

دراسة مخبرية حول استخدام نبات الايكورنيا لتخفيض تراكيز بعض المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصناعي

الدكتور تميم عليا*

الدكتور حسين جندي**

لينا سلامة***

(تاريخ الإيداع 2 / 4 / 2009. قُبِلَ للنشر في 10/6/2009)

□ الملخص □

الايكورنيا نبات مائي استوائي أمريكي الأصل ينمو على سطح المياه العذبة، يُستخدم هذا النبات في معالجة الصرف الصحي، ويتم حالياً دراسة إمكانية استخدامه لمعالجة الصرف الصناعي، وذلك لتخفيض تراكيز المعادن الثقيلة. أُسْتُخِدم النبات في هذه الدراسة لخفض تراكيز المعادن الثقيلة في المياه تم وفقها نمذجة التراكيز المصروفة من معامل البطاريات باستخدام نفس مجالات التراكيز و هي (100-300mgPb/l)، (15-50mgCd/l)، (5-10mgMn/l)، وتم توزيع التراكيز وفقاً لتصميم Response Surface دراسة ثلاثة عوامل وهي تراكيز العناصر الثلاثة. استمرت التجربة لمدة 14 يوماً، تم خلالها دراسة التغيرات الحاصلة على قدرة تحمل النبات للتراكيز المختلفة من خلال متابعة التغيرات المرفولوجية التي ظهرت خلال هذه المدة بالتزامن مع قياس تغيرات تراكيز العناصر الثقيلة في الوسط المائي، من خلال تحليل العناصر الثقيلة كل يومين خلال مدة التجربة. في نهاية التجربة جُمعت النباتات و تم تحديد نسب العناصر الثقيلة في كل من الجزء الهوائي (الخضري) والجزء المائي (الجزري). من خلال النتائج تم التوصل إلى أن النبات قادر على امتصاص العناصر الثقيلة من مياه الصرف الصناعي الملوثة بها، ولكن عند تراكيز محددة إلا أنه غير قادر على تحمل التراكيز العالية من العناصر الثقيلة (الرصاص والكاديميوم والمنغنيز) مجتمعة.

* أستاذ مساعد- قسم كيمياء بيئية- المعهد العالي لبحوث البيئة- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

** مدرس- قسم كيمياء بيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير)- قسم كيمياء بيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

Laboratory Study on Possibility of Using Eichhornia To Decrease The Concentrations of Some Heavy Metals in Industrial Wastewater

Dr. Tamim Alia *

Dr. Hussien Juniedi **

Liena Salama***

(Received 2 / 4 / 2009. Accepted 10/6/2009)

□ ABSTRACT □

In this study *Eichhornia crassipes* was used under varying conditions of heavy metals concentrations, due to typical study for wastewater concentrations from the batteries factories, to decrease them. Moreover, the concentrations in different media of the plants have been distributed depending on the Response Surface design for three factors 100-300mg Pb/l, 15-50mg Cd/l, 5-10mg Mn/l which are the concentrations of heavy metals in the wastewater of batteries factories. The experiment has continued for fourteen days in which a study has been made for the current changes over the plants endurance for the different concentrations by continuing the morphologic changes which have appeared through this period. The heavy metals concentrations of the media were measured during two days. At the end of the experiment, analyses for metals were also carried out on the plant samples to determine the effect of different media on metal accumulation by roots and aerial parts of the plants. The results showed that the plant can absorb heavy metals from the industrial wastewater which is polluted by them, but at certain concentrations. It is unable to survive in a mixture of high heavy metals concentrations of these three factors together (Pb, Cd, Mn).

Keywords: Heavy metal- *Eichhornia*- Industrial Wastewater.

* Associate Professor, Department of Environmental Chemistry, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, Department of Environmental Chemistry, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Environmental Chemistry, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

الايكوريا هو نبات مائي استوائي أمريكي الأصل يتميز بوروده الفائقة الجمال ينمو على سطح المياه العذبة (أنهار وبحيرات)، ويعتمد في نموه على المغذيات المتوفرة في المياه، وعلى كثافة الضوء، ودرجة حرارة الجو [1]. عملت التغيرات المناخية ودخول الملوثات إلى الأوساط المائية على انتشار هذا النبات على نطاق واسع بعيداً عن أماكن نموه التقليدية. استخدم نبات الايكوريا في معالجة مياه الصرف الصحي لقدرته العالية على النمو، وتحمله لمستوى عالٍ من الملوثات (النترات و الفوسفور بالإضافة إلى الـ BOD والمعادن السامة المختلفة (Pb, As, Zn, Mn, Co, Cd, Fe)، وذلك كعامل مساعد للمعالجة بالعمليات الكيميائية والفيزيائية المكلفة وغير الفعالة في بعض الحالات [2]. حديثاً تركّزت الكثير من الدراسات حول إمكانية استخدام هذا النبات، والنباتات المائية الأخرى في خفض نسبة المعادن الثقيلة من المياه الملوثة [1,3,4,5,6,7,8,9,10,11]. دُرِس في بحث سابق إمكانية إزالة الزرنيخ من مياه الشرب باستخدام نبات الايكوريا، ووُجد أن الايكوريا تقوم بتجميع معظم الزرنيخ في حوصلاتها، والقليل منه في جذورها [3]. كما دُرِس إمكانية إزالة الرصاص من مياه الصرف الصناعي باستخدام نبات الايكوريا، ووُجد أن الرصاص يتجمع بشكل رئيس في الجذور، بينما يكون تركيزه منخفضاً في الأوراق [4]. تضمنت العديد من الدراسات إجراء مقارنة لقدرة بعض النباتات المائية، على إزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصناعي ومنها نبات الايكوريا. وجد أن أوراق نبات الإيكوريا راكمت الكروم بشكل أساسي، بينما تجمع الكاديوم في الجذور [5]. وعند مقارنة الايكوريا بنوعين من النباتات المائية (P. stratiotes and S. polyrrhiza)، وجد أنها الأفضل من حيث قدرتها على امتصاص المعادن الثقيلة [6]. وبدراسة أخرى استخدم نبات الايكوريا لإزالة الكروم والتوتياء بتركيز مختلفة، فكانت نسبة الإزالة لمعدن الكروم 84% ولمعدن التوتياء 95%، وظهرت علامات مورفولوجية لسمية الكروم عند التراكيز 10-20 mg/l [7]. وفي دراسة فعالية النبات وقدرته على امتصاص المعادن الثقيلة (Fe) بوجود تراكيز مختلفة من المغذيات (TN,TP) وُجد أن النبات يجمع أكبر قدر ممكن من المعدن في الأوساط الفقيرة بالمغذيات [1].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية استخدام نبات الإيكوريا ضمن بيئة مراقبة كطريقة طبيعية صديقة للبيئة، وغير مكلفة للتخلص من المعادن الثقيلة الموجودة في مياه الصرف الصناعي، مما يمكن من خفض تأثيراتها البيئية الضارة جداً، ويساعد على إعادة استخدامها في مجالات زراعية، مما يزيد من كمية المياه المتاحة، ويعزز الأمن المائي خاصة أننا نعاني من نقص المياه، باعتبار أن بلدنا ينتمي إلى منطقة شبه جافة، ويعتمد بشكل كبير على الزراعة في اقتصاده الوطني.

