

كفاءة نبات الفجل *Raphanus sativus* L. في معالجة تربة طينية رملية ملوثة بالرصاص والكاديومميسون زياده*¹ ومحمد دكة¹ وفيينا حمود²¹ قسم علوم التربة والمياه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.² قسم علم الحياة، كلية العلوم، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.*للمراسلة: ميسون زياده، البريد الإلكتروني maissounziadeh4@gmail.com - موبايل: 0944756150.

تاريخ الاستلام: 2024 / 02 / 11 تاريخ القبول: 2024 / 08 / 13

الملخص

تناولت هذه الدراسة تقييم مقدرة نبات الفجل على مراكمة الكاديوم والرصاص في أنسجته عند زراعته في تربة ملوثة، وذلك بهدف تحديد كفاءته للاستخدام بالمعالجة النباتية، نُفذت لهذه الغاية تجربة أصص. أوضحت نتائج الدراسة وجود أثر معنوي لزيادة تركيز الرصاص والكاديوم في التربة على انخفاض حجم الجذور والكتلة الحيوية للنبات، وعلى محتوى الجذور والمجموع الخضري من كلا المعدنين، ولم يتصرف الفجل كنبات فائق المراكمة لكل من الرصاص والكاديوم، وبالاعتماد على أن معامل التراكم الحيوي (Bioaccumulation Coefficient) BAC ومعامل الانتقال ((Transfer Factor TF أكبر من واحد لمعظم المعاملات لنبات الفجل بالنسبة للكاديوم، وعلى مردود استخلاص الكاديوم المتاح (SEY(Mg(NO3)2 % (The available specific extraction yield percentage) الذي يصل حتى 20.75%، أي أننا نحتاج لزراعة الفجل بين 5- 11 مرة فقط لمعالجة التربة من الكاديوم المتوفر حالياً للنبات، نستنتج أنه من الممكن اعتبار نبات الفجل مرشحاً محتملاً للاستخدام بالمعالجة النباتية للكاديوم بطريقة الاستخلاص الحيوي. كانت قيم معامل التركيز الحيوي للرصاص (Bioconcentration Factor BCF) ومعامل التراكم الحيوي $BAC > 1$ ، وكانت قيم مردود الاستخلاص للرصاص نسبة للتركيز الكلي في التربة SEYTPb % منخفضة جداً لا تتجاوز 0.0029 %، ومع أن نسبة الرصاص المتاح للنبات (ذائب ومتبادل) أقل من 1% في جميع المعاملات بقي مردود استخلاص الرصاص منخفضاً حيث نحتاج لزراعة الفجل بين 300- 588 مرة لمعالجة التربة من الرصاص المتوفر للنبات.

الكلمات المفتاحية: المعالجة النباتية، الفصيلة الصليبية، معامل التركيز الحيوي BCF، معامل التراكم الحيوي BAC، معامل الانتقال TF، مردود الاستخلاص SEY%.

المقدمة:

يُعدّ التلوث بالمعادن الثقيلة مشكلة بيئية خطيرة في العالم حالياً، بسبب الانبعاثات الصناعية واستخدام الحمأة أو الري بمياه الصرف الصحي، والاستخدام المفرط للمبيدات الحشرية والأسمدة، ومخلفات صناعة صهر المعادن (Chen et al., 2011)، وتعدّ المعادن الثقيلة الخطرة مثل الكاديوم (Cd)، الكروم (Cr)، الزئبق (Hg)، الزرنيخ (As)، الرصاص (Pb)، والزنك (Zn)، غير قابلة للتحلل الحيوي مما يجعلها تبقى في البيئة لفترات طويلة، فتصبح التربة المعرضة للمعادن الثقيلة مع الزمن غير صالحة للزراعة، وبعض هذه المعادن شديدة السمية للإنسان حتى في التراكيز المنخفضة مثل الكاديوم والرصاص (Bortoloti and Baron, 2022).

يعود المصطلح العامّ المعالجة النباتية (Phytoremediation) إلى الكلمة اللاتينية phyto وتعني نبات، المرتبطة بالكلمة

اللاتينية *remedium* وتعني معالجة الشّر أو إزالته، وتُعرف إحدى طرائق المعالجة النباتية باسم تقنية الاستخلاص الحيوي (*Phytoextraction*) ويمكن استخدامها لإزالة المعادن الثقيلة من التربة ضمن الكتلة الحية للنباتات المزروعة عليها، أو نقل كمية كبيرة من المعادن من التربة إلى الأجزاء القابلة للحصاد (سواء الجذور تحت الأرض أو البراعم الموجودة فوق الأرض)، ثم إزالة هذه النباتات الغنية بالمعادن من الموقع والتخلص منها، كما تم التأكيد على أن العناصر المعدنية المتراكمة يمكن استعادتها وإعادة تدويرها، إن أمكن، حيث ينتج عن حصاد هذه النباتات نفايات حيوية من الممكن أن تصبح مصدراً ثانوياً للتلوث ما لم يتم التخلص منها بالطرائق المناسبة، مثل: التجفيف، والتّرميد، استخدام الرماد كسماد في الغابات، والتخزين في مكب النفايات، والهضم اللاهوائي، والوسائل الميكروبية، والفيزيائية، وإنتاج الفحم الحيوي والزيت الحيوي (Ginneken et al., 2007, Dar et al., 2015, Amin et al., 2018, Liu and Tran, 2021).

المعالجة النباتية طريقة فعالة من حيث التكلفة وصديقة للبيئة، ويمكن تطبيقها على مناطق واسعة ولكن لها بعض العيوب منها أن معظم النباتات فائقة المراكمة أعشاب ذات كتلة حيوية صغيرة مما يجعل المعالجة النباتية بطيئة جداً، وتستغرق عدة سنوات، أو حتى عقود، لخفض مستويات التلوث بالمعادن في التربة إلى النصف (Chen et al., 2011, Raz et al., 2020).

يوجد عدة أنواع نباتية يمكن استخدامها في المعالجة النباتية، وهذه النباتات تنتمي إلى عدة عائلات نباتية، مثل Brassicaceae, Asteraceae, Fabaceae, Poaceae, Chenopodiaceae (Amin et al, 2018)، وقد تم تصنيف أكثر من 500 نوع نباتي تنتمي لـ 101 فصيلة كنباتات فائقة المراكمة للمعادن الثقيلة، معظمها ينتمي للفصائل التالية: المركبة، الصليبية، البقولية، الشفوية، والنجيلية (Sarma, 2011)، تمتلك العديد من أنواع الفصيلة الصليبية القدرة على مراكمة المعادن الثقيلة كالكاديوم، الزرنيخ، الرصاص، والزنك، مما يجعلها محوراً هاماً للدراسات البحثية المستقبلية (Roy and Mondal, 2020)، والعديد من الأنواع النباتية التي تنتمي إلى جنس Brassica تتحمل التأثيرات السامة للمعادن الثقيلة، وبالتالي فهي ذات أهمية للاستخدام في المعالجة النباتية (Bortoloti and Baron, 2022)، وتنجح عملية المعالجة النباتية في المواقع ضعيفة إلى متوسطة التلوث، وغير مناسبة للمواقع عالية التلوث (Thangavel and Subbhuraam, 2004).

من الضروري أن تكون النباتات، التي تم اختيارها في المعالجة النباتية، مناسبة للممارسات الزراعية وقادرة على إنتاج كتلة حيوية كبيرة مع أقصى امتصاص للمركبات المعدنية حتى تكون فعالة، الأنواع النباتية ذات التراكم الفائق المعدني (*Hyperaccumulator plantae*) قادرة على تجميع ما لا يقل عن 0.1% من الوزن الجاف للأوراق من أي معدن ثقيل (Bortoloti and Baron, 2022)، وتعدّ النباتات فائقة المراكمة عندما يتم مراكمة المعادن في الأوراق بتركيز أكبر من ppm

$$100 < \text{Cd}, \text{Co}, \text{Cu}, \text{Ni}, \text{Pb} < 1000 \text{ ppm}, \text{Mn}, \text{Zn} < 10000 \text{ ppm}$$

(Kabata-Pendias and Pendias, 2001, Dar et al., 2015) ولا يمكن أن يتم التأكيد النهائي لحالة التراكم المفرط لنبات ما إلا من خلال تجارب الزراعة المائية حيث تبين أنّ النباتات يتحمل تركيزات عالية للغاية من المعدن المتوقّر حيويًا (Baker and Whiting, 2002).

معظم المعادن الثقيلة التي تمتصها النباتات غير شديدة المراكمة يتم الاحتفاظ بها في الخلايا الجذرية، في حين تقوم النباتات شديدة المراكمة بنقل هذه العناصر بسرعة وكفاءة إلى المجموع الخضري، وبالتالي فإن الإزاحة من الجذر إلى المجموع الخضري تعمل كقوة دافعة لحالة التراكم الزائد لدى الأنواع فائقة المراكمة *Hyperaccumulator plants* عن طريق خلق استجابة دائمة لنقص المعادن في الجذور (Dar et al., 2015).

