دراسة مقدرة نبات عدس الماء (Lemna minor)على استخلاص الكادميوم والنيكل من المياه الملوثة

شروق سعد[1] وأ.د.سمير شمشم[2]و د.نعيمة عجيب[3]

(1) طالبة دكتوراه– قسم الهندسة البيئية –كلية الهندسة المدنية– جامعة حمص.
(2) أستاذ–قسم التربة و استصلاح الأراضي – كلية الهندسة الزراعية –جامعة حمص.
(3) أستاذ مساعد– قسم الهندسة البيئية –كلية الهندسة المدنية– جامعة حمص.

تم إجراء البحث في مخبر الهندسة البيئية بكلية الهندسة المدنية – جامعة حمص، حيث كان هدف من البحث دراسة كفاءة نبات عدس الماء في تخفيض تراكيز الكادميوم و النيكل الموجود في مياه عند ثلاث تراكيز(0.25–1–2 mg/l) للكادميوم و(2.5–5–10 mg/l) للنيكل لتحقيق هدف البحث تم تصميم حوضين بارتفاعين مختلفين (H_1=65cm, H_2=25cm) وباعتماد زمن للمكث T=15day تم تطبيق أحمال هيدروليكية سطحية عند زمن المكث،تم زراعة الحوضين بنبات عدس الماءوأخذ عينات عند درجتي للpH (pH_1=7.7, pH_2=5.5).بينت نتائج القياسات المخبرية التي تم الحصول عليها أن نسبة إزالة الكادميوم عند تلوث0.25mg/l كانت بحدود51%عند العمق 25cm و زمن مكث قدره T=15day،وعند تحميل هيدروليكي 0.016m^3/m^2.d، والنيكل عند تلوث المياه ب 2.5mg/l كانت أعلى نسبة للإزالة 54.5% عند7.7=pH كانت نسب الإزالة أعلى من المياه ذات 5.6=pH ، من قيم معامل التراكم الحيوي نجد أن عدس الماء مراكم أفضل للنيكل حيث كانت قيم معامل التراكم الحيوي أعلا، من قيم معامل التراكم الحيوي عند الكادميوم. النتائج التي تم التوصل إليها تبين أن طريقة المعالجة باستخدام نبات عدس الماء،طريقة ممكن اعتمادها لاستخلاص الكادميوم والنيكل من المياه الملوثة به، وخاصة عند المعاملة الأفضل.وزيادة زمن المكث عند المعاملات الأكثر تلوثاً.

الكلمات المفتاحية: الاستخلاص – عدس الماء – الكادميوم– النيكل – التحميل الهيدروليكي السطحي.

-المقدمة:

تمركزت المدن الصناعية في مناطق قريبة من مصادر مائية هامةورئيسة في سورية، كالمدينة الصناعية في حسياء – عدرا الصناعية في دمشق- الشيخ نجار في حلب وغيرها من المدن والمنشأت الصناعية الممتدة في مختلف مناطق القطر. تفتقر الجمهورية العربية السورية إلى الموارد المائية في كثير من مناطقها، لذا كان خيارالموارد غير التقليدية أمراً واجباً . من هنا كان لابد من معالجة مياه الصرف الصحي و الصناعي وإعادة استخدامها في مجالات مناسبة للاستفادة منها لدعم المصادر المائية التقليدية [1].تعد المعادن الثقيلة من أهم الملوثات التي يجب أن تدرس و تعالج بعناية، بسبب درجة ثباتها العالية و فترات بقائها غير المحدد، إذ يمكن أن تنتقل إلى مسافات بعيدة عن مناطق نشوئها ويمكن أن تتضاعف تراكيز هذه العناصر خلال السلسلة الغذائية، لتصبح خطراً يهدد الكائنات الحية، ومصدراً لتسمم وخطراً كبيراً على الصحة [2]. انطلاقاً مما سبق لم يعد بالأمكان اختيار نظام معالجة مياه الصرف الصناعي على أساس الأهداف الأساسية للمعالجة،بل تعدى الأمر إلى ضرورة التدقيق في كفاية المعالجة، حسب الغرض من استخدام المياه بعد المعالجة [1].