طرائق البحث ومواده:

تم الحصول على نبات الايكوريا من نهر الأبرش في محافظة طرطوس²، جنوب منطقة الحميدية. استخدم 21 وعاءً بلاستيكيًا في حيز مفتوح ومغطى بطبقة بلاستيكية شفافة ترتفع عن النبات بمقدار 1.5 متر حيث تم طمر كل منها في التراب حتى مستوى ارتفاع الماء بهدف العزل الحراري. أجريت التجربة خلال الفترة الواقعة

² بدأت هذه النبتة بالظهور في هذه المنطقة من النهر منذ أكثر من خمسة أعوام و ذلك وفق إفادات السكان المحليين.

بين (21/4/2008-4/5/2008)، حيث كانت درجة حرارة الجو تتراوح ضمن المجال $15-23^{\circ}\text{C}$. وُضع في كل وعاء 5 liter من الماء منزوع الشوارد، وزُودت بأنابيب مربوطة بمضخة هواء لتأمين التهوية المناسبة الدورية للماء بهدف محاكاة الظروف الطبيعية لنمو النبات، وأضيف إلى كل وعاء 5ml من محلول مغذي للنبات يحتوي على مواد مغذية وفقاً للتراكيز الآتية:

1.5 mol/l $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

0.5mol/l MgSO_4

0.05mol/l Fe-EDTA

كما تمّت تغذية النبات باستخدام سماد ورقي تجنّباً لترسب العناصر الثقيلة عند وضع أملاح العناصر المغذية في المحلول المائي. والهدف من استخدام السماد الورقي هو تأمين كل من الفوسفور و البوتاسيوم والعناصر النادرة اللازمة لنمو النبات. وتمّ تحضيره وفقاً لتعليمات المنتج بتمديده بالماء المنزوع الشوارد بنسبة $250\text{cm}^3/100\text{liter water}$ ، ليصار إلى استخدامه بطريقة الرش على الأوراق كل ثلاثة أيام. ويبين الجدول رقم (1) تركيب السماد الورقي المستخدم.

الجدول رقم (1): تركيب السماد الورقي المستخدم لتغذية النبات.

العنصر	التركيز	العنصر	التركيز	العنصر	التركيز	العنصر	التركيز
آثار	Mo	0.15gr/l	Zn	3gr/l	Fe	12gr/l	آزوت (N)
آثار	Co	0.3gr/l	Mn	0.03gr/l	Cu	12gr/l	فوسفور (P_2O_5)
آثار	Ni	0.3gr/l	Mg	0.3gr/L	B	12gr/l	بوتاسيوم (K_2O)

أضيفت المعادن الثقيلة إلى العبوات التي تحتوي على الماء منزوع الشوارد بشكل أملاح النترات [أضيف الرصاص على شكل محلول نترات الرصاص $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ، والمنغنيز على شكل محلول نترات المنغنيز المائية $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، والكاديوم على شكل نترات الكاديوم رباعية الهيدرات $[\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ وحُدّدت تراكيز المعادن في كل وعاء في الجدول رقم (2) وفقاً لتصميم سطوح الاستجابة Response Surface والذي استُخدم بالاستعانة بالبرنامج الإحصائي 13 minitab، حيث حُدد في التصميم التركيز الأعلى والأدنى لكل من الرصاص بـ 100-300ppm والمنغنيز بـ 15-50 ppm والكاديوم بـ 5-10ppm، وهذه التراكيز تمثل تركيز المعادن الثقيلة الرئيسة في الصرف الصناعي الناتج عن معمل البطاريات [12]. وُضعت في الأوعية نباتات متقاربة في الوزن. وتمّ المحافظة على حجم الماء في الأوعية بإضافة الماء المقطر (المنزوع الشوارد) للأوعية يومياً. كما أُضيف 5ml من المغذيات الأنفة الذكر كل ثلاثة أيام، وذلك للمحافظة على الوسط الملائم لنمو النبات.

الجدول رقم (2) يبين توزيع تراكيز المعادن في الأوساط المائية للنباتات وفقاً لتصميم سطوح الاستجابة.

sample	تركيز العناصر الثقيلة		
	Pb(ppm)	Cd(ppm)	Mn(ppm)
S0	0.000	0	0
S1	300.000	15	5
S2	100.000	50	5
S3	368.179	32.5	7.5
S4	200.000	61.93	7.5
S5	300.000	50	10
S6	200.000	3.06	7.5
S7	300.000	50	5
S8	100.000	15	10
S9	100.000	50	10
S10	200.000	32.5	3.29
S11	200.000	32.5	11.70
S12	300.000	15	10
S13	200.000	32.5	7.5
S14	31.821	32.5	7.5
S15	200.000	32.5	7.5
S16	200.000	32.5	7.5
S17	200.000	32.5	7.5
S18	200.000	32.5	7.5
S19	200.000	32.5	7.5
S20	100.000	15	5

خلال مدة التجربة تم متابعة وتسجيل حالة النباتات يومياً من خلال متابعة التغيرات الشكلية (المرفولوجية) التي طرأت عليها خلال مدة إجراء التجربة، كما تم وزن النبات في بداية التجربة وعند نهايتها، ومتابعة التغيرات في تراكيز العناصر الثقيلة في المحلول بأخذ عينة من المحلول الناتج في بداية التجربة وكل يومين خلال مدة إجرائها، لتحديد نسبة العناصر الثقيلة (الرصاص، المنغنيز، الكاديوم). استمرت التجربة لمدة 14 يوماً، وبنهاية التجربة أخذ النبات، ووُزن ثم فصل القسم الجذري (الجنور) عن القسم الهوائي (الأوراق والحويصلات)، وجُفف كل جزء بشكل منفصل ثم وُزن وطُحن للحصول على مسحوق متجانس. قُدِّرت نسبة العناصر الثقيلة في المسحوق الناتج بعد تهضيمه بالطريقة الرطبة، حيث أخذ (0.25gr) من العينات وأضيف إليها 11ml من (65% extra pure HNO₃) و 5ml من (35% extra pure H₂O₂) وهُضمت باستخدام المايكرويف (Questron Technologies Corp) وفقاً لبرنامج التهضيم التالي:

200W لمدة 3min و 400W لمدة 5min و 200W لمدة 80min [13].

استُخدم جهاز الامتصاص الذري بتقنية اللهب (Shimadzo AA6800) لتحديد نسبة العناصر الثقيلة في المحلول وفي النبات، حيث إن حدود الكشف بهذه الطريقة للرصاص هي 2.5ppm وللكاديوم هي 0.12ppm وللمنغنيز هي 0.28ppm و RSD=2%.

النتائج والمناقشة:**1-التغيرات المورفولوجية الحاصلة للنبات**

من خلال متابعة التغيرات الشكلية (المورفولوجية) الحاصلة للنبات خلال التجربة تم التوصل إلى النتائج المبينة

في الجدول رقم (3).