ويوضح الجدول (1) الحدود المسموحة لمعدني الكاديوم والرصاص في التربة الزراعية، والمدى الطبيعي لهما في النباتات، ومتى تصل تراكيزهما لإحداث تأثيرات سمية وخلل في العمليات الفيزيولوجية:

الجدول (1): المدى الطبيعي للكاديوم والرصاص في التربة والعتبة المسموحة بالترب الزراعية مع / كغ ، والتراكيز الطبيعية والحدود الحرجة السامة للكاديوم والرصاص في الثبات مع / كغ وزن جاف

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

من المعروف أن الرصاص معدن ثقيل ذو عدد ذري مرتفع 82، وكتلته الذرية 207.2، وينتمي إلى المجموعة الرابعة في الجدول الدوري (Okieimen and Wuana, 2011)، وحركته هي الأقل بين جميع المعادن الثقيلة، وتعد حركة الرصاص في النباتات منخفضة نسبياً، ومعظم الرصاص الذي تمتصه النباتات يقتصر على الجذور ويتم نقل كمية صغيرة فقط إلى البراعم، حيث يرتبط Phytochelatin بأيونات Pb مما يؤدي إلى عزل أيونات Pb في جذور النباتات، بشكل عام يوجد الرصاص في التربة كأملح في أشكال قابلة للذوبان وغير قابلة للذوبان، ومن المعروف أن تلوث التربة بالرصاص يعيق ويثبط إنبات البذور وذلك بحسب (Meyers et al., 2008) و (Anjum et al., 2012)، كما لاحظ (Kaur, 2018) انخفاضاً في إنبات بذور الخردل الهندي عند نموه في تربة ملوثة بالرصاص وقام بتجميع الرصاص في الأجزاء الجذرية والخضرية، وبحسب (Kapourchal et al., 2009) يُعدّ الفجل من أنواع الفصيلة الصليبية المرغوبة بالمعالجة النباتية لعدة أسباب منها قصر دورة حياته مما يتيح إمكانية زراعته خمس مرات في السنة في نفس التربة، وكون إنتاجه قد يصل إلى 20 طن/هكتار، وأثبتت زيادة تراكم الرصاص في الفجل وبشكل رئيسي في جذوره عند زيادة تركيز الرصاص في التربة وإمكانية استخدامه لمعالجة التربة الملوثة بالرصاص، مع مراعاة معاملته كنفائيات خطيرة مباشرة بعد الحصاد لكونه من الخضروات المأكولة.

يتبع الكاديوم المجموعة الثانية في الجدول الدوري، ويبلغ عدده الذري 48، وكتلته الذرية 112.4، Okieimen and Wuana, (2011)، الكاديوم معدن سام جداً قد يسبب مشاكل خطيرة للإنسان عندما يتم استخدام التربة الملوثة بالكاديوم لزراعة المحاصيل، لأنه ينتقل بسهولة من التربة إلى السلسلة الغذائية، ويعتبر الرقم الهيدروجيني للتربة مهماً بشكل خاص لأنه يتحكم في قابلية ذوبان الكاديوم وحركته في التربة، وبالتالي توافره للنباتات، (Chen et al., 2011)، وفي دراسة على الخردل الهندي *Brassica juncea*، لم يتصرف الخردل الهندي كنبات مفرط التراكم لكل من الرصاص والكاديوم، مع أنه قام بمرآكتهما بتراكيز أعلى من المجال الطبيعي تواجهه في النبات. (Qunshan Wei et al., 2020).

و يعدّ نبات الجرجير *Eruca sativa* L. من الأنواع المستخدمة في معالجة التربة الملوثة لأنه يمتص الزنك، والرصاص، والكاديوم (خاصةً الزنك) ويُنتج غلة عالية من الكتلة الحيوية، (Ghaderian and Nosouhi, 2015) وقد أظهرت دراسة (Waheed et al., 2022) تراكم كبير للكاديوم في أوراق *Eruca sativa* عند ارتفاع تراكيز الكاديوم في التربة، وبالتالي يعدّ الجرجير مرشحاً جيداً للمعالجة النباتية للتربة الملوثة بالكاديوم.

وقد أثبتت دراسة أجريت على نباتي الفول *Vicia faba* والحبق *Ocimum basilicum* إمكانية استخدام النباتين في معالجة ترب ملوثة بالكاديوم، وذلك بالاعتماد على معامل التراكم الحيوي، في حين لم يُظهِر كفاءة في استخلاص الرصاص (محمد وسعد، 2021)، وقام (Matic et al., 2019) بتقييم إمكانات نبات الكزبرة *Coriandrum sativum* في المعالجة النباتية، ولاحظوا أنّ الجذور تمتص تركيزات عالية من المعادن كالمغنيز، الحديد، النحاس والزنك من التربة، وتراكمها بكميات أعلى في أوراق النبات من جذوره.

أشارت نتائج بحث أجري في مكبّ البصّة إلى تلوث التربة بالعناصر المدروسة، الرصاص، الكاديوم، والنّيكيل، بحيث تجاوزت الحدود المسموح بها في الأراضي الزراعيّة (الجبيلي وآخرون، 2006)، وفي دراسة لوجود الرصاص في التربة بأماكن مختلفة من محافظتيّ دمشق وريف دمشق في عام 2014م، لوحظ أن أكثر العينات تجاوزت القيمة المسموح بها للرصاص وفقاً للتشريعات العالميّة (جحي، 2014)، وفي دراسة تعيين التلوث بالرصاص في معمل بطاريّات السّفيرة/ حلب/ والبيئة المحيطة، عام 2007 كان تركيز الرصاص في التربة داخل المعمل أكثر من الحدود المسموح بها في التربة الحراجية بمعدلات تفوق الـ 30 مرة، أمّا في المناطق الزراعيّة المحيطة بالمعمل فكان تركيز الرصاص في عدد من المواقع أعلى من الحدود المسموح بها (العودات وآخرون، 2007).

تأتي أهمية هذه الدراسة من زيادة تلوث البيئة بالمعادن الثقيلة نتيجة نشاطات الإنسان وبسبب كون التربة المدخل الأساسي للمعادن الثقيلة نحو السلسلة الغذائيّة فإنّ تلوثها يُشكّل خطورة على صحة الإنسان ويحتاج إلى طريقة صديقة للبيئة وغير مكلفة اقتصادياً للتخلّص منها وهذا ما تقدّمه المعالجة النباتيّة، والبحث هو تيّمة لدراساتٍ سابقة في سورية أثبتت وجود عدّة مناطق تتجاوز الحدود المسموحة من بعض المعادن الثقيلة في التربة وخصوصاً في أراضي زراعيّة قريبة من منشآت صناعيّة كعامل الدّهانات والدّباغة والبطاريّات التي تُعدّ صناعات تضيف الكثير من المعادن الثقيلة للبيئة المحيطة، ويهدف البحث إلى تقييم كفاءة نبات الفجل في معالجة التربة الملوثة بعنصري الكاديوم والرصاص وتوزعهما في الأجزاء النباتيّة (جذور - مجموع خضريّ) لنبات الفجل الذي ينمو فوق تربة ملوثة، لتحديد أيّ الأجزاء النباتيّة هو الأكثر فاعليّة بمراكمه الملوّث، ثمّ تقييم كفاءة نبات الفجل في المعالجة النباتيّة.

موادّ البحث وطرائقه:

نُفذ هذا البحث بين أيلول 2021 وتشيرين الأول 2022م في طرطوس، وأجريت التحاليل في مخابر كليّة الزراعة جامعة تشرين، ومخابر كليّة العلوم جامعة طرطوس، والمعهد العالي لبحوث البيئة جامعة تشرين.

تحضير الأخصّ وأخذ عينات التربة:

تمّ جمع التربة من الطبقة السطحيّة من أرض زراعيّة بعيدة عن أوتوستراد طرطوس- لبنان باتجاه الغرب في منطقة المنطار من ريف محافظة طرطوس، وقد أثبت تحليل التربة وجود الرصاص والكاديوم ضمن قيم مقبولة للتربة حيث كان التّركيز الكليّ للرصاص 0.48 مغ رصاص/كغ تربة، والتّركيز الكليّ للكاديوم 0.035 مغ كاديوم / كغ تربة (الجدول 2)، جُمعت التربة على عمق 10 سم، تُركت لتجفّ هوائياً لمدة يومين، ثمّ تمّ نخلها بمنخل 2مم، ثمّ خلطها جيّداً وأخذ حوالي 1كغ لإجراء التحاليل الأساسيّة على التربة، ويوضح الجدول رقم (2) بعض الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة للتربة المدروسة، حيث تمّ تحديد قوام التربة بطريقة الهيدروميتر (Bouyoucos (1962، وتقدير المادّة العضويّة باستخدام طريقة الأكسدة مع ثاني كرومات البوتاسيوم وحمض الكبريت (Walkly and Black (1934، والسعة التبادليّة الكاتيونيّة بطريقة خلاّات الأمونيوم وخلاّات الصّوديوم (Chapman (1965)، وتقدير كربونات الكالسيوم الكليّة بطريقة المعايرة الحجمية (Gupta (2000، كما تمّ قياس درجة الحموضة والنّاقليّة الكهربائيّة ضمن مستخلص 5:1 (تربة: ماء مقطّر)، وتقدير التركيز الكليّ لعنصري الرصاص والكاديوم بالتربة بالهضم بالماء الملكي (Soltanpour and Workman, 1979).

الجدول (2): بعض خصائص التربة المستخدمة في التجربة المزروعة بالأخصّ 2021/11/15 - 2022/1/15

خصائص التربة	قوام التربة	0	نسبة السلت %	نسبة الرّمل %	السعة التبادليّة الكاتيونيّة م.م/100غ	المادّة العضويّة %	درجة الحموضة 5:1 تربة: ماء	النّاقليّة الكهربائيّة ميلليموس/سم 5:1 تربة: ماء	كربونات الكالسيوم الكليّة %	كربونات الكالسيوم الفعّالة %	تركيز الرصاص مغ/كغ	تركيز الكاديوم مغ/كغ
	طينيّة رمليّة	40	14	46	36.85	2.72	7.11	0.35	8.41	2.73	0.48	0.035

تم اختيار تراكيز المعادن في التربة بالاعتماد على العتبة الحدية المسموحة بالترب الزراعية (الجدول 1)، لذلك ابتدأت التراكيز للكادميوم من 3 مغ/كغ، وللرصاص من 100 مغ /كغ، وتمت معالجة كل أصيص (2كغ تربة) بمحلول يحتوي نترات الرصاص أو نترات الكادميوم أو الاثنتين معاً، بعد تحضير محلول أم للكادميوم 3 مغ /Cd مل، ومحلول أم للرصاص 50 مغ / Pb مل، وتمت معالجة كل أصيص بما يتناسب مع تركيز الكادميوم أو الرصاص أو الاثنتين معاً المطلوب في التربة، فمثلاً لتحضير أصيص تربته فيها 100 مغ رصاص / كغ تربة أخذنا 4 مل من المحلول الأم للرصاص 50 مغ / Pb مل، ومُدّدت بحوالي 100 مل ماء مقطر وتم وضعها في علبة رذاذ ورشها على 2كغ تربة جافة هوائياً، مع الفك جيداً لتتوزع الكمية على معظم حبيبات التربة، ولتحضير أصيص تربته فيها 3 مغ كادميوم / كغ تربة أخذنا 2 مل من المحلول للكادميوم 3 مغ /Cd مل، ومُدّدت بحوالي 100 مل ماء مقطر وتم رشها على 2كغ تربة جافة هوائياً، مع الفك جيداً لتتوزع الكمية على معظم حبيبات التربة، ولتحضير أصيص المعاملة الأولى للرصاص والكادميوم معاً Cd1 + Pb1 تم رش 2كغ تربة جافة هوائياً ب 4 مل من المحلول الأم 2+ مل من المحلول للكادميوم 3 مغ /Cd مل الممددين بالماء المقطر لضمان توزيعهما جيداً على كامل تربة الأصيص وهكذا، لتكون المعاملات التجريبية كما هو موضّح:

الجدول(3): المعاملات التجريبية

الشاهد Cd0 + Pb0 بدون معاملة.		
Cd1 + Pb1	Pb1	Cd1
بتركيز 3 مغ /كغ كادميوم +100 مغ /كغ رصاص.	بتركيز 100 مغ /كغ رصاص.	بتركيز 3 مغ /كغ كادميوم.
Cd2 + Pb2	Pb2	Cd2
بتركيز 15مغ /كغ كادميوم +300 مغ /كغ رصاص.	بتركيز 300 مغ /كغ رصاص.	بتركيز 15مغ /كغ كادميوم.
Cd3 + Pb3	Pb3	Cd3
بتركيز 30مغ /كغ كادميوم + 700 مغ /كغ رصاص.	بتركيز 700 مغ /كغ رصاص.	بتركيز 30مغ /كغ كادميوم.

ليكون عدد المعاملات عشرة بمعادل ثلاثة مكررات لكل معاملة، أي بمجموع 30 أصيص، تم ملء الأصص ب 2 كغ تربة جافة هوائياً، ثم تم تحضين المعادن مع التربة لمدة 15 يوم، وذلك بالمحافظة على التربة رطبة خلال هذه الفترة للسماح لأملاح الكادميوم والرصاص بالتوزع بين مكونات التربة، حيث تم ري الأصص لأول مرة بالماء المقطر حتى السعة الحقلية (حوالي 700 مل ماء لكل أصيص)، ثم تم الري ب 200 مل من الماء بمعدل مرة كل يوم أو كل يومين حسب جفاف التربة، وإذا حدث رشح في وعاء الاستقبال تحت الأصيص تتم إعادة المياه الراشحة للأصيص مرة ثانية، تمت زراعة عشرين بذرة من الفجل في كل أصيص بتاريخ 15 /11/2021م، وبعد عشرة أيام تم عدّ البذور التي أنبتت لحساب نسبة الإنبات، ثم تم تخفيف النباتات إلى نباتين في كل أصيص، استمرت الزراعة لمدة شهرين، وتم الحصاد في 15/1/2022م.

تحضير العينات النباتية:

تم غسل النباتات بالماء عدّة مرّات بعد الحصاد، ثم فصل الجذور عن المجموع الخضري، وغُسلت النباتات بالماء المقطر ثلاث مرّات في المختبر، ثم قيس الوزن الرطب، جففت العينات بمجفف كهربائي على درجة حرارة 80°م لمدة 7-8 ساعات وأكثر حتى ثبات الوزن ثم قيس الوزن الجاف، ثم تم طحن العينات المجففة للجذور والمجموع الخضري بمطحنة كهربائية، ونخلها بمنخل 1مم، والاحتفاظ بها بعبوات بلاستيكية محكمة الإغلاق.

تم قياس طول المجموع الخضري وعمق الجذور بالمسطرة أما حجم جذور الفجل فقد تم قياسه بقياس حجم الماء المزاح عند غمر الجذر ضمن بيشر فيه كمية ماء معلومة، تم هضم العينات النباتية باستخدام حمض الآزوت عالي النقاوة، وذلك بوضع 0.5 غ من العينة النباتية المطحونة والمجففة في أنبوب اختبار، وأضيف لها 5 مل HNO₃ 65%، وتُركت حتى اليوم التالي، ثم وضعت في حمام مائي لمدة ساعتين، وبعد أن تبرد نقلت إلى أرلنماير، وتم إكمال الحجم حتى 50 مل بالماء المقطر (Gupta, 2000)،

ثم تم تقدير الكاديوم والرصاص في المستخلصات باستخدام جهاز الامتصاص الذري Shimadzu AA-6800، في المعهد العالي لبحوث البيئة في جامعة تشرين.

مؤشر التحمل (TI) Tolerance Index

يُعبّر مؤشر التحمل (TI) عن النسبة بين قياسات النمو (طول الجذر، طول المجموع الخضري أو الأوراق، الوزن الرطب والجاف للجذور، الوزن الرطب والجاف للأوراق) للنباتات في التربة الملوثة إلى القياسات في تربة الشاهد غير الملوثة Amin et al, (2018, Chen et al, 2011)

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

كفاءة النبات في استخلاص المعادن

معاملات كفاءة المعالجة النباتية

تم حساب كل من معامل التركيز الحيوي Bioaccumulation (BCF) Bioconcentration Factor، معامل التراكم الحيوي Bioaccumulation Coefficient (BAC)، ومعامل الانتقال، ومعامل الانتقال (TF) Transfer Factor لتقييم كفاءة الفجل بالمعالجة النباتية، وفق المعادلات الموضحة: (AMIN et al., 2018, Malik et al., 2010, Yoon et al., 2006)

$$\text{BCF} = \frac{\text{تركيز المعدن في الجذور}}{\text{تركيز المعدن الكلي في التربة}} \quad (2)$$

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

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

النسبة المئوية لمردود الاستخلاص لمعدن (SEY%) The specific extraction yield percentage

يُحسب مردود استخلاص النبات لمعدن ما من حساب النسبة المئوية لمحتوى المعدن في النبات إلى تركيز المعدن الكلي في التربة: (Audet and Charest, 2006, Audet and Charest, 2007)

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

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

تقدير بعض الأشكال الكيميائية للكاديوم والرصاص في التربة (Soltanpour and Workman, 1979)

تم اعتماد تحليل التجزئة على التوازي Parallel fractionation، أي كل مرة نستخدم عينة جديدة، حيث تم تقدير المستخلص بنترات المغنيزيوم (وهو يمثل المتاح للنبات من المعدن أي الشكلين الذائب والمتبادل للمعدن معاً)، كما تم تقدير المستخلص بماءات الصوديوم (وهو يمثل المتاح للنبات من المعدن مع مرور الوقت اللازم لتحلل المادة العضوية - وذلك باعتبار أن المعالجة النذباتية قد تستغرق عدة سنوات - أي يحتوي المستخلص الأشكال التالية للمعدن: الذائب والمتبادل والمرتبطة بالمادة العضوية)، وتم الاستخلاص بالطرق التالية:

تقدير المستخلص بنترات المغنيزيوم: وضعنا 10 غ من التربة الجافة هوائياً في دورق ثم أضفنا 50 مل من نترات المغنيزيوم $(1N) \text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ، بعد الخض لمدة ساعتين قمنا بالترشيح وأكملنا الحجم بالماء المقطر حتى 50 مل.

تقدير المستخلص بماءات الصوديوم: وضعنا 10 غ من التربة الجافة هوائياً في دورق ثم أضفنا 50 مل من ماءات الصوديوم NaOH (1N)، بعد الخض لمدة نصف ساعة قمنا بالترشيح وأكملنا الحجم بالماء المقطر حتى 50 مل. تمت إضافة 0.3 مل من حمض الأزوت (1n) لكل عينة بعد ترشيحها لمنع إعادة ارتباط العناصر بالمركبات العضوية الذائبة. **تقدير الكلي:** تم هضم 1 غ تربة بالماء الملكي (7مل 37% HCl + 2.5 مل 65% HNO₃)، حيث تم نقع العينة بالماء الملكي لمدة 24 ساعة، وبعد ترك المزيج لليوم الثاني يتم تسخين العينات ورفع حرارتها حتى 175°م خلال ساعة ونصف، وتترك على هذه الحرارة لمدة ساعتين، ثم تترك لتبرد ويكمل الحجم إلى 50 مل بالماء المقطر. ثم تم تقدير الكاديوم في المستخلصات باستخدام جهاز الامتصاص الذري Shimadzu AA-6800.

التحليل الإحصائي:

تم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام برنامج SPSS (Statistic program for social science)، باستخدام ANOVA، وتطبيق معامل Duncan لحساب الفروق بين المتوسطات، وتم حساب معامل الارتباط بواسطة Excel.

النتائج والمناقشة:

المؤشرات الحيوية لنبات الفجل

نسبة الإنبات

تراوحت قيم نسبة الإنبات بين 85% بما يتوافق مع المعاملة Pb₃ و 100% لكلتا المعاملتين Cd₁، Cd₃، وعلى الرغم من عدم وجود دلالة إحصائية بين تزايد تراكيز الرصاص والكاديوم في التربة ونسبة الإنبات حيث $P > 0.05$ ، إلا أنه يُلاحظ تراجع في نسبة الإنبات بوجود الرصاص مقارنة بالشاهد، (الجدول 4)، وهو ما يتوافق مع ما ذكره، Anjum et al. (2012) بأن تلوث التربة بالرصاص يُخفّض إنبات البذور.

طول المجموع الخضري وعمق الجذور وحجمها:

نلاحظ من الجدول (4) عدم تأثر كل من طول المجموع الخضري وعمق الجذور بزيادة تراكيز الكاديوم أو الرصاص أو كليهما معاً حيث كانت قيمة $P > 0.05$ ، وتراوح عمق الجذور بين 4.75-7 سم، وتراوح طول المجموع الخضري 28-33.5 سم، في حين تأثر حجم الجذور بوضوح مع زيادة التراكيز سلباً، حيث تفوق الشاهد بحجم 47.5 مل، وحازت على القيم الأقل معاملات الكاديوم بالتركيز الأعلى (30 مغ Cd / كغ تربة)، سواء كان الكاديوم في التربة لوحده فكان متوسط حجم جذور الفجل 17.5 مل، أو بحال مشاركته مع الرصاص وكان متوسط الحجم 20 مل، وهو ما يتوافق مع دراسة أثبتت إعاقة تطور جذور الجزر والفجل نتيجة التعرض المتزايد للكاديوم (Raz et al., 2020).

الوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري والجذور:

تبيّن من الجدول (4)، من نتائج التحليل الإحصائي تفوق الشاهد بالوزن الرطب للمجموع الخضري على كافة المعاملات باستثناء معاملة Cd₁ حيث لم يتأثر وزن المجموع الخضري عند إضافة الكاديوم بتركيز 3 مغ كاديوم/كغ تربة، كذلك لم يكن هناك فروق معنوية بين الشاهد ومعاملات الرصاص الثلاث، في حين تراوح الوزن الجاف للمجموع الخضري بين 1.41 غ و 1.92 غ، وقد تبيّن أنّ الوزن الجاف يتراجع بشكل واضح مع زيادة التلوث حيث أعلى قيمة له توافقت مع الشاهد وتراجعت قيم الوزن الجاف في كل المعاملات مقارنة بالشاهد حتى وصلت لأقل قيم للوزن الجاف للمجموع الخضري 1.41 و 1.44 بمعاملي Cd₂ و Cd₃ على التوالي، و 1.42 غ عند وجود الكاديوم والرصاص معاً بالتراكيز الأعلى، ولكن عند دراسة الفروق بين المتوسطات حسب Duncken لم نجد أية فروق معنوية بين جميع المعاملات عن الشاهد تجعل هذا التراجع ذو أهمية إحصائية.

أما بالنسبة للوزن الرطب للجذور فنلاحظ من الجدول (4) تفوق معنوي للشاهد على بقية المعاملات، وأقل قيم له كانت في معاملة Cd3 عندما تركز الكاديوم في التربة 30 مغ كاديوم/كغ تربة، وكذلك تفوق الوزن الجاف للجذور في معاملة الشاهد عن جميع المعاملات، تلتها معاملات الرصاص الثلاث متراجعة قليلاً عن الشاهد ومتساوية تقريباً فيما بينها، وهو ما يتطابق إلى حد كبير مع التركيز المتقارب للرصاص في جذور الفجل مهما تزايد تركيز الرصاص في التربة (الجدول 7).

الجدول (4): بعض المؤشرات الحيوية لنبات الفجل

الصفات المدروسة للمعاملات التجريبية	نسبة الإنبات %	طول المجموع الخضري سم	عمق الجذور سم	حجم الجذور مل	الوزن الرطب للمجموع الخضري غ	الوزن الجاف للمجموع الخضري غ	الوزن الرطب للجذور غ	الوزن الجاف للجذور غ
Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
شاهد	95±7.07	33.5±6.36	6.75±1.06	47.5±3.5 ^c	23.83±1.17 ^e	1.79±0.057 ^{abc}	36.64±3.6 ^e	1.66±0.071 ^d
Cd1	100±0.0	32±5.66	6±0.71	40±7.07 ^{de}	21.09±1.43 ^{abcde}	1.57±0.19 ^{abc}	24.91±2.35 ^d	1.23±0.085 ^{bc}
Cd2	95±7.07	28±0.71	6±0.0	22.5±3.5 ^{ab}	18.35±1.69 ^a	1.41±0.057 ^a	15.32±0.56 ^{ab}	1.0±0.028 ^{ab}
Cd3	100±0.0	28.5±0.71	4.75±1.06	17.5±3.5 ^a	19.64±0.72 ^{abc}	1.44±0.13 ^{ab}	14.95±1.2 ^a	1.04±0.085 ^{ab}
Pb1	87.5±3.53	33.5±2.83	6.25±0.35	37.5±3.5 ^{cde}	22.1±1.49 ^{bde}	1.81±0.21 ^{bc}	23.19±1.32 ^{cd}	1.35±0.05 ^c
Pb2	92.5±3.53	35±1.4	6±1.41	32.5±3.5 ^{bcd}	23.65±1.91 ^{bde}	1.9±0.17 ^c	21.36±0.91 ^{abcd}	1.3±0.12 ^c
Pb3	85±7.07	32.75±1.77	6.5±0.71	35±7.07 ^{cd}	23±2.19 ^{de}	1.92±0.22 ^c	21.97±3.4 ^{bcd}	1.31±0.23 ^c
Cd1+Pb1	92.5±10.60	32±2.83	7±0.0	32.5±3.5 ^{bcd}	18.69±1.32 ^{ab}	1.75±0.26 ^{abc}	22.4±3.8 ^{cd}	1.25±0.05 ^{bc}
Cd2+Pb2	97.5±3.53	30.5±0.0	6.25±1.77	27.5±3.5 ^{abc}	20.22±1.2 ^{abce}	1.9±0.035 ^c	20.19±4.96 ^{bcd}	1.17±0.099 ^{bc}
Cd3+Pb3	97.5±3.53	31±4.24	5±0.71	20±0.0 ^a	19.04±0.88 ^{ab}	1.42±0.064 ^a	16.23±2.87 ^{abc}	0.82±0.064 ^a
P	0.236	0.573	0.436	0.001	0.020	0.031	0.001	0.001

تحديد مؤشر التحمل (TI) : Tolerance Index

وفقاً لـ Audet and Charest, 2007 ، إذا كانت قيم TI أقل من 1 ، فهذا يشير إلى أن النبات 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 ، لا تشير إلى أي فرق بالنسبة لمعاملة الشاهد (Audet and Charest, 2007).

وبتطبيق معادلة مؤشر التحمل (1) على قراءات المؤشرات الحيوية لنبات الفجل الجدول (4)، نلاحظ أنّ معظم قيم مؤشر التحمل أصغر من واحد كما هو موضح في (الجدول 5)، فمثلاً كانت قيم مؤشر التحمل للوزن الجاف للجذور تتراوح بين -0.49 و 0.81، أي أنّ التراجع في الوزن الجاف للجذور عن الشاهد كان بين 19% و 51%، بما يتوافق مع المعاملتين Pb1 و Cd3+Pb3، على التوالي، في حين تراجع الوزن الجاف للمجموع الخضري بين 12% و 21% في المعاملات Cd1 و Cd3+Pb3، على التوالي، كذلك تراجع حجم الجذور بين أقل قيمة له 16% في معاملة Cd1، وأعلى قيم وكانت 58% في معاملة Cd3+Pb3 ، و 63% في Cd3، إذاً نستطيع أن نقول تراجع الكتلة الحية الجافة للفجل بشكل معنوي حسب الجدول (4)، وكذل تراجع الوزن الرطب للجذور بنسبة 32%- 59%، والوزن الرطب للمجموع الخضري بين 1%- 23% وكان لهذا التراجع قيمة معنوية إحصائية، وهو ما تؤكد العديد من الدراسات من انخفاض الكتلة الحية للنبات عند النمو في تربة ملوثة بالمعادن الثقيلة (Anjum et al., 2012, Kaur, 2018).

أما تراجع طول المجموع الخضري فتراوح بين 4-15% في معاملات الكاديوم لوحده وهو التراجع الأكبر، في حين لم يتأثر أبداً بمعاملات الرصاص حيث $TI > 1$ ، أما بوجود الكاديوم والرصاص معاً فالتراجع كان بين 4-9%، وكان تأثر عمق الجذور بين عدم تأثر في معاملة Cd1+Pb1، وتراجع بنسبة 28% بمعاملة Cd3، وكلّ هذا التناقص لم يكن ذو قيمة معنوية حسب الجدول (4).

كان تأثير الرصاص والكاديوم على نبات الجرجير زيادة الوزن الجاف، ثم تم تقليل الوزن الجاف للجذور والمجموع الخضري بعد ارتفاع التركيز عن حدّ معين (Cannata et al., 2013)، وهذا يظهر في معاملات الرصاص بالنسبة للوزن الجاف للمجموع الخضري (الجدول 5)، لأنّ نبات الفجل لم يراكم الرصاص في مجموعه الخضري بتركيز ذات أهمية (الجدول 7).

الجدول (5): مؤشر التحمل TI للكاديوم والرصاص لنبات الفجل

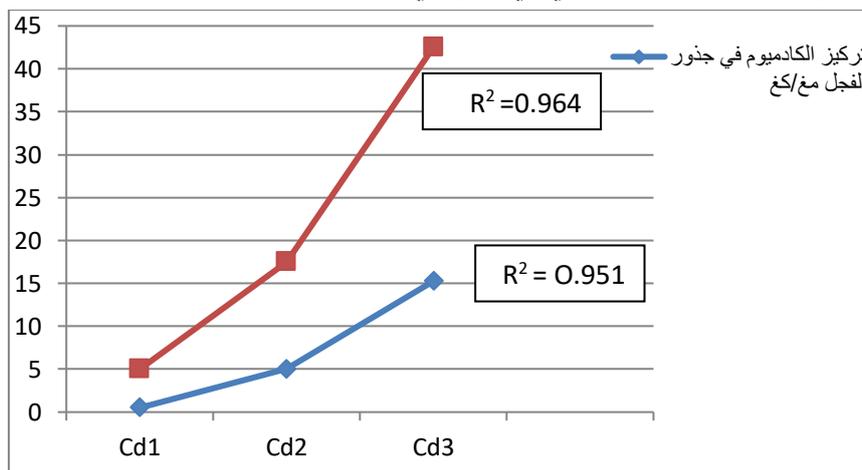
الصفات المدروسة	المعاملات التجريبية	طول المجموع الخضري سم	عمق الجذور سم	حجم الجذور مل	الوزن الرطب للمجموع الخضري غ / نبات	الوزن الجاف للمجموع الخضري غ / نبات	الوزن الرطب للجذور غ / نبات	الوزن الجاف للجذور غ / نبات
Cd1	0.96	0.89	0.84	0.89	0.88	0.68	0.74	
Cd2	0.84	0.89	0.47	0.77	0.79	0.42	0.6	
Cd3	0.85	0.72	0.37	0.82	0.81	0.41	0.62	
Pb1	1	0.93	0.79	0.93	1.01	0.63	0.81	
Pb2	1.04	0.89	0.68	0.99	1.06	0.58	0.78	
Pb3	0.98	0.96	0.74	0.97	1.07	0.6	0.79	
Cd1 + Pb1	0.96	1.04	0.68	0.78	0.98	0.61	0.75	
Cd2 + Pb2	0.91	0.93	0.58	0.85	1.06	0.55	0.71	
Cd3 + Pb3	0.93	0.74	0.42	0.8	0.79	0.44	0.49	