يعد الكادميومCdملوثاً خطيراً ،فهو ينتج بكميات كبيرة من صناعات متعددة (صناعة الخلايا الشمسية – السبائك –الطلاء الكهربائي – الصناعات البلاستيكية –صناعة البطاريات القابلة للشحن –صناعات الدباغة والأصباغ لقدرته على أنتاج اللون الأصفر والبرتقالي كذلك النيكلNi، يُستخدم مسحوق النيكل في تصنيع السبائك والمنتجات المعدنية والبطاريات والإلكترونيات والطلاءات والطباعة ثلاثية الأبعاد [3] تشيرالدراسات أن ارتفاع نسبة الكادميوم و النيكل في المياه يشكل خطراً على السلسة الغذائية.حيث يسبب أمراض في الكلية والرئتين والعظام[4].

Phytoextraction: هي واحدة من الاستراتيجيات العلاجية النباتية تعتمد على استخدام النباتات لإزالة ملوثات (المعادن الثقيلة) من الماء كفاءتها تعتمد على الخاصية الكيميائية للعنصر الذي تمت إزالته وانتقاله وتراكمه في أجزاء النباتات القابلة للحصاد. تم تصنيف النباتات إلى ثلاث فئات، وفقاً لقدرتها على امتصاص العناصر الثقيلة ومراكمتها وتحملها في أنسجتها هي:

- المراكمات: هي النباتات التي تتحمل أقصى مستوى من العناصر الثقيلة.

- المؤشرات: هي نباتات التي تنظم امتصاص العناصر الثقيلة بحيث يعكس التركيز الداخلي المستوى الخارجي.
- المنفرات (المستبعدات): وهي النباتات التي تحافظ على تركيز ثابت ومنخفض من العناصر الثقيلة في أنسجتها.[5]

وقد حظيت المعالجة النباتية بالاهتمام على مر السنين، حيث تعد طريقة رخيصة وفعالة في المعالجة ،مع وجود بعض السلبيات مثل الاعتماد على نمو النبات الذي يستغرق زمن أكبر مقارنة بطرق المعالجة الآخرى.لكي تتم المعالجة، يجب أن يتم الاتصال بين جذر النبات والملوثات، وبالتالي يجب أن يكون قادراً على تمديد جذوره إلى الملوث أو يجب نقل الوسائط الملوثة إلى مدى وصول النبات .يعتمد هذا النظام على إمرار تيار مياه الصرف الصحي في أحواض مبطنة بغشاء غير منفذ ومملوء بالحصى ومزروعة بأنواع من نبات البو ط أو البردي،... هذه البيئة توفر الظروف المناسبة للكائنات الدقيقة لكي تتمركز حول جذور النباتات وتبدأ في تكسير المواد العضوية والملوثات المختلفة أثناء مرورمياه الصرف من خلال جذور النباتات [5]

-العوامل المؤثرة في حركة المعادن الثقيلة في المياه :

تلعب عدة عوامل دوراً في حركة المعادن الثقيلة في التربة و لها تأثير متباين:

- **pH المياه:** يوصف pH المياه أنه من أهم العوامل المؤثرة في إتاحة المعادن الثقيلة، [100] وذلك بالنسبة لجميع العناصر الثقيلة ماعدا (As,Se,Mo) فإن تراكمها يتناقص مع زيادة pH [99]، كما دلت دراسات أن تراكم المعادن الثقيلة في المياه القلوية تكون أقل حيث قيمة pH عالية ، ذلك بالمقارنة مع المياه الحمضية إن عمليات امتصاص المعادن الثقيلة من قبل النباتات تتأثر بشكل أساسي بقيمة pH المياه[101] . وبالنسبة للكادميوم والكروم و الرصاص و النيكل النسب المئوية لإزالة هذه المعادن الثقيلة لها علاقة خطية موجبة مع نسبة تخفيض الرقم الهيدروجيني وزيادة في المحلول الحمضي (الرقم الهيدروجيني <7)، حي ث يزداد تركيز هذه المعادن في النبات مع انخفاض pH[6].