الجدول (3) تركيز العناصر الثقيلة في الأوساط المائية عند بداية التجربة والتغيرات المورفولوجية الحاصلة للنبات خلال التجربة

sample	تركيز العناصر الثقيلة عند بداية التجربة			حالة النبات خلال التجربة (يوم)							
	Pb(ppm)	Cd(ppm)	Mn(ppm)	0	1	3	5	7	9	11	13
S0	0.000	0	0	H	H	H	H	H	H	H	H
S1	300.000	15	5	H	H	H	UY	UY	UB	UP	UC
S2	100.000	50	5	H	H	UB	UB	UP	UC	UD	-
S3	368.179	32.5	7.5	H	H	UY	UB	UB	UP	UD	-
S4	200.000	61.93	7.5	H	H	UB	UP	UC	UC	UD	-
S5	300.000	50	10	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S6	200.000	3.06	7.5	H	H	H	UY	UY	UB	UB	UP
S7	300.000	50	5	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S8	100.000	15	10	H	H	H	H	UB	UB	UP	UP
S9	100.000	50	10	H	H	UB	UB	UP	UC	UD	-
S10	200.000	32.5	3.29	H	H	H	UY	UB	UP	UC	UD
S11	200.000	32.5	11.70	H	H	UY	UY	UP	UC	UD	-
S12	300.000	15	10	H	H	H	UY	UY	UB	UP	UC
S13	200.000	32.5	7.5	H	H	UY	UY	UB	UP	UB	-
S14	31.821	32.5	7.5	H	H	H	UB	UP	UC	UD	-
S15	200.000	32.5	7.5	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S16	200.000	32.5	7.5	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S17	200.000	32.5	7.5	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S18	200.000	32.5	7.5	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S19	200.000	32.5	7.5	H	H	UY	UB	UP	UC	UD	-
S20	100.000	15	5	H	H	H	UY	UB	UP	UP	UC

حيث:

H(Healthy) النبات بحالة جيدة.

UY(Unhealthy, and Yellow) النبات بحالة غير جيدة مع وجود أوراق صفراء.

UB(Unhealthy, and Brown) النبات بحالة غير جيدة مع وجود أوراق بنية.

UP(Unhealthy, and Partial wilting) النبات بحالة غير جيدة مع ذبول جزئي.

UC (Unhealthy, and Complete wilting) النبات بحالة غير جيدة مع ذبول كامل ومعظم أوراقه قد ماتت.

UD (Unhealthy, and deteriorated) النبات بحالة غير جيدة مع ذبول كامل وتلف (موت) كامل النبات.

من خلال الجدول نلاحظ أن النباتات استطاعت أن تقاوم وتبقى حية حتى نهاية التجربة في الأوساط المائية التي تحتوي على عنصر الكاديوم بتركيز أقل من 15ppm. بالمقابل نجد أن معظم النباتات في الأوساط المائية التي تحتوي على تركيز كاديوم أعلى من ذلك لم تستطع المقاومة والبقاء حتى نهاية التجربة. وهذا يتفق مع نتائج

دراسة سابقة ذكرت أن النبات لا يستطيع مقاومة الأوساط التي تحوي مزيجاً من المعادن الثقيلة مجتمعة (Cr, Cd, Cu, Co, Mn, Ni, Pb, Zn) بتركيز 50ppm لكل منها [14].

2- تأثير التراكيز المختلفة للعناصر الثقيلة على نمو النبات

يهدف دراسة مدى نمو النبات خلال مدة إجراء التجربة وتأثير التراكيز المختلفة للعناصر الثقيلة على نمو النبات تم وزن النبات في بداية ونهاية التجربة لتقدير نسبة الزيادة ويظهر الجدول رقم (4) النتائج التي تم التوصل إليها. الجدول رقم (4) تأثير التراكيز المختلفة للعناصر الثقيلة على نمو النبات.

Sample	W1	W2
S0	73.23	210.56
S1	84.36	91.25
S2	72.56	76.54
S3	79.54	85.81
S4	38.23	42.84
S5	83.12	88.62
S6	35.36	43.61
S7	81.25	85.98
S8	78.54	98.65
S9	76.68	80.91
S10	36.36	40.35
S11	38.87	44.67
S12	82.56	89.51
S13	35.94	40.95
S14	86.84	96.54
S15	37.51	41.25
S16	36.58	39.998
S17	35.82	37.885
S18	38.12	40.98
S19	36.32	40.51
S20	75.12	94.81

حيث :

W1 وزن النبات في بداية التجربة

W2 وزن النبات في نهاية التجربة

من خلال النتائج المبينة في الجدول رقم (4) نجد أن النباتات التي وضعت في المياه الملوثة بالعناصر الثقيلة كان نموها ضعيفاً جداً خلال مدة التجربة، ولا يوجد تغير ملموس في وزنها، بالمقابل نجد أن النبات في تجربة الشاهد كان نموه كبيراً، وقد تضاعف وزنه في نهاية التجربة أي بعد أربعة عشر يوماً. وأشارت إحدى الدراسات إلى نتيجة مشابهة، وهي أن النبات أظهر انخفاضاً بالوزن بنسبة 30% عند تراكيز أعلى من 9ppm للتوتياء [15]، وهذا يدل على التأثير الكبير لوجود العناصر الثقيلة في المحلول وقدرتها على تثبيط نمو النبات وموته عند التراكيز العالية لهذه العناصر رغم توفر جميع العناصر اللازمة لنموه.

3-تغير تراكيز العناصر الثقيلة في الأوساط المائية خلال مدة التجربة

تم قياس تراكيز العناصر الثلاثة في الأوساط المائية خلال مدة التجربة بمعدل كل يومين باستخدام جهاز الامتصاص الذري ودونت النتائج في الجدول رقم (5).

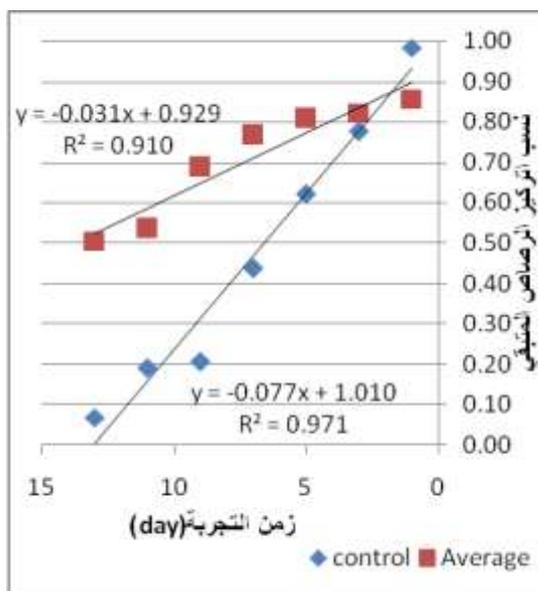
من خلال الجدول رقم (5) يتبين أن النبات رغم أنه لم يستطع مقاومة وجود العناصر الثقيلة مجتمعة في المحلول إلا أنه خَفَضَ تركيز كل من الرصاص والكاديوم والمنغنيز خلال إجراء التجربة، وارتبط هذا التخفيض بتراكيز المعادن الابتدائية في المحلول. ولإظهار طبيعة العلاقة بين نسبة تركيز العناصر المتبقية وزمن التجربة تم رسم مخططات لمتوسط نسب تراكيز المعادن الثلاثة المتبقية في جميع الأوساط المائية مع تركيزها في تجربة الشاهد خلال مدة التجربة حيث تم حساب نسبة تركيز كل من الرصاص والكاديوم والمنغنيز المتبقية في الأوساط المائية المقاسة بمعدل كل يومين إلى التركيز الأساسي. وفقاً للعلاقة:

$$\text{نسبة تركيز العناصر المتبقية} = \frac{\text{التركيز الحالي}}{\text{التركيز الأساسي}}$$