تأثير تلوث التربة بالرصاص والكاديوم على تركيز الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل من الكاديوم، وعلى كفاءة المعالجة النباتية

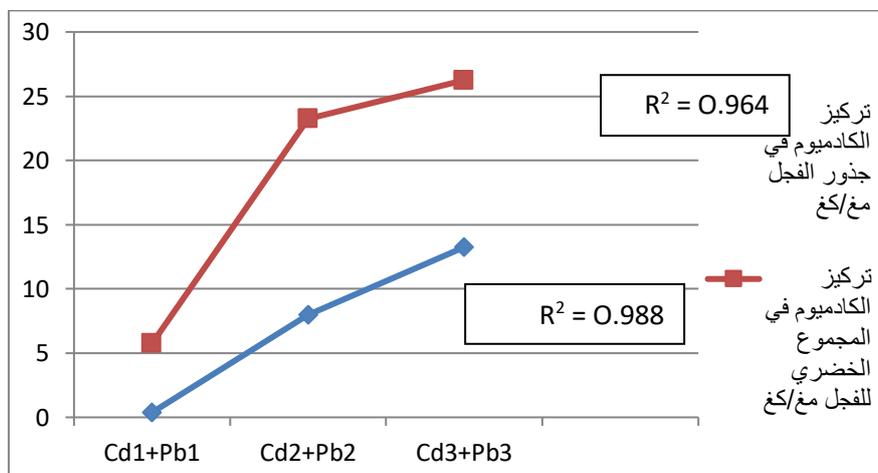
بينت نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 6) لتركيز الكاديوم في جذور الفجل تحت تأثير المعاملات المختلفة وجود فروق معنوية واضحة بين المعاملات المطبقة؛ إذ لوحظ زيادة بتركيز الكاديوم بالجذور بزيادة تركيزه في التربة بمفرده أو مع الرصاص؛ حيث بلغ أدنى تركيز كاديوم في جذور الفجل 0,375 مغ / كغ بالمادة جافة وهو يتوافق مع المعاملة Cd1+Pb1 في حين أعلى تركيز كانت قيمته 15,25 مغ / كغ بالمادة جافة في معاملة التركز الأعلى للكاديوم لوحده Cd3 ، وبالمقارنة بين الأصص التي تحتوي عنصر الكاديوم فقط والأصص التي تحتوي عنصر الكاديوم والرصاص، لوحظ أنه لم تكن هناك فروق معنوية بين امتصاص جذور الفجل للكاديوم سواء كان لوحده في التربة أم كان مترافقاً مع الرصاص، وذلك عند التراكيز المنخفضة للكاديوم وهي 3 مغ كاديوم / كغ تربة، قد يعود ذلك إلى احتمال ترسب معدن الكاديوم عند تواجده ضمن قيم منخفضة بسبب نسبة الطين المرتفعة نسبياً، ونسبة المادة العضوية المرتفعة أيضاً (Dede et al.2012)، في حين استطاع نبات الفجل مراكمة كميات أكبر من الكاديوم في جذوره بوجود تلوث بالرصاص والكاديوم معاً، مقارنةً مع وجود عنصر الكاديوم لوحده في التربة وبفروق معنوية واضحة عند المقارنة بين معاملي Cd2، و Cd2+Pb2، تتبع ذلك تراجع في تركيز الكاديوم بالجذور في المعاملة Cd3+Pb3 مقارنةً بوجود الكاديوم لوحده بنفس التركز Cd3، وبالمقابل تراوحت تراكيز الكاديوم في المجموع الخضري بين 1,75- 42,5 مغ / كغ بالمادة جافة في كل المعاملات، وبالمقارنة بين الأصص التي تحتوي عنصر الكاديوم فقط والأصص التي تحتوي عنصر الكاديوم والرصاص، لوحظ أن نبات الفجل تصرف بنفس الطريقة الملاحظة في جذوره حيث استطاع مراكمة كميات أكبر من الكاديوم في مجموعته الخضري عندما كان الملوث لوحده في التربة مما استطاع احتجازه عند مشاركته مع معدن الرصاص في الأصص التي تعرضت تربتها لتلوث بالحد الأدنى (3مغ/كغ كاديوم في التربة + 100 مغ /كغ رصاص في التربة) مع عدم وجود فروق معنوية بين الحالتين، في حين أظهر الفجل زيادة في محتوى المجموع الخضري بالتراكيز الأعلى من الكاديوم تتناسب طردياً مع تلوث التربة عندما كان الكاديوم مع الرصاص أكثر من الكاديوم لوحده وذلك عند المعاملة (15مغ/كغ كاديوم في التربة + 300 مغ /كغ رصاص في التربة) ويُعزى ذلك للتأثير التآزري بين معدني الرصاص والكاديوم ضمن النبات (Kabata Pendias and Pendias, 2001)، ثم تراجع قيم التراكيز عند مشاركة الكاديوم مع الرصاص عند الحد الأعلى للملوثين معاً (30مغ/كغ كاديوم في التربة + 700 مغ /كغ رصاص في التربة)، أظهر المجموع الخضري لنبات الفجل قدرة على مراكمة الكاديوم في مجموعته الخضري، حيث تجاوز معامل التراكم الحيوي BAC الواحد في كل المعاملات ما

عدا معاملة الحد الأعلى من الكاديوم والرصاص معاً، وهذا يدل على تعرّض الفجل للإجهاد عند تلوث عالي بالرصاص والكاديوم، في حين لم يُظهر نبات الفجل مقدرة على احتجاز الكاديوم في جذوره، حيث لم يتجاوز معامل التركيز الحيوي BCF الواحد ولا حتى اقترب منها، وكان لمعامل الانتقال أهمية كبيرة في التشجيع على اقتراح الفجل كنبات محتمل للاستخدام بالمعالجة النباتية حيث تجاوز الواحد في كل المعاملات وكان متفوقاً بمعاملات التركيز 3مغ/كغ كاديوم في التربة، وذلك بقيم 10 عندما الكاديوم لوحده، و15.39 عندما الكاديوم مع الرصاص الجدول (6).

كانت تراكيز الكاديوم في المجموع الخضري لنبات الفجل أعلى من المجال الطبيعي في النباتات 0.1- 2.4 مغ/كغ Qunshan (Wei et al., 2020)، ومع ذلك لم يتصرّف نبات الفجل كنبات فائق المراكمة للكاديوم ضمن شروط البحث الحالي وخصائص التربة المستخدمة فيه، حيث لم تتجاوز قيم الكاديوم 100 مغ كاديوم/كغ وزن جافّ نبات عند أية معاملة من المعاملات (Kabata Pendias and Pendias, 2001)، وهو ما تمّ ملاحظته من قبل (Pantola et al., 2014) على نبات الخردل الهندي *Brassica juncea* فعلى الرغم من أنه ليس مفرط التراكم، ولكنه قادر على تجميع الكاديوم والزنك والسيلينيوم والرصاص بكميات أكبر من نباتات أخرى مع كتلة حيوية كبيرة مما يجعله مرشحاً محتملاً للاستخدام بالمعالجة النباتية، ومن (الشكلين 1،2) نجد أنّ معامل الارتباط كان قوياً بين تراكيز الكاديوم في التربة وتركيزه في نبات الفجل في كل المعاملات، ممّا يؤكّد على الدور الكبير الذي يلعبه تركيز المعدن الكلي في التربة في عملية التراكم (Yildirim et al., 2019)



الشكل (1): الارتباط بين تركيز الكاديوم في الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل وتركيز الكاديوم في التربة/أصص معاملة بالكاديوم فقط



الشكل (2): الارتباط بين تركيز الكاديوم في الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل وتركيز الكاديوم في التربة/أصص معاملة بالكاديوم والرصاص

وفق ما ذكره (Amin et al., 2018)، تُعدّ النباتات التي تمتلك على قيم معامل BCF و BAC و $TF < 1$ مستخرجاً نباتياً واعداً ومناسباً لاستخراج وتثبيت المعادن الثقيلة، بينما النباتات التي تحتوي على معامل التركيز الحيوي ومعامل انتقال > 1 ليست مناسبة لاستخراج النباتي أو التثبيت النباتي، في حين تُعدّ النباتات التي تمتلك على قيم معامل $BCF < 1$ و $TF > 1$ ، مناسبة للتثبيت فقط، وتعدّ النباتات التي تمتلك نسبة تركيز المعدن في المجموع الخضري إلى نسبة تركيز المعدن الكلي في التربة أكبر من واحد، أو معامل انتقال أكبر من واحد، مرشحاً محتمل للاستخدام بالمعالجة النباتية بطريقة الاستخلاص الحيوي، Mendez et al., 2008، وبتطبيق ما سبق على نتائج دراستنا هذه نجد أنّ نبات الفجل يعدّ مرشحاً محتملاً للاستخدام بالمعالجة النباتية للكاديوم بطريقة الاستخلاص الحيوي، سواء كان الكاديوم لوحده في التربة أو مع وجود الرصاص.