- **المادة العضوية:** درس تأثير المادة العضوية في حركية المعادن الثقيلة إن زيادة المادة العضوية مع ارتفاع الPH يخفض من النشاط الأيوني، بسبب تشكل معقدات وخاصة لمعادن الرصاص والنحاس حيث يشكلان معقدات عضوية معدنية ثابتة[7].
- **النوع النباتي:** يؤثر النوع النباتي في تنظيف المياه من الملوثات وكان هناك العديد من الدراسات شملت عدد كبير من النباتات تم إجراء العديد من الدراسات على أنواع نباتات المناسبة للعلاج النباتي وهي غير محدودة وجميعها كان قادر على مراكمة كمية كبيرة من المعادن السامة [8].

-النباتات المائية المستخدمة في محطات المعالجة بالنباتات:

تقسم النباتات المائية إلى ثلاث مجموعات بيئية رئيسية اعتماداً على موقع أعضائها الخضرية من سطح الماء هي:

1. النباتات الغاطسة (Submerged):وهي النباتات التي تنمو كليا تحت سطح الماء ولا يظهر منها خارج الماء سوى الأزهار أحياناً، عموما هذا الصنف من النباتات المائية يضم الأنواع التالية:(Brazilian) Coratophylunspp densa (Fanwort) Cacombacaroliniana

2-النباتات الظاهرة أو البارزة(Emergent):

وهي النباتات التي تكون جميع أو بعض أعضائها الخضرية بارزة وخارج سطح الماء ومن الأمثلة على ذلك:Typha- australis Phragmites domingensis

3. النباتات الطافية على سطح الماء(Floating):وهي النباتات التي تكون جميع أو بعض أعضاءها الخضرية طافية على سطح الماء وهي نوعين:

- النباتات الطافية الطليقة (floating Free):وهي نباتات تعيش على سطح الماء وجذورها تمتد ضمن الماء وهذه الجذور إما أن تكون قصيرة أو طويلة نوعا ما وتكون طليقة في الماء ينقلها التيار من مكان الى اخر،و من أمثلة على هذا النوع (Duck weed) Lemnaceac

- النباتات الطافية ذات الجذور الممتدة داخل التربة : وهي نباتات قادرة على بلوغ القاع عبر سيقانها الطويلة حيث تنمو جذورها ضمن قاع الحوض .وعلى سبيل المثال نذكر منها: [7][6] Nupha.

تم اجراء العديد من الدراسات لازالة الملوثات من مياه الصرف الصحي عن طريق زراعة عدة نباتات مائية كزهر النيل التي اعطت نتائج واعدة جداً وكانت نسبة تخفيض المعادن الثقيلة في الماء أكثر من 90% [8]

في دراسة أخرى في الجزائر تم معالجة المياه الملوثة بنبات Typha وإبراز مدى استطاعة وقدرة أداء النبات المزروع في معالجة المياه الصرف في المناخ الشبه الجاف، وذلك بتزويد الحوض بتدفق الشاقولي، حيث كان مكوث الماء داخل الحوض لمدة خمسة أيام كافية لإزالة الملوثات بشكل مقبول حيث انخفض التلوث العضو بنسب إزالة تقدر ب 83.42%, COD 67.80% BOD.[9] حُددت مقدرة نبات زهرة النيل المستخدم على امتصاص العناصر المغذية من البيئة المائية بتنفيذ تجربة اس تُخدم فيها (1 و 2) Kg من نبات زهرة النيل الطازج ضمن أوعية تحتوي 30 لتراً من الماء الملوث صناعيا بنسب محددة (1،10،5،1.5،100) mg/L من الملوثات التالية على الترتيب (N,P,Cu,Zn,Cd) ، وتم تحديد نسب هذه الملوثات خلال فترات زمنية (6،4،2) يوم على الترتيب من وقت الإضافة، وتبين من خلالها المقدرة العالية للنبات على تخفيض الملوثات،حيث خفضت حوالي 50 % من المستويات الملوثة من (N,P)، و أكثر من 80 % من(Cu,Zn,Cd) خلال 48 ساعة من بدء التجربة، وتبين أنه بازدياد وزن نبات زهرة النيل المضاف تزداد فعالية مراكمة العناصر ، بالإضافة إلى تأثير عامل الزمن حيث ازدادت فعالية الإزالة للملوثات بازدياد زمن المعالجة[8]. قام العالم "lue-meru وآخرون " بدراسة مقدرة نبات زهر النيل على امتصاص المعادن الثقيلة الكوبالت و الرصاص و الزئبق و النيكل و الكادميوم وجدت الدراسة ان 97% من النيكل و الكادميوم يتركز في جذوره خلال يوم لكن نبا زهر النيل يسبب العديد من المشاكل اهمها حاجته لكمية كبيرة من المياه [10].