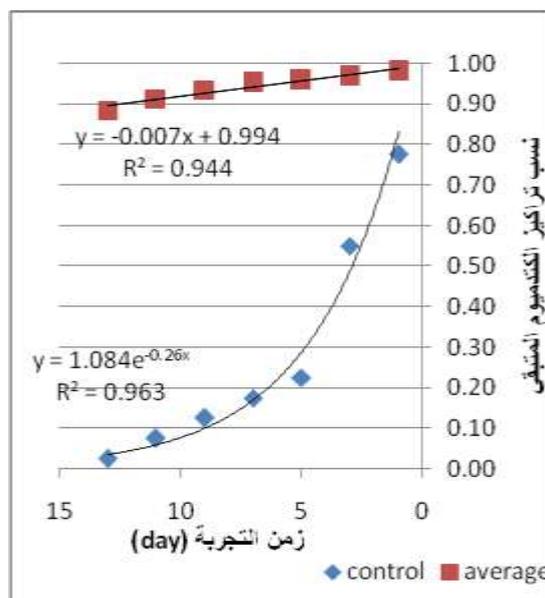
وتم رسم المخططات التي تبين العلاقة بين متوسطات نسبة تركيز العناصر المتبقية وزمن التجربة مع عينة الشاهد (المخططات 1,2,3).

الجدول (5) بين تراكيز الرصاص والكاديوم والمنغنيز في الأوساط المائية خلال مدة التجربة .

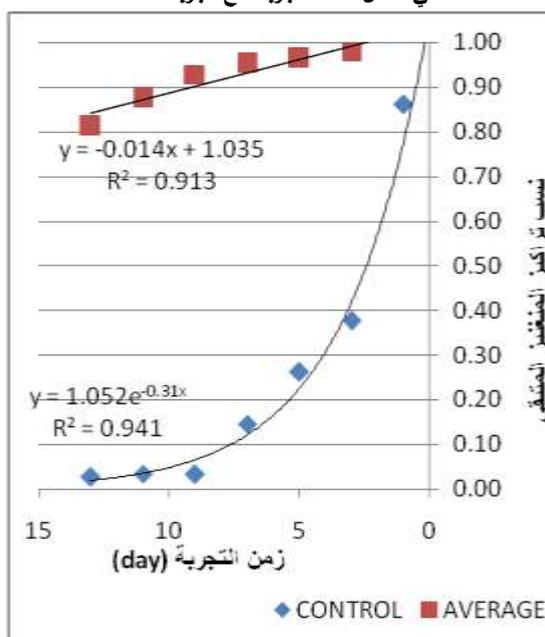
sample	0 day			1 day			3 day			5 day			7 day			9 day			11 day			13 day		
	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd	pb	Mn	Cd
S0	0.058	0.65	0.04	0.057	0.56	0.031	0.045	0.0245	0.022	0.036	0.017	0.009	0.025	0.0095	0.007	0.012	0.0021	0.0005	0.011	0.0019	0.0003	0.004	0.0017	0.0001
S1	298.9	5.02	14.98	251.4	4.99	14.48	236.7	4.86	14.64	221.6	4.63	14.52	205.1	4.85	14.44	176.1	4.75	14.35	132.4	4.69	14.24	107.8	4.51	14.13
S2	99.8	5.01	49.78	80.1	4.99	48.36	75.9	4.81	47.49	61.8	4.71	46.39	66.7	4.09	45.72	51.3	4.56	45.33	45.5	3.38	45.18	-	-	-
S3	367.9	7.48	32.48	305.3	7.07	32.85	303.5	6.93	32.06	298.9	6.84	31.83	241.3	6.79	31.31	226.8	6.06	31.06	220.4	5.74	30.78	-	-	-
S4	199.9	7.49	62.09	170.8	7.47	60.84	167.7	7.44	59.34	151.5	7.32	58.18	161.7	7.24	57.54	146.2	7.10	55.60	104.6	7.03	53.19	-	-	-
S5	299.9	10.03	49.76	210.9	11.53	48.18	206.6	10.58	48.06	199.4	10.84	47.68	199.2	11.12	47.25	185.7	10.27	46.27	179.0	8.53	45.67	-	-	-
S6	201.3	7.67	3.04	181.2	8.54	3.03	172.7	7.33	3.02	174.8	7.17	3.0	154.1	7.07	2.99	149.9	6.96	2.55	117.8	6.67	2.07	112.5	6.41	1.98
S7	302.2	5.05	49.93	218.9	4.98	48.23	209.2	4.97	47.94	211.7	4.76	46.57	199.8	4.64	45.78	171.3	4.23	44.42	164.2	3.12	43.91	-	-	-
S8	102.5	10.18	14.97	98.6	11.42	14.18	93.9	10.75	13.98	87.6	10.93	13.65	88.3	11.01	13.19	85.1	9.98	13.06	65.2	10.63	12.92	59.9	7.49	12.51
S9	99.9	10.18	51.06	85.8	10.01	48.33	73.6	9.94	46.40	73.9	9.82	45.38	67.3	9.79	44.39	62.5	9.31	43.91	42.9	8.33	41.58	-	-	-
S10	202.6	3.25	32.49	187.0	3.20	31.94	169.8	3.03	31.84	187.8	2.97	31.69	167.4	2.85	31.55	146.2	2.75	31.19	116.7	2.63	31.08	105.2	2.53	31.01
S11	199.9	11.48	32.48	152.5	11.25	31.43	156.8	11.04	31.15	156.7	10.94	30.79	138.8	10.86	30.67	136.9	10.74	30.50	90.3	10.60	30.42	-	-	-
S12	299.7	10.08	14.91	253.9	10.01	14.79	256.5	9.97	14.55	264.8	9.89	14.53	219.3	9.78	14.50	203.2	9.61	14.22	148.5	9.44	14.08	130.8	9.34	13.99
S13	201.1	7.49	32.47	136.3	7.39	31.91	134.2	7.28	31.82	146.5	7.21	31.78	134.0	7.13	31.53	120.2	7.06	31.26	90.7	7.50	30.94	-	-	-
S14	31.5	7.48	32.97	29.9	7.44	32.04	25.8	7.31	31.91	25.4	7.22	31.86	26.7	7.15	31.64	21.5	7.07	31.27	17.7	7.09	30.97	-	-	-
S15	199.9	7.49	32.52	156.1	7.43	31.98	150.2	7.41	31.84	154.3	7.38	31.79	141.9	7.15	31.68	133.4	7.10	31.45	100.6	7.08	30.95	-	-	-
S16	201.8	7.50	32.41	190.3	7.48	31.97	196.7	7.39	31.74	205.7	7.20	31.69	202.1	7.15	31.59	188.3	7.08	31.51	121.6	7.07	30.48	-	-	-
S17	199.8	7.50	32.45	186.6	7.47	31.94	195.5	7.37	31.71	169.5	7.27	31.67	176.3	7.17	31.61	151.5	7.14	31.57	119.9	7.12	30.53	-	-	-
S18	201.5	7.50	32.33	187.7	7.48	31.83	184.4	7.35	31.63	194.1	7.25	31.52	173.8	7.33	31.36	148.6	7.32	31.05	106.1	7.27	30.63	-	-	-
S19	202.6	7.49	32.55	188.8	7.35	31.95	179.4	7.31	31.68	185.4	7.28	30.92	180.6	7.18	31.313	152.2	7.09	31.02	107.3	7.04	30.93	-	-	-
S20	101.8	5.09	15.04	98.4	5.01	15.14	87.1	4.99	14.97	75.7	4.74	14.89	79.2	4.65	14.888	71.9	4.61	14.86	60.7	4.19	14.85	58.3	3.58	14.75



