*. CRC Press/Taylor and Francis Group, 2006.
- QUNSHAN WEI,B., NOMAN,M, SHEN ,Z, SABA A. K, ULLAH,S, KHAN,F, Panhwar,K, Emiliy, H, Tasleem,R, Ahmad,J, Ul Haq,I, SubhHanullah h,M, ULLAH,Z., *Phytoremediation of contaminated soil Lead and Cadmium by Brassica júncea (L.) Czern plant*, Journal of Earth Sciences & Environmental Studies, 2020, 5(4), 110-120.
- RAMADAN, A. A. *Heavy metal pollution and biomonitoring plants in Lake Manzala, Egypt.* Pakistan Journal of Biological Sciences*,* 2003*,6*(13),
- RAZ, A, HABIB,M, KAKAVAND,SH, ZAHID,Z, ZAHR, N, SHARIF,R, HASANUZZAMAN, *,M.Phytoremediation of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms,* Biology, 2020, 9, 177.
- SARMA, H., *Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology*, Journal of Environmental Science and Technology, 2011, 118,138.
- SARWAR, N., SAIFULLAH, MALHI, S. S., ZIA, M. H., NAEEM, A., BIBIA, S., and FARID, G. *Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plan*ts*.* Journal of the Science of Food and Agriculture, *2010*, *90*, 925–937.
- SETIA, R.C, KAUR,N, SETIA,N, NAYYAR, H., *Heavy Metal Toxicity in Plants and Phytoremediation, Crop Improvement: Strategies and Applications*, 2018, 206-218.
- SOLTANPOUR, P. N., and WORKMAN, S*. Modification of the NaHCO3 DTPA soil test to omit carbon black*. Soil Science and Plant Analysis, 1979*,10*.
- SHARMA P, PANDEY S, and KUMAR S. P*otential* of *Urtica dioica* (common nettle) for phytoremediation of cadmium-contaminated soil. Environ Sci Pollut Res Int. 2020;27(33):41205-41218.
- SZCZYGOWSKA, M., PIEKARSKA, A., KONIECZKA P., and NAMIESNIK, J. *Use of Brassica Plants in the Phytoremediation and Biofumigation Processes*, International Journal of Molecular Sciences, 2011, 12, P:7760-7771.

• THANGAVEL, P., SUBBHURAAM, C.V., *Phytoextraction: Role of the Hyperaccumulator in Metal Contaminated Soils*, Indian natn.Sci. Acad,B70, India, 2004, P: 109-130.

• VIKTOROVA J, JANDOVA Z, MADLENAKOVA M, PROUZOVA P, BARTUNEK V, VRCHOTOVA B, LOVECKA P, MUSILOVA L, and MACEK T. Native phytoremediation potential of *Urtica dioica* for removal of PCBs and heavy metals can be improved by genetic manipulations using constitutive CaMV 35S promoter. Int J Phytoremediation. 2017;19(10):923-30.

• WALKLEY, A., and BLACK, I. A. *An examination of Degtjareff method for determination of soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. *Soil Science,* 1934*, 37*(1), 29–38.

• YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L.Q. *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site*. Sci. Total Environ. 2006, 368