☒ الحدود المسموح بها لبعض المعدن الثقيلة في المياه المعالجة المسموح بصرفها إلى البيئة المائية حسب م.ق.س 2009/3474(تختص هذه المواصفة القياسية السورية بتحديد

الاشتراطات والمتطلبات والقيود المفروضة على تصريف المياه المعالجة الصناعية،الخارجة من المنشآت الصناعية أومحطات المعالجة التابعة لها إلى البيئة المائية).[11][12]

المؤشرات	الرمز	الواحدة	أنواع المستقبلات(البيئة المائية المستقبلة)			
			بحار	مسطحات مائية	الأنهار	قنوات الصرف الزراعية
الكادميوم	Cd	mg/l	0.05	0.05	0.05	0.05
النيكل	Ni	mg/l	0.5	0.3	0.3	0.5

2- أهداف البحث :

- دراسة تأثير تغير التحمل الهيدروليكي السطحي والأس الهيدروجيني في كفاءة المعالجة النباتية.
- دراسة مقدرة نبات عدس الماء في مراكمة الكادميوم و النيكل الموجودة في مياه مشابهة بالتلوث لمياه الصرف الصناعي.

3-مواد البحث وطرائقه:

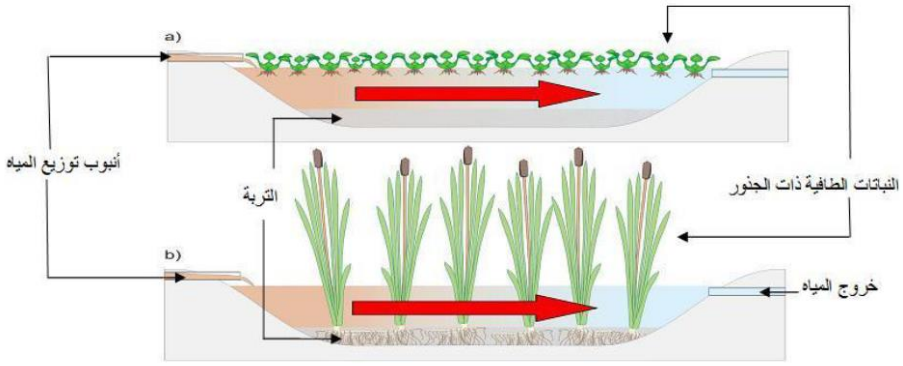
الأراضي الرطبة المصطنعة:

هي عبارة عن تصاميم هندسية تستخدم العمليات الطبيعية من النباتات والترب وتجمعاتها البكترية، وتعد مناسبة جداً للمعالجة في محطات المعالجة، بسبب اقتصاديتها وكلفة تشغيلها المنخفضة وفعاليتها،إضافة إلى زيادة المساحات الخضراء في المناطق المقامة بها، وتصنف أحواض النباتات المستخدمة في معالجة مياه الصرف بناءً على مسار التدفق عبر أنظمة CW،وهناك أربعة أنظمة مستعملة في معالجة المياه:

- الأحواض ذات الجريان السطحي الحرFree Water Surface (FWS)

- الأحواض ذات الجريان السطحي الأفقي Horizontal Flow (HF).
- الأحواض ذات الجريان السطحي الشاقولي Vertical Flow (VF).
- الأحواض ذات الجريان المتنوع (المهجن) "أفقي+ شاقولي"

والأحواض المستخدمة في البحث هي الأحواض ذات الجريان السطحي الحر: وهي أحواض ضحلة أو قنوات تحتوي على طبقة من التربة (بسماكة 30–40cm) تزرع فيها نباتات عدة، أكثر النباتات شيوعاً هي: (Duck weed, Typha)، ويوجد فوق طبقة التربة طبقة مائية (عمقها 20–40cm) يتعرض للغلاف الجوي والإشعاع الشمسي، يتدفق الماء عبر جذوع النبات ويتلامس مع الطبقة العليا من التربة وأجزاء النبات، مما يسمح بإزالة الملوثات من خلال مختلف العمليات الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية[15]، ويبين الشكل (1) حوض معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر.