المخطط (2) متوسط نسب تراكيز الرصاص المتبقي في الوسط المائي خلال مدة التجربة مع تجربة الشاهد



المخطط (1) متوسط نسب تراكيز الكاديوم المتبقي في الوسط المائي خلال مدة التجربة مع تجربة الشاهد



المخطط (3) متوسط نسب تراكيز المنغنيز المتبقي في الوسط المائي خلال مدة التجربة مع تجربة الشاهد

من خلال المخططات الثلاثة نلاحظ أن انخفاض تراكيز المعادن الثلاثة في عينة الشاهد مع زمن التجربة يتبع علاقة خطية لمعدن الرصاص فقط، أما لمعدني الكاديوم و المنغنيز فيتبع علاقة أسية، ويمكن تفسير ذلك بنشاط النبات في هذا الوسط بسبب توفر المواد المغذية وغياب العناصر الثقيلة المثبطة، مما يساعد على امتصاص المعادن

الثلاثة من المحلول بسرعة في البداية وتوقفه في النهاية بسبب وصول المعادن إلى تراكيز منخفضة تقترب من الصفر، واختلاف نموذج علاقة الارتباط يمكن أن يعود لطبيعة امتصاص النبات للعنصر الثقيل الموجود. وكذلك من خلال المخططات السابقة نلاحظ أن ارتباط متوسط نسب تراكيز المعادن الثقيلة المتبقية في الأوساط المائية مع زمن التجربة يتبع لعلاقة خطية للمعادن الثلاثة ويميل هذه العلاقة الخطية لمعدن الرصاص كان 0.031 في حين أنه لمعدن الكاديوم كان 0.007 ولمعدن المنغنيز 0.014 ومن هذه القيم نلاحظ ارتفاع قيمة ميل العلاقة الخطية لامتناس الرصاص مقارنة بكل من الكاديوم والمنغنيز، وهذا يمكن اعتباره مؤشراً لقدرة النبات على امتصاص الرصاص بشكل أكبر من قدرته على امتصاص العناصر الثقيلة الأخرى.

4-تركيز العناصر الثقيلة في قسمي النبات (القسم الجذري و القسم الهوائي)

بهدف دراسة قدرة النبات على مراكمة العناصر الثقيلة في أنسجته المختلفة وتوزع هذه العناصر بين أنسجة النبات تمّ قياس تركيز العناصر الثلاثة في أجزاء النبات المختلفة وبيّن الجدول رقم 6 نتائج هذه القياسات.

الجدول(6) يبين تراكم المعادن الثقيلة في القسم الجذري و الهوائي للنبات .

pb ppm	R(pb)×10 ⁴	A(pb)×10 ⁴	Mn ppm	R(Mn)×10 ⁴	A(Mn)×10 ⁴	Cdppm	R(Cd)×10 ⁴	A(Cd)×10 ⁴
0	0.007	0.001	0	0.143	0.018	0	0	0.001
300	13.471	4.535	5	0.029	0.055	15	0.11	0.102
100	7.113	2.291	5	0.193	0.043	50	0.362	0.331
368.179	12.784	7.522	7.5	0.238	0.103	32.5	0.235	0.385
200	10.932	3.948	7.5	0.107	0.083	61.931	0.406	0.409
300	10.746	4.689	10	0.157	0.105	50	0.368	0.35
200	9.318	3.803	7.5	0.032	0.038	3.069	0.134	0.138
300	11.969	5.718	5	0.198	0.068	50	0.382	0.369
100	7.37	1.483	10	0.099	0.154	15	0.106	0.103
100	7.842	2.634	10	0.256	0.141	50	0.332	0.367
200	10.345	3.595	3.296	0.043	0.026	32.5	0.234	0.232
200	9.563	3.46	11.705	0.233	0.114	32.5	0.237	0.234
300	12.463	5.557	10	0.059	0.078	15	0.1	0.108
200	9.837	3.842	7.5	0.154	0.088	32.5	0.244	0.245
31.821	2.559	0.989	7.5	0.048	0.06	32.5	0.233	0.236
200	9.428	3.492	7.5	0.184	0.077	32.5	0.229	0.219
200	9.612	3.42	7.5	0.038	0.074	32.5	0.234	0.237
200	10.338	3.487	7.5	0.064	0.101	32.5	0.239	0.26
200	10.318	3.779	7.5	0.088	0.124	32.5	0.234	0.23
200	10.869	3.335	7.5	0.044	0.104	32.5	0.277	0.231
100	7.425	1.551	5	0.055	0.068	15	0.101	0.103

حيث: R تركيز المعدن في القسم الجذري (Rooted part).

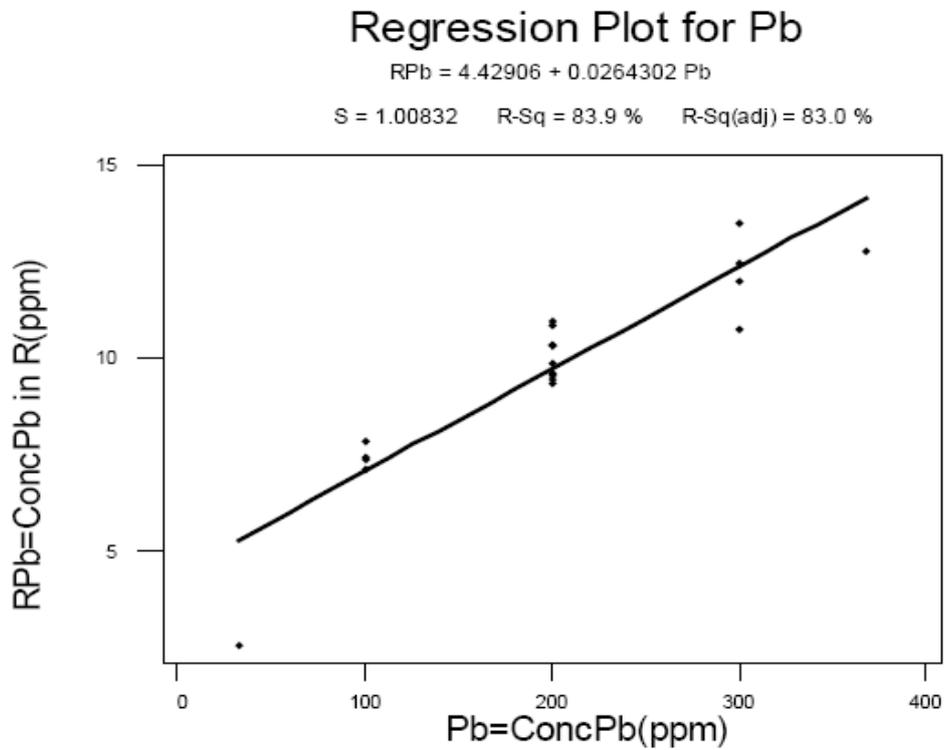
A تركيز المعدن في القسم الهوائي (Arial part).

$R \times 10^4$ محسوبة بالـ $\mu\text{gr/gr dry weigh}$ (ppm).