الجدول (6): تأثير تلوث التربة بالرصاص والكاديوم على محتوى الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل من الكاديوم، وعلى معاملات كفاءة المعالجة النباتية

TF	BAC	BCF	تركيز الكاديوم بالمجموع الخضري	تركيز الكاديوم بالجذور	المعدن	الصفات المدروسة
Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD		المعاملات التجريبية
10±0.57 ^c	1.67±0.092 ^d	0.17±0.0 ^b	5±0.28 ^a	0.5±0.0 ^a	Cd	Cd1
3.51±0.078 ^b	1.17±0.057 ^b	0.34±0.021 ^c	17.5±0.85 ^b	5±0.35 ^b		Cd2
2.79±0.13 ^{ab}	1.42±0.035 ^c	0.51±0.035 ^e	42.5±1.06 ^e	15.25±1.06 ^e		Cd3
15.39±1.07 ^d	1.92±0.05 ^e	0.13±0.007 ^a	5.75±0.14 ^a	0.38±0.035 ^a		Cd1+Pb1
2.91±0.17 ^{ab}	1.55±0.057 ^{cd}	0.53±0.007 ^e	23.25±0.92 ^c	8±0.14 ^c		Cd2+Pb2
1.97±0.035 ^a	0.88±0.035 ^a	0.44±0.014 ^d	26.25±1.06 ^d	13.25±0.5 ^d		Cd3+Pb3
P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001		P

نلاحظ من الجدول (7) عدم وجود تناقص معنوي لقيم مردود استخلاص الكاديوم SEY_{Tcd} % بزيادة تراكيز الكاديوم في التربة، حيث كانت قيم المردود متقاربة عند وجود الكاديوم لوحده بالتراكيز الثلاثة المطبقة، مما يشير إلى أنّ زيادة التراكيز المترافقة مع زيادة التركيز الكلي للكاديوم في التربة لم يؤثر عليها تراجع وزن المادة الجافة لنبات الفجل بشكل كبير الموضح بالجدول (4)، وقد كان مردود الاستخلاص أفضل ما يمكن عند معاملتي الكاديوم والرصاص الأولى والثانية، وهي حوالي 0.35%، وهي نسبة منخفضة، لأنها تدلّ على أننا نحتاج لزراعة الفجل أكثر من 286 مرة كلّ مرة لمدة شهرين لتنظيف التربة من الكاديوم تماماً، هذه النتيجة تقودنا للتساؤل عن ماذا لو قمنا بتقدير قيمة مردود الاستخلاص نسبةً لتركيز المعدن المتاح للنبات في تربة الأوص المدروسة بدلاً من التركيز الكلي؟

بالعودة إلى (الجدول 7) نجد أنّ تركيز الكاديوم المتاح (تركيز المستخلص بنترات المغنيزيوم الذي يشمل الكاديوم الذائب والمتبادل) يتراوح بين 0.078 - 0.55 مغ/كغ وهو ما يعادل 1.3 - 2.8 % من الكلي فقط، واعتماداً عليه إذا نسبنا محتوى الكاديوم في الفجل إلى تركيز الكاديوم المتاح (الذائب والمتبادل) حسب المعادلة (5)، نجد أنّ $SEY_{(Mg(NO_3)_2)}$ % تصبح بين 9.01 - 20.75% بما يتوافق مع Cd3 و Cd3+Pb3 على التوالي، أي أننا نحتاج لزراعة الفجل بين 5 - 11 مرة فقط لمعالجة التربة من الكاديوم المتوفر حالياً للنبات.

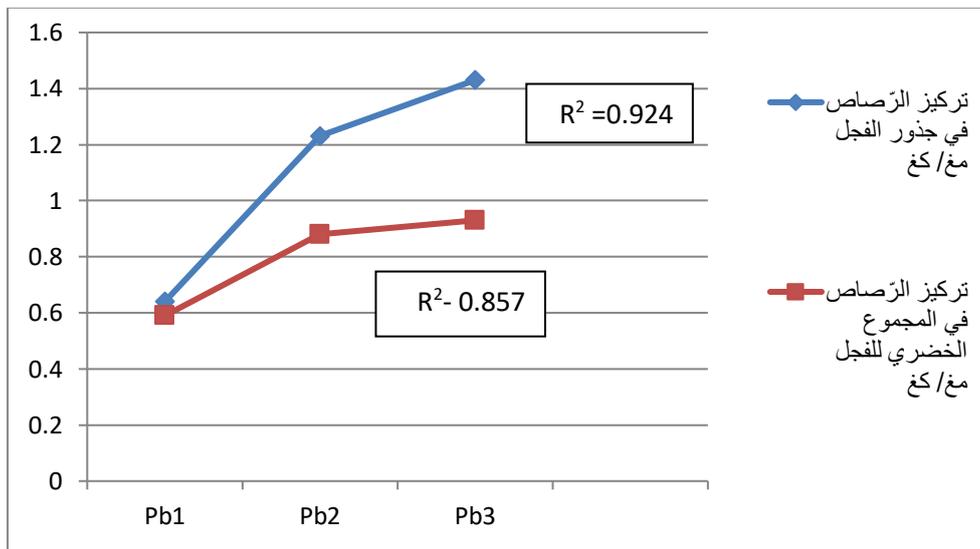
أمّا إذا افترضنا أنّ المتاح هو الذائب والمتبادل والمرتبطة بالمادة العضوية معاً أي المستخلص بماءات الصوديوم، فقد كانت تراكيزه تتراوح بين 0.13 - 1.18 مغ/كغ وهو ما يعادل 2.15 - 4.45 %، وبالتالي إذا نسبنا محتوى الكاديوم في الفجل إلى تركيز الكاديوم المستخلص بماءات الصوديوم نجد أنّ $SEY_{(NaOH)}$ % تصبح بين 4.07 - 11.84% بما يتوافق مع Cd3+Pb3 و Cd3 على التوالي (الجدول 7)، أي أننا نحتاج لزراعة الفجل بين 9 - 25 مرة لتنظيف التربة من الكاديوم المحتمل توفره للنبات.

الجدول (7): المقارنة بين قيم مردود الاستخلاص للكاديوم SEY % عند محتوى الكاديوم في النبات نسبةً إلى التركيز الكلي في التربة ، أو نسبةً لتركيز الكاديوم المستخلص بنترات المغنيزيوم، أو نسبةً لتركيز الكاديوم المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة

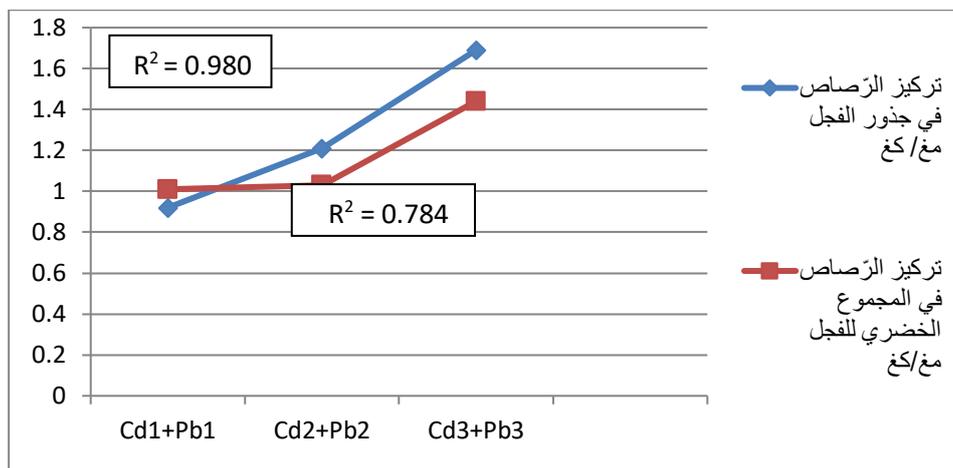
SEY% (NaOH)	تركيز الكاديوم المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة	SEY% (Mg(NO3)2)	تركيز الكاديوم المستخلص بنترات المغنيزيوم قبل الزراعة	SEY% (Total)	التركيز الكلي للكاديوم قبل الزراعة	الصفات المدروسة / المعاملات التجريبية	المعدن
6.99±2.4	0.13±0.025c	10.45±3.49	0.083±0.016c	0.28±0.045bc	3	Cd1	Cd
9.2±5.2	0.38±0.19c	15.7±10.92	0.25±0.16bc	0.2±0.18ab	15	Cd2	
11.84±0.23	0.65±0.04b	20.73±6.17	0.39±0.15ab	0.26±0.0b	30	Cd3	
8.3±1.61	0.13±0.004c	15.39±8.87	0.078±0.03c	0.35±0.059c	3	Cd1+Pb1	
8.28±1.79	0.67±0.14b	18.94±3.64	0.29±0.056abc	0.35±0.0003c	15	Cd2+Pb2	
4.07±0.13	1.18±0.07a	9.01±1.73	0.55±0.15a	0.16±0.015a	30	Cd3+Pb3	
0.209	P<0.001	0.508	0.033	0.005	-	P	

تأثير تلوث التربة بالرصاص والكاديوم على تركيز الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل من الرصاص، وعلى كفاءة المعالجة النباتية

تراوح تركيز الرصاص في جذور الفجل بين 0,64 - 1,69 مغ / كغ بالمادة جافة في كل المعاملات، وبالمقارنة بين الأصص التي تحتوي عنصر الرصاص فقط والأصص التي تحتوي عنصري الكاديوم والرصاص، لوحظ أنّ نبات الفجل احتجز كميات متقاربة في الحالتين في جذوره، وبالمقابل تراوح تركيز المجموع الخضري في نبات الفجل من الرصاص بين 0,59 - 1,44 مغ / كغ بالمادة جافة في كل المعاملات وكلّ القيم كانت ضمن المجال الطبيعي في النباتات في 0.2 - 20 مغ رصاص/كغ Qunshan (Wei et al., 2020)، وبالمقارنة بين الأصص التي تحتوي عنصر الرصاص فقط والأصص التي تحتوي عنصري الكاديوم والرصاص، لوحظ أنّ نبات الفجل احتجز كميات أكبر بقليل من الرصاص في الأصص التي تشارك فيها المعدنان (الجدول 8)، وقد تبين وجود علاقة ارتباط واضحة بين تراكيز الرصاص في الجذور والمجموع الخضري للفجل وبين تركيز المعدن الكلي في التربة، سواء بحال وجود الرصاص لوحده، (Yildirim et al., 2019) أو بحال مشاركته مع الكاديوم. (الشكلين 3,4)



الشكل (3): الارتباط بين تركيز الرصاص في الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل وتركيز الرصاص في التربة/أصص معاملة بالرصاص فقط



الشكل (4): الارتباط بين تركيز الرصاص في الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل وتركيز الرصاص في التربة/ أصص معاملة بالكاديوم والرصاص