الشكل(1): حوض معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر

a) : حوض معالجة بالنباتات طافية على سطح الماء وجذور حرة.

b) :حوض معالجة بالنباتات ذات السوق فوق السطح وجذور مزروعة ضمن تربة الحوض.

تميل هذه الأحواض إلى جذب البعوض، خاصةً عندما يظل الماء شبه راكد، كما تتطلب مساحة أعلى مقارنة بأنواع أخرى بخصائص مياه الصرف الصحي نفسها. يعمل هذا النظام بشكلٍ جيد في إزالة المواد الصلبة العالقة (TSS)، والطلب الكيميائي الحيوي للأوكسجين BOD5 وإزالة النتروجين N ومسببات الأمراض، وإزالة نسبة كبيرة من المعادن الثقيلة وإزالة الفوسفور.

- نبات عدس الماء في سورية :

لاتنبت هذه النباتات في التربة ولكنها تبقى طافية على سطح الماء،أهم الأنواع في سوريا:

1- نبات عدس الماء Lemna minor:

يعود للعائلة اللمينية Lemnaceae من رتبة Arales ذوات الفلقة الواحدة اسمه بالانكليزية (Duck weed). الشكل(2) يبين نبات عدس الماء الطافي

الشكل (2) نبات عدس الماء الطافي Lemna minor

نبات صغير طاف، يتجمع في مجموعات تتكون 2-5 نباتات، قطره من 3-6 mm شبه كروي أو اهليلجي مسطح على الوجهين يتنشر في المياه العذبة الراكدة في دمشق و حمص و القنيطرة و اللاذقية.

2- نبات عدس الماء المحدب Lemna gibba:

يعود للعائلة اللمينية Lemnaceae اسمه بالانكليزية (Gibbous Duck weed).تعد من نباتات عدس الماء المحدب ذات القيمة الطبية العالية(معالجة البهاق – أمراض حساسية – معالجة الشري – والوزمات العصبية).

الوصف: نبات مائي طافي ، جذوره خيطية، قطره من 2.5-3.5 mm شبه كروي أو اهليلجي من الأسفل، مسطح على الوجه العلوي يتنشر في المياه العذبة الراكدة في دمشق و القنيطرة يظهر الشكل (3) نبات عدس الماء المحدب عن قرب

الشكل(3) نبات عدس الماء المحدب طافي عن قرب

4-الدراسة التجريبية: تم أخذ عينات من مياه الصرف الصناعي والصحي من محطة الصرف الصحي الناتج عن المدينة الصناعية بحسياء في حمص.

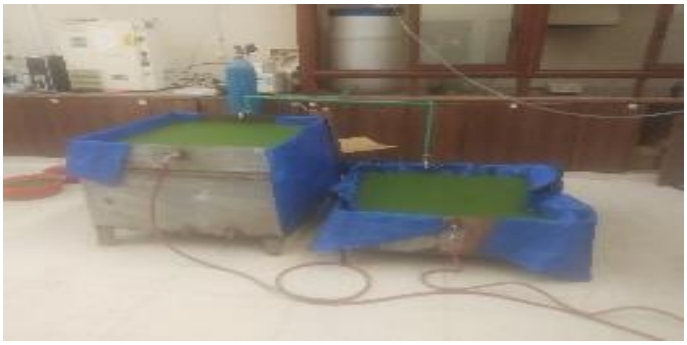
تحاليل عينات المياه و النبات الملوثة:

- تم تقدير الكميات الكلية للمعادن الثقيلة في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية حيث تم هضم عينات النبات باستخدام الماء الملكي، ثم استعمال المستخلص في تقدير الكادميوم Cd بواسطة جهاز الامتصاص الذري اللهبي نوع (SHimadza AA 6800)وعبر عن النتائج بوحدات جزء بالمليون.
- تقدير pH باستخدام جهاز pH METER. يبين الجدول(1) نتائج قياس عينات مياه صرف من محطة صرف المدينة الصناعية في حسياء