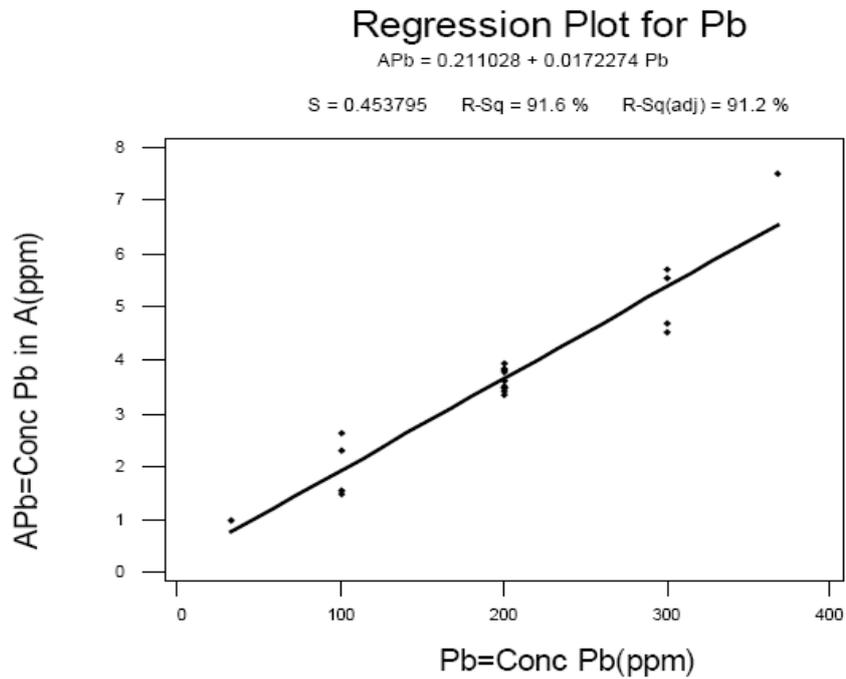
$A \times 10^4$ محسوبة بالـ $\mu\text{gr/gr dry weigh}$ (ppm).

من خلال النتائج المبينة في الجدول رقم (6) نلاحظ أن النبات قد استطاع أن يراكم كميات كبيرة من الرصاص في قسميه خلال مدة التجربة، وكان تراكم الرصاص بشكل كبير في قسمه الجذري قياساً مع قسمه الهوائي. وهذا يتفق

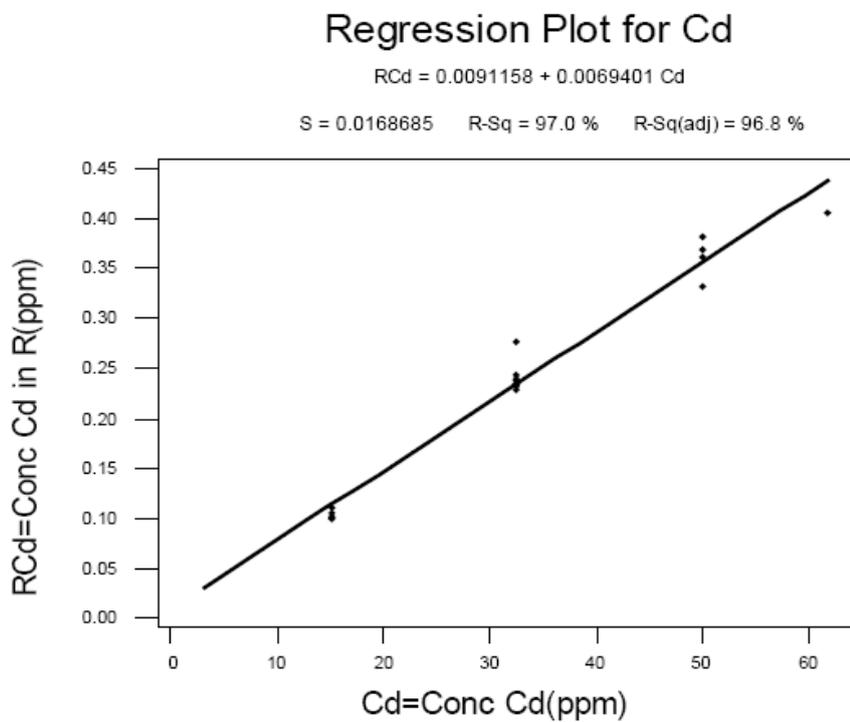
مع نتائج دراسات سابقة بينت أن النبات يستطيع أن يراكم الرصاص في جذوره أكثر من أوراقه وحوصلاته [4,14,16]. وارتبطت زيادة نسبة الرصاص الموجودة في النبات بقسميه الهوائي والجذري بزيادة تركيز الرصاص في الوسط المائي الموجود فيه النبات. أما الكاديوم فقد كانت نسبته في القسمين الهوائي والجذري تقريباً متساوية. وأظهرت الدراسة الإحصائية عدم وجود ارتباط معنوي بين تراكم معدن المنغنيز في أجزاء النبات وتركيزه في الأوساط المائية؛ بالمقابل تبين أنه يوجد ارتباط معنوي لتراكم كل من معدني الرصاص والكاديوم ($P < 0.01$) في أجزاء النبات وتركيزهما في الأوساط المائية. وتُظهر المخططات (4,5,6,7) علاقة تركيز الرصاص والكاديوم في قسمة النبات (R,A) على التوالي مع تراكيز الأوساط المائية التي ينمو فيها النبات.



المخطط (4) يبين علاقة تركيز الرصاص في القسم الجذري للنبات مع تركيز الرصاص في الأوساط المائية.



المخطط (5) يبين علاقة تركيز الرصاص في القسم الهوائي للنبات مع تركيز الرصاص في الأوساط المائية.

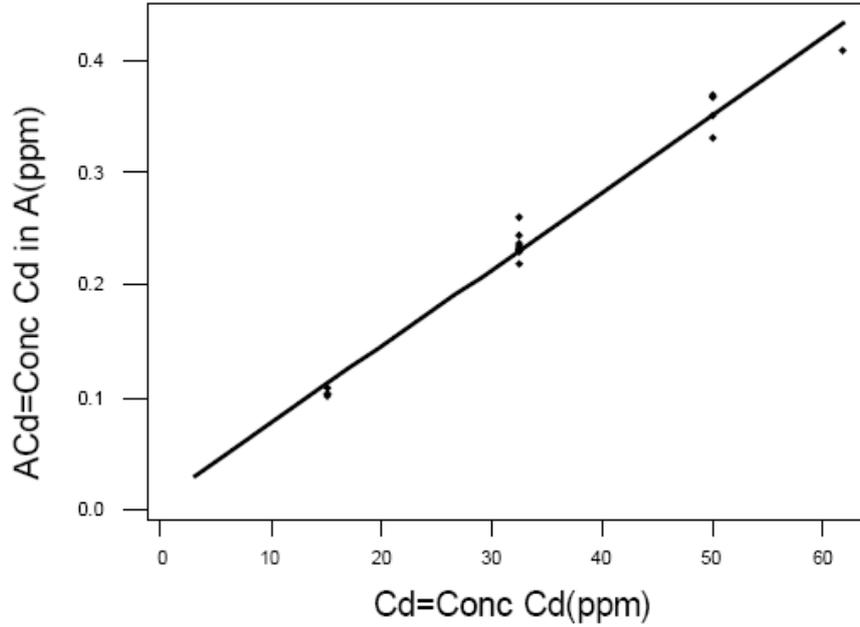


المخطط (6) يبين علاقة تركيز الكاديوم في القسم الجذري للنبات مع تركيز الكاديوم في الأوساط المائية.