من قراءة معاملات كفاءة المعالجة النباتية من الجدول (8) نلاحظ عدم وجود تركيز للرصاص في أنسجة الجذور بالمقارنة مع محتوى التربة منه، أي BCF أقل من واحد بكثير، وعدم مراكمته ضمن الأنسجة الخضريّة فوق سطح التربة حيث قيم BAC أقل من واحد بكثير، ولكن ما يتم احتجازه بالجذور يتم نقله للمجموع الخضري بشكل جيد وعلى الرغم من أنّ معامل الانتقال لم يتجاوز الواحد إلا في معاملة واحدة وهي (3مغ/كغ كاديوم في التربة + 100 مغ/كغ رصاص في التربة)، إلا أنّه كان قريباً من الواحد في معظم المعاملات، بشكل عام كانت التراكيز التي تمّ احتجازها في الجذور أو مراكمتها في المجموع الخضري من الرصاص غير ذات أهمية بالمعالجة النباتية، وتركيز الرصاص يقع ضمن المجال الطبيعي للرصاص بالنباتات، ويرجع التراكم الحيوي المنخفض للرصاص إلى عدم قابليته الشديدة للذوبان وعدم توفره للنبات بشكل عام في النطاق الطبيعي لدرجة حموضة التربة (Szczygowska et al., 2011)، ومع ذلك تبقى قيم TF معامل الانتقال ملفتة للنظر في قدرة نبات الفجل على نقل الرصاص نحو المجموع الخضري، وقد توجّهنا لمزيد من الدراسات الأكثر تعمقاً لهذا النبات تحت تأثير إضافة عوامل مخلبة تساعد على ربط الرصاص بمعدّات سهلة الامتصاص من قبل النبات، لزيادة ما تستطيع الجذور استخلاصه من التربة، حيث أكّدت دراسة (Hamadouche et al., 2012) قدرة الفجل العالية على مراكمة الرصاص في أجزائه المختلفة وذلك عند الريّ لمدة 30 يوم بتراكيز مختلفة من خلّات الرصاص ممّا قد يشير إلى عدم إتاحتها في ظروف التربة المستخدمة بالبحث الحالي.

الجدول (8): تأثير تلوث التربة بالرصاص والكاديوم على محتوى الجذور والمجموع الخضري لنبات الفجل من الرصاص، وعلى كفاءة المعالجة النباتية

TF	BAC	BCF	تركيز الرصاص بالمجموع الخضري	تركيز الرصاص بالجذور	الصفات المدروسة	المعدن
Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	المعاملات التجريبية	
0.92±0.042 ^{cd}	0.0059±0.00014 ^e	0.0064±0.00014 ^c	0.59±0.021 ^a	0.64±0.018 ^a	Pb1	Pb
0.71±0.003 ^{ab}	0.003±0.000071 ^c	0.0042±0.00007 ^b	0.88±0.021 ^b	1.23±0.025 ^c	Pb2	
0.65±0.052 ^a	0.0013±0.000071 ^a	0.0021±0.00007 ^a	0.93±0.067 ^{bc}	1.43±0.011 ^d	Pb3	
1.11±0.088 ^d	0.01±0.0 ^f	0.0092±0.00057 ^d	1.01±0.018 ^c	0.92±0.057 ^b	Cd1+Pb1	
0.86±0.16 ^{bc}	0.0035±0.00035 ^d	0.0041±0.00035 ^b	1.03±0.11 ^c	1.21±0.1 ^c	Cd2+Pb2	
0.86±0.019 ^{bc}	0.0021±0.0 ^b	0.0025±0.00071 ^a	1.44±0.011 ^d	1.69±0.05 ^e	Cd3+Pb3	
0.011	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P	

نلاحظ من الجدول (9) أنّ مردود استخلاص الرصاص عن طريق زراعة نبات الفجل SEY_{TPb} % منخفضاً جداً لا يتجاوز 0.0029%، وقد أكدّ Setia et al., (2018) أنّ نسبة الرصاص إلى الكتلة الحيوية الجافة للنباتات التي تنمو على تربة شديدة التلوث بالرصاص تتراوح بين 0.01-0.06% فقط، وكان تركيز الرصاص المتاح للنبات (الذائب والمتبادل) أي المستخلص بنترات المغنيزيوم يتراوح بين 0.7-2.15 مغ/كغ وهو يتفق مع 0.3-0.93% من الكلي، أي أنّ $SEY_{(Mg(NO_3)_2)}$ % بين 0.17-0.33 %، وما زالت نسبة استخلاص الرصاص منخفضة حيث أننا نحتاج لزراعة الفجل بين 300-588 مرة لمعالجة التربة من الرصاص المتوفر حالياً للنبات.

وإذا اعتبرنا أنّ الرصاص الذائب والمتبادل والمرتبطة بالمادة العضوية هو الرصاص المحتمل إتاحتها ويجب تنظيف التربة منه بالمعالجة النباتية، ستكون قيمة مردود الاستخلاص أقل بكثير وعدد مرات الزراعة أكبر، ومنه لا نستطيع اعتماد نبات الفجل لتنظيف تربة ملوثة بالرصاص، ولها مواصفات تربة بحثنا الحالي، حيث حسب الجدول (9) تراوح تركيز الرصاص المستخلص بماءات الصوديوم بين 1.84-6.18 مغ/كغ وهو ما يعادل 0.87-1.98 %، وبالتالي إذا نسبنا محتوى الرصاص في الفجل إلى تركيز الكاديوم المستخلص بماءات الصوديوم نجد أنّ $SEY_{(NaOH)}$ % تصيح بين 0.058-0.15%.

الجدول (9): المقارنة بين قيم مردود الاستخلاص للرصاص SEY % عند نسب محتوى الرصاص في التربة نسبةً إلى التركيز الكلي في التربة، أو نسبةً لتركيز الكاديوم المستخلص بنترات المغنيزيوم، أو نسبةً لتركيز الكاديوم المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة

SEY% (NaOH)	تركيز الرصاص المستخلص بماءات الصوديوم قبل الزراعة	SEY% (Mg(NO3)2)	تركيز الرصاص المستخلص بنترات المغنيزيوم قبل الزراعة	SEY% (Total)	التركيز الكلي للرصاص قبل الزراعة	الصفات المدروسة المعاملات التجريبية	المعدن
0.11±0.006 ^a	1.98±0.014 ^c	0.28±0.048	0.93±0.19 ^c	0.0019±0.00009 ^c	100	Pb1	Pb
0.066±0.0007 ^b	4.3±0.88 ^b	0.18±0.009	1.56±0.26 ^b	0.0011±0.00003 ^b	300	Pb2	
0.06±0.005 ^b	6.06±0.56 ^{ab}	0.18±0.027	2.1±0.23 ^a	0.0005±0.00009 ^a	700	Pb3	
0.15±0.019 ^a	1.84±0.17 ^c	0.33±0.1	0.7±0.09 ^c	0.0029±0.00034 ^d	100	Cd1+Pb1	
0.08±0.012 ^b	5.02±0.05 ^{ab}	0.22±0.023	1,88±0.1 ^{ab}	0.0011±0.00008 ^b	300	Cd2+Pb2	
0.058±0.005 ^b	6.48±1.97 ^a	0.17±0.02	2.15±0.04 ^a	0.00049±0.00002 ^a	700	Cd3+Pb3	
0.001	0.002	0.082	0.001	P<0.001	-	P	

الاستنتاجات

1- لم يلاحظ أي تأثير معنوي لتركيز الرصاص والكاديوم في التربة على نسبة الإنبات وعمق الجذور وطول المجموع الخضري لنبات الفجل، في حين تأثرت الكتلة الحية فقط حيث انخفض كل من حجم الجذور والوزن الجاف والرطب للجذور والوزن الجاف والرطب للمجموع الخضري بزيادة تراكيز الرصاص والكاديوم في التربة معنوياً.

2- تنخفض الكتلة الحيوية لنبات الفجل عند تعرّضه لتراكيز متزايدة من الرصاص والكاديوم، حيث كانت كل قيم مؤشر التحمل TI أقل من واحد (باستثناء المجموع الخضري لمعاملات الرصاص)، مما يشير إلى تعرّض نبات الفجل لإجهاد الكاديوم، وأظهرت الجذور تأثراً أكبر من المجموع الخضري.

3- يعدّ نبات الفجل مرشحاً محتملاً للاستخدام بالمعالجة النباتية للكاديوم بطريقة الاستخلاص الحيوي، سواء كان الكاديوم لوحده في التربة أو مع وجود الرصاص، لامتلاكه قيم BAC و $TF < 1$ حتى قيم أقل من 30 مغ كاديوم مع 700 مغ رصاص / كغ تربة حيث تناقص معامل التراكم الحيوي BAC تحت الواحد، وتراجعت قدرة الفجل على مراكمة الكاديوم كما تراجع مردود الاستخلاص $SEY\%$ مما يشير إلى تعرّض الفجل للإجهاد عند هذه التراكيز.

4- نحتاج لزراعة الفجل أكثر من 286 مرة كل مرة لمدة شهرين لتنظيف التربة من الكاديوم تماماً من تربة مواصفاتها تشبه مواصفات التربة المدروسة، وتحتوي حتى 15 مغ كاديوم وحتى 300 مغ رصاص /كغ تربة، وبما أن نسبة الكاديوم المتاح للنبات (ذائب ومتبادل) تتراوح بين 1.3- 2.8 % من الكلي فقط، تُصبح معالجة التربة من الكاديوم المتاح بزراعة الفجل ممكنة حيث نحتاج لزراعة الفجل بين 5- 11 مرة فقط.

5- كانت تراكيز الرصاص التي تم احتجازها في الجذور أو مراكمتها في المجموع الخضري من الرصاص غير ذات أهمية بالمعالجة النباتية حيث قيم BCF و $BAC > 1$ ، وقيم معامل انتقال قريبة من الواحد أو تفوقه خصوصاً عندما كان تركيز الرصاص 100 مغ/كغ تربة، وعلى الرغم من كون مردود استخلاص الرصاص منخفضاً جداً، ومع أن نسبة الرصاص المتاح للنبات (ذائب ومتبادل) أقل من 1% في جميع المعاملات ما زالت نسبة استخلاص الرصاص منخفضة حيث أننا نحتاج لزراعة الفجل بين 300- 588 مرة لمعالجة التربة من الرصاص المتوفر حالياً للنبات.