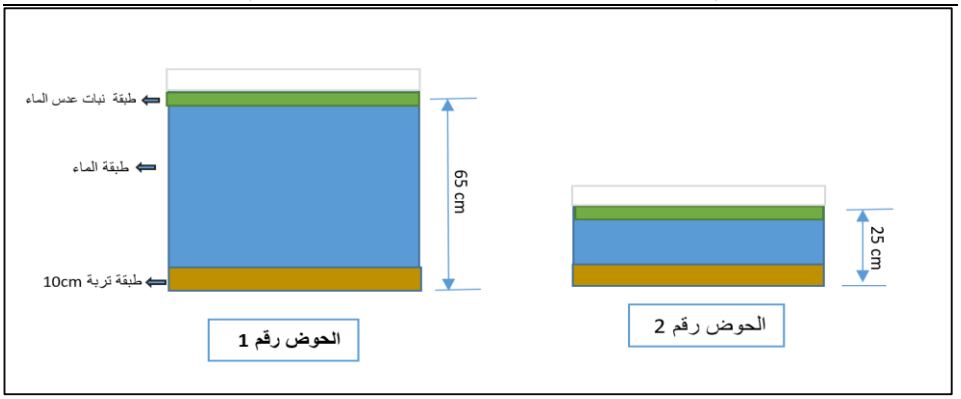
الجدول(1) نتائج قياس عينات مياه صرف من محطة صرف المدينة الصناعية في حسياء

المؤشر	الواحدة	مياه صرف صحي	مياه صرف صناعي	المواصفة القياسية السوريةرقم 2009/3474	المواصفة القياسية السوريةرقم 2008/2580
pH	–	7.6	7.8	9–6	9.5–6.5
Cd	Mg/l	0. 22	0.25	0.05	0.05
Ni	mg/l	0.21	0.22	0.3	0.5

سيتم تلويث المياه مخبرياً بمقادير تلوث تحاكي التلوث الموجود في مياه الصرف الصناعي في حسياء، ثم زيادة التركيز بقيم أكبرودراسة تأثير التلوث في نظام عمل معالجة المياه باستخدام نبات عدس الماء(Duckweeds). تمت الدراسة بواسطة محطة تجريبية عبارة عن خزانين ماء بارتفاعات مختلفة (ارتفاع الأول 65cm – ارتفاع الثاني 25cm) بمساحة سطح 1m2 يدخل الماء إلى الخرانات بواسطة انابيب تغذية وتتم التغذية من خزان تجميع لضمان استمرارية الجريان وعند المخرج تم وضع سكور عند ارتفاع الماء المطلوب للدراسة.كما في الشكل(4–5).



الشكل(4) النموذج التجريبي في مخبر الهندسة البيئية



الشكل(5) مقطع طولي في الأحواض

-تصميم الأحواض:

تم تصميم الأحواض وفق العوامل التصميمية التالية :

التحميل الهيدروليكي السطحي	**q=Q/A**
الغزارة	**Q=V/T**
أبعاد الحوض الأول	**(1*1*0,65) m**
حجم الحوض	**$0.65m^3$**
بفرض زمن المكث	**T=15day**
غزارة الحوض	**$Q=V/T=0.65/15=0.043m^3/d$**
التحميل الهيدروليكي السطحي	**$q=Q/A=0.043/1=0.043\ m^3/m^2.d$**
أبعاد الحوض الثاني	**(1*1*0,25) m**
حجم الحوض	**$0.25m^3$**
بفرض زمن المكث	**T=15day**
غزارة الحوض	**$Q=V/T=0.25/15=0.016m^3/d$**

التحميل الهيدروليكي السطحي $q=Q/A=0.016/1=0.016\ m^3/m^2.d$

كفاءة إزالة العنصر%E **[(قيمة العنصر عند المدخل – قيمة العنصر عند المخرج)/قيمة العنصر عند المدخل]*100**