Regression Plot for Cd

$$ACd = 0.0084188 + 0.0068591 Cd$$

$$S = 0.0137319 \quad R-Sq = 98.1 \% \quad R-Sq(adj) = 98.0 \%$$



المخطط (7) يبين علاقة تركيز الكاديوم في القسم الهوائي للنبات مع تركيز الكاديوم في الأوساط المائية.

من المخططات (4,5,6,7) نلاحظ أن تراكم الرصاص والكاديوم في قسمي النبات كان ارتباطه خطياً مع تركيز المعدنين في الأوساط المائية التي ينمو فيها النبات. ومن ميل العلاقة الخطية لهذه المخططات نلاحظ أن ميل العلاقة الخطية لتراكيز الرصاص في القسم الجذري للنبات مع تركيز الرصاص في الأوساط المائية (0.0264) أكبر منه في العلاقة الخطية بين تراكيز الرصاص في القسم الهوائي للنبات مع تركيز الرصاص في الأوساط المائية (0.0172)، وهذا يشير إلى تركيز الرصاص في القسم الجذري بكمية أكبر (تقارب الضعف) مقارنة بتركيزه في الجزء الورقي. بالمقابل نجد أن ميل العلاقة الخطية لتراكيز الكاديوم في القسم الجذري للنبات مع تراكيز الكاديوم في الأوساط المائية (0.0069) مساوياً له قريباً في العلاقة بين تراكيز الكاديوم في القسم الهوائي للنبات مع تركيز الكاديوم في الأوساط المائية (0.0068). مما يعني أن الكاديوم يتوزع بشكل متساوٍ تقريباً في جزئي النبات الجذري والخضري، وتظهر هذه النتيجة في الجدول (6) فيمكن ملاحظة أن تراكيز الكاديوم تقريباً متساوية في قسمي النبات.

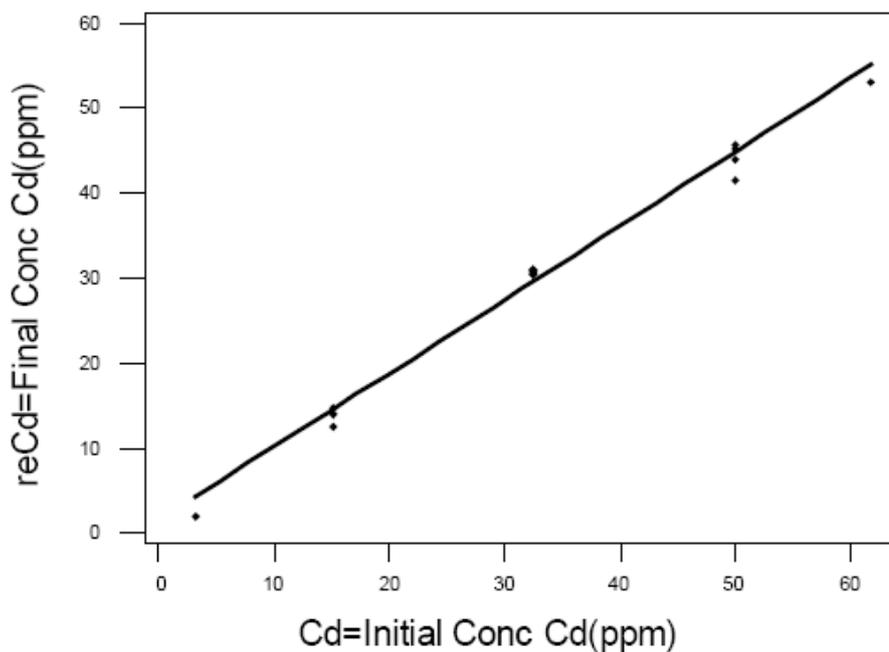
5- استجابة النبات و قدرته على امتصاص المعادن الثقيلة

ولتقدير مدى استجابة النبات وقدرته على امتصاص المعادن الثلاثة تم رسم العلاقة بين تركيز المعادن في بداية التجربة وتركيز المعادن في نهاية التجربة المخططات (8,9,10)

Regression Plot for Cd

$$reCd = 1.56871 + 0.866449 Cd$$

S = 1.44813 R-Sq = 98.8 % R-Sq(adj) = 98.7 %

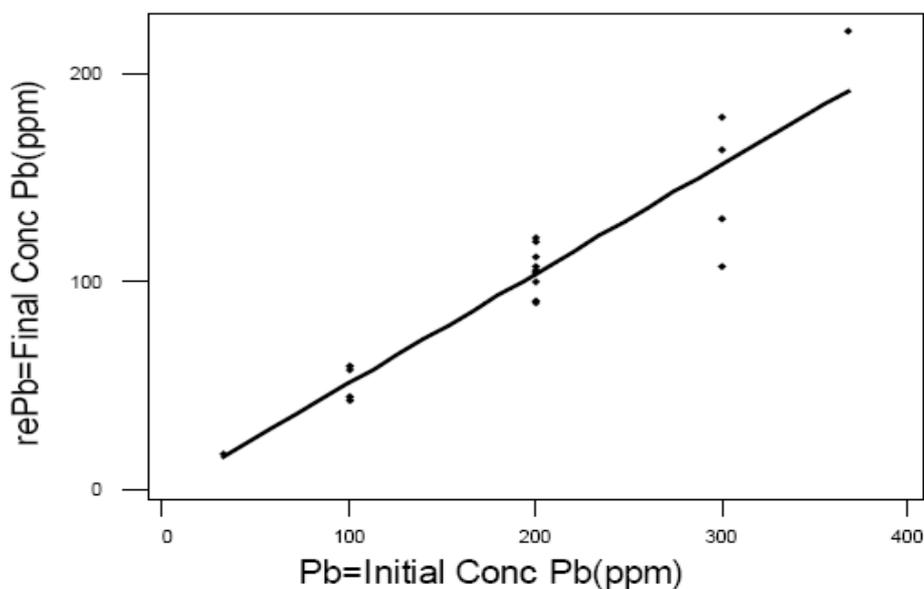


المخطط (8) يبين علاقة تركيز الكاديوم في نهاية التجربة بتركيزه الأساسي.