المراجع:

- الجبيلي، ريم نديم؛ الزعبي، محمد منهل؛ نيسافي، إبراهيم دراسة بعض الخصائص الكيميائية وأشكال العناصر الثقيلة في تربة مكب البصّة، جامعة تشرين 2006م.
- العودات، محمد؛ الخرفان، كامل؛ الشمالي، كمال؛ تعيين التلوث بالرصاص في معمل بطاريات السفيرة/ حلب/ والبيئة المحيطة، هيئة الطاقة الذرية، 2007م.
- جحي، زياد؛ دراسة وجود الرصاص في التربة في أماكن مختلفة من محافظتي دمشق وريف دمشق كأحد مؤشرات التلوث البيئي، جامعة دمشق 2014م.
- محمد، عابر؛ سعد، شروق؛ الاستخلاص النباتي للرصاص والكاديوم من ترب المكبات العشوائية في مدينة حمص بسورية، المجلة السورية للبحوث الزراعية، 8(5): 67-81، 2021.

- Amin, H., Arain, B.A., Jahangir, T.M., Abbasi, M. S., and Amin, F.(2018). 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*, 2(1), 51-60.
- Anjum, N.A., Sarvajeet S. G., Ahmad, I., Pereira, M.E., Pacheco, M., Duarte, A.C., Umar, Sh. and Khan, N.A. (2012). The Plant Family *Brassicaceae* - Contribution Towards Phytoremediation, *Environmental Pollution*, 21(1), 1-33.
- Audet, P., and Charest, C. (2006). Effects of AM colonization on "wild tobacco" plants grown in zinc contaminated soil. *Mycorrhiza*, 16, 277-283.
- Audet, P., and Charest, C. (2007). Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective, *Environmental Pollution*, 147(1), 231-237.
- Baker, A.J.M., Whiting, S.M.(2002). In Search for the Holy Grail-another step in understanding metal hyper-accumulation?, *New Phytologist*, 155, 1-7.
- Bortoloti, G. A., and Baron, D. (2022). Phytoremediation of toxic heavy metals by Brassica plants: A biochemical and physiological approach, *Environmental Advances*, 8.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Cannata, M.G., Carvalho, R., Bertoli, A.C., Augusto, A.S., Bastos, R.R., Carvalho, J.G., and Freitas, M.P.(2013). Effects of cadmium and lead on plant growth and content of heavy metals in

- Arugula cultivated in nutritive solution, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **44**(5), 952-961.
- Chapman, H.D.(1965). Cation exchange. In: C. A. Black (Ed.) *Methods of soil analysis - Chemical and microbiological properties*. Agronomy, **9**(2), 891-901.
- Chen, L., Long, X.H., Zhang, Z.H., Zheng, X.T., Rengel, Z., and Liu, Z.P. (2011). Cadmium accumulation and translocation in two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars, *Pedosphere*, **21**(5), 573–580.
- Cruzado-Tafur, E., Bierla, K., Torró, L.,and Szpunar, J.(2021). 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*, **10**(241),1-23.
- 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**(n/a), 201 – 213.
- Dede, G., Ozdemir, S., Dede, O.H.(2012). Effect of soil amendments on phytoextraction potential of *Brassica juncea* growing on sewage sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology*, CEERS, IAU, **9**, 559–564.
- Ghaderian,M, and Nosouhi,S.(2015). The capability of uptake and removal of toxic heavy metals from the industrial discharge of Mobarakeh Steel Complex by some metal accumulating plants, *Journal of Plant Process and Function Iranin Society Of Plant Physiology*, **4**(12),43-49.
- Ginneken, L. V., Meers, E., Guisson, R., Ruttens, A., Elst, K., Tack, F.M.G., Dejonghe, W. (2007). Phytoremediation for heavy metal contaminated soils combined with energy production. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* , **15**(4), 227–236.
- Gupta, P.K.(2000).*Soil, plant, water and fertilizer analysis*, Agrobios, Second Edition, New Dehli, India, 438.
- Hamadouche, N.A., Aoumeur, H., Djedjai, S., Slimani, M., Aoues. A. (2012).Phytoremediation potential of *Raphanus sativus* L. for leadcontaminated soil, *Acta Biologica Szegediensis*, **56**(1):43-49.
- Kabata-Pendias, A., Pendias.H. (2001).*Trace Elements in Soils and Plant*, Third Edition, London:CRC Press.
- Kapourchal, S.A., Kapourchal, S.A., Pazira, E., and Homae, M.(2009). Assessing radish (*Raphanus sativus* L.) potential for phytoremediation of lead-polluted soils resulting from air pollution, *PLANT SOIL ENVIRON*, **55**(5):202–206
- Kaur, L.(2018). 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*, **5**(2): 217–223.
- Liu, Z., Tran, Kh.(2021). A review on disposal and utilization of phytoremediation plants containing heavy metals, *Ecotoxicology and Environmental Safety* **226**.
- Malik, R. N., Husain,S. Z., and Nazir, I. (2010). Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad, *Pakistan Journal of Botany*, **42**(1), 291-301.
- Matic, N., Jena, V., Sinha, D., Ghosh. S., and Pandey, A. (2019).Accumulation and Translocation of Heavy Metals in *Coriandrum sativum*, *Journal of Applicable Chemistry*, **8** (2): 850-855
- Mendez, M.O., and Maier, R.M. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology, *Environment Health Perspective*, **116**(3), 278–283.

- Okieimen, E. F and Wuana, A. R. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Network ISRN. Ecology*, pp: (1-20).
- Pantola,R.Ch., 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., Naidu, R. (2006). Trace Elements in the Environment, Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation. CRC. Taylor and Francis Group. 726.
- 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. (2020). Phytoremediation of contaminated soil Lead and Cadmium by Brassica júncea (L.) Czern plant, *Journal of Earth Sciences & Environmental Studies*, 5(4), 110-120.
- Ramadan, A.A. (2003) Heavy Metal Pollution and Biomonitoring Plants in Lake Manzala, Egypt, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **6(13)**:1108-1117.
- Raz,A, Habib,M , Kakavand, Sh , Zahid, Z, Zahr, N, Sharif,R, Hasanuzzaman, M.(2020).Phytoremediation of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms, *Biology*, 9, 177.
- Roy, Sh., and Mondal, S.(2020). *Brassicaceae plants response and tolerance to metal/metalloid toxicity-The Plant Family Brassicaceae*, Hasanuzzaman,Singapore :Springer.
- Sarma, H. (2011). Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 118-138.
- Setia, R.C, Kaur,N, Setia,N, Nayyar, H.(2018). Heavy Metal Toxicity in Plants and Phytoremediation, *Crop Improvement: Strategies and Applications*, 206-218.
- Soltanpour. P. N and Workman. S. (1979). Modification of the NaHCO₃ DTPA soil test to omit carbon black. *Soil Sci. Plant Anal*, Vol. 10, PP: (1411-1420).
- Szczygowska, M., Piekarska, A., Konieczka P., and Namiesnik, J. (2011). Use of Brassica Plants in the Phytoremediation and Biofumigation Processes, *International Journal of Molecular Sciences*, 12, P:7760-7771.
- Thangavel, P., and Subbhuraam, C.V.(2004). Phytoextraction: Role of the Hyperaccumulator in Metal Contaminated Soils, *Indian natn.Sci. Acad*,**70**(1), 109-130.
- Waheed, A., Haxim, Y., Islam, W., Ahmad, M., Ali, S., Wen, X., Ali Khan, Kh., Ghramh, H.A., Zhang , Z., and Zhang, D.(2022). Impact of Cadmium Stress on Growth and Physio-Biochemical Attributes of *Eruca sativa* Mill, *Plants*, 11(2981).
- Walkley, A. and Black, I. A. (1934).An examination of degtjareff method for determination soil organic matter and a propsed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1)29-38.
- Yildirim ,E., Ekinici, M., Turan, M., Agar, G., Örs, S., Dursun, A., Kul, R., and Balci, T.(2019). Impact of Cadmium and Lead Heavy Metal Stress on Plant Growth and Physiology of Rocket (*Eruca sativa* L.), *KSU J. Agric Nat*, 22(6), 843-850
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. and MA, L.Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Science of The Total Environment*, 368(2-3), 456–464.

Efficiency of radish *Raphanus sativus* L. in remediating sandy- clay- contaminated -soil with lead and cadmium

Maissoun Ziadeh^{1*}, Mohammad Dikkeh¹ and Vienna Hammoud²

¹Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

²Department of Biology - Faculty of Science - University of Tartous - Tartous – Syria.

(*Corresponding author: Maissoun Ziadeh. maissounziadeh4@gmail.com).



Received: 11/ 02/ 2024 Accepted: 13/ 08/ 2024

Abstract

This study deals with evaluating the uptake and accumulation of cadmium and lead in Radish *Raphanus sativus* L. tissues in order to determine its efficiency for use in phytoremediation of lead-and-cadmium-contaminated soil, based on a pot-experiment .The results of the study showed that the concentration of lead and cadmium in the soil had a significant effect on the decrease in biomass and on the content of the roots and shoots of the Radish plant of both metals,The Radish did not behave as a hyper-accumulating plant of cadmium or lead. Based on the fact that the bioaccumulation coefficient (BAC) and the transfer factor (TF) for cadmium are greater than one for most treatments, and on the available cadmium extraction yield (SEY) ($Mg(NO_3)_2$) which reaches up to 20.75%, meaning that we need to plant radish only 5-11 times to remediate the soil from the available cadmium, it is possible to consider radish as a potential candidate for use in phytoremediation of cadmium by bioextraction.The values of the bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAC) for lead were less than one, and the values of the extraction yield of lead relative to the total concentration in the soil (SEYTPb%) were very low, not exceeding 0.0029%. Although the percentage of available lead (soluble and exchangeable) was less than 1% in all treatments the extraction yield of lead remained low, as we need to plant radish between 300-588 times to remediate the soil from the available lead.

Keywords: Phytoremediation, Brassicaceae, Bioconcentration Factor (BCF), Bioaccumulation Factor (BAC), Transfer Factor (TF), Specific Extraction Yield Percentage (SEY%).