Regression Plot for Pb

$$rePb = -0.624584 + 0.524518 Pb$$

S = 17.6917 R-Sq = 87.0 % R-Sq(adj) = 86.2 %

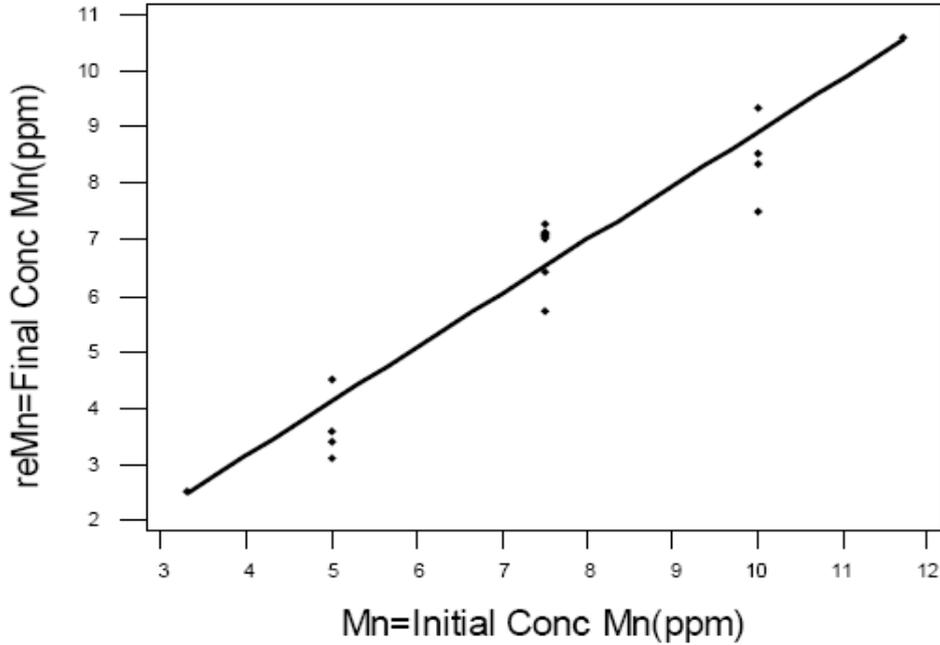


مخطط (9) يبين علاقة تركيز الرصاص في نهاية التجربة بتركيزه الأساسي.

Regression Plot for Mn

$$\text{reMn} = -0.657772 + 0.956796 \text{ Mn}$$

$$S = 0.667181 \quad R\text{-Sq} = 90.7 \% \quad R\text{-Sq(adj)} = 90.2 \%$$



المخطط (10) يبين علاقة تركيز المنغنيز في نهاية التجربة بتركيزه الأساسي.

من المخططات (8,9,10) نجد أن علاقة تركيز المعدن في نهاية التجربة مع تركيزه الأساسي هي علاقة خطية. ونلاحظ أن ميل العلاقة بالنسبة إلى معدن Pb كان (0.524) أقل منه لمعدني Cd, Mn الذي كان (0.866,0.957) على التوالي. أي أن ميل الرصاص للبقاء في الأوساط المائية كان أقل من ميل المعدنين الآخرين لذلك، وهذا يتوافق مع ما توصلنا إليه سابقاً أن النبات يراكم الرصاص بنسبة أكبر من المعدنين الآخرين (Cd, Mn).

الاستنتاجات والتوصيات:

- من خلال النتائج التي تمّ التوصل إليها خلال البحث تبين الآتي :
- النتائج الأولية تشير إلى قدرة النبات على امتصاص العناصر الثقيلة من مياه الصرف الصناعي الملوثة بهذه العناصر.
- ترتبط قدرة النبات على امتصاص العناصر الثقيلة بتركيز هذه العناصر في الأوساط المائية التي ينمو فيها النبات.
- علاقة امتصاص النبات للعناصر الثقيلة مع الزمن هي علاقة خطية.
- عدم قدرة النبات على تحمل التراكيز العالية من العناصر الثقيلة (الرصاص والكاديوم والمنغنيز) مجتمعةً.

- يتميز النبات بقدرته على امتصاص الرصاص أكثر من الكاديوم والمنغنيز في الأوساط المائية التي تحوي تراكيز مرتفعة لهذه المعادن .

وتتم حالياً متابعة البحث بإعادة إجراء التجربة باستخدام المعادن السابقة بشكل منفرد لبيان التأثير السمي لكل عنصر على حدة والتأثير السمي المشترك للعناصر السابقة. ودراسة إمكانية استخدام النبات في إزالة العناصر الثقيلة من مياه صرف صناعي حقيقية وتقييم قدرته على امتصاص العناصر الثقيلة المختلفة.

المراجع:

1. JAYAWEERAA, M.W.; KASTURIARACHIA, J. C.; KULARATEA, R .K.A.; Wijeyekoon, S.L.J. *Contribution of water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) grown under different nutrient conditions to Fe-removal mechanisms in constructed wetlands*, Environmental Management 87 ,2008, 450-460.
2. NESIC, N; JOVANOVIĆ, L. *Potential Use of Water Hyacinth (E. CRASSIPENS) for Wastewater Treatment in Serbia*. Center for multidisciplinary studies, University of Belgrade, 2005, 1-15 .
3. SNYDER, K. V. W.; SJWP J. U.S. *Removal of Arsenic from Drinking Water by Water Hyacinths (Eichhornia crassipes)*. Portland, Oregon, October 2006, 41-58.
4. WIN, D.T.; THAN, M. and TUN, S. *Lead Removal from Industrial Waters by Water Hyacinth*. AU J.T. 6,4, apr.2003, 187-192.
5. SABET, M. D.; NOLLET, M .L. *Aquatic plants as indicators of heavy metal contamination*. Water Analysis. 1997, 440.
6. MISHRA, V. K; TRIPATHI, B.D. *Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes*, Bioresource Technology, no.99, 2008, 7091-7097.
7. MISHRA, V.K; TRIPATHI, B.D. *Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (Eichhornia crassipes)*, Hazardous Materials, vol. 164, no. 2, 2009, 1059-1063.
8. LESAGE, E; MUNDIA, C; ROUSSEAU, D.P.L; VAN DE MOORTELE, A.M.K; DU LAING, G; MEERS, E; TACK, F.M.G; DE PAUW, N; VERLOO, M.G. *Sorption of Co, Cu, Ni and Zn from industrial effluents by the submerged aquatic macrophyte Myriophyllum spicatum L*. Ecological Engineering 30 , 2007, 320-325.
9. GOTHBERG, A; GREGER, M; BENGTSSON, B.E, *Accumulation of heavy metals in water spinach (Ipomoea aquatica) cultivated in the Bangkok region, Thailand*, Environmental -Toxicology- and- Chemistry 21/9, 2002, 1934-1939.
10. EBEL, M; EVANGÉLOU, M. W.H; SCHAEFFER, A. *Cyanide phytoremediation by water hyacinths (Eichhornia crassipes)*, Chemosphere 66/5, 2007, 816-823.
11. DELGADO, M; BIGERIEGO, M; GUARDIOLA, E. *Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths*, Water Research [WATER RES]. 27, 2, 1993, 269-272.
12. أ.د. أصفري، أحمد فيصل معالجة مياه الفضلات الصناعية، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، 1996 ، 322-321 .
13. ANON. *AOAC Official Method 999.10*, Association of Official Analytical Chemists, 17th (ED), 2002, 1298

14. SOLTAN, M.E; RASHED ,M.N. *Laboratory study on the survival of water hyacinth under several condition of heavy metal concentrations*, Environmental Research 7/2,2003, 321–334.
15. ZARANYIKA ,M. F; MUTOKO, F; MURAHWA. H. *Uptake of Zn, Co, Fe and Cr by water hycacinth (Eichhornia crassipes) in Lake Chivero, Zimbabwe*, Science of the total environment vol. 153, n.1-2, 1994, 117-121.
16. INGOLE, N.W; BHOLE, A.G. *Removal of heavy metals from aqueous solution by water hyacinth (Eichhornia crassipes)*, Aqua - Journal of Water Supply: Research and Technology. 52, 2, 2003, 119-128.