عامل التراكم الحيوي BF(Bioaccumulation Factor) لنباتات المزروعة

عامل التراكم الحيوي = تركيز العنصر في أنسجة النباتية (الأوراق)/تركيز العنصر في المياه المزروعة فيها

يبين الجدول(2) العوامل التصميمية للأحواض عند زمن مكث T=15day

الجدول(2) العوامل التصميمية للأحواض عند زمن مكث T=15day

رقم الحوض	حجم الماء m^3	الغزارة الداخلة للحوض m^3/d	زمن المكث day	التحميل الهيدروليكي السطحي $m^3/m^2.d$	جرعة البدار من نبات عدس الماء gr
1	0.65	0.043	15	0.043	500
2	0.25	0.016	15	0.016	500

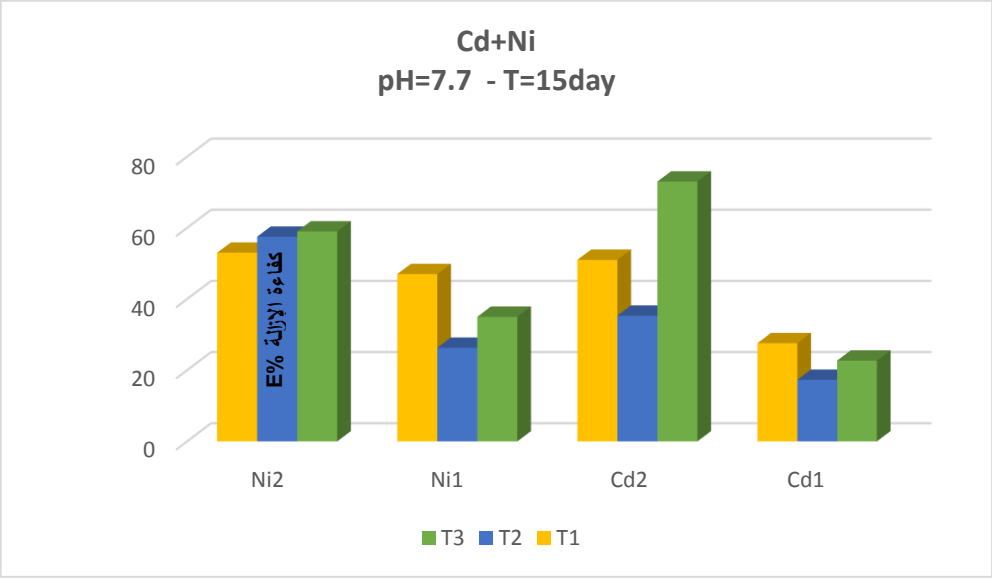
-النتائج و المناقشة:

تمت زراعة عدس الماء في مياه ملوثة بالكادميوم بثلاث تراكيز mg\l(2.05-1.02-0.25) و(2.5-5-10 mg/l) للنيكل وكان زمن المكث T=15day و pH=7.7 وتم تسميد المياه باستخدام سماد عضوي،يبين الجدول(3) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم و النيكل مع زمن مكث T=15day و pH=7.7 وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(3)نتائج تحليل المياه الكادميوم م Cd و النيكلNi مع زمن مكث T_2=15day و pH=7.7 وكفاءة الإزالة E%

مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي (0.016 $m^3.m^2\d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي 0.043 ($m^3.m^2\d$)		مدخل الأحواض التجريبية	تاريخ أخذ العينة	تاريخ زراعةالعينة
E%	(Cd)mg\l	E%	(Cd)mg\l	(Cd)mg\l	الكادميوم	
54.1	0.11	25.0	0.18	0.24	31-3-2024	18-3-2024
50.0	0.12	33.3	0.16			
50.0	0.12	25.0	0.18			
51.4	-	27.7	-	-	Efficiency%	
34.6	0.66	16.0	0.85	1.01	16-4-2024	3-4-2024
34.6	0.66	19.0	0.82			
36.6	0.64	17.0	0.84			
35.3	-	17.3	-	-	Efficiency%	
39.0	1.24	21.8	1.58	2.02	1-5-2024	18-4-2024
38.5	1.25	23.3	1.55			
38.5	1.25	22.8	1.56			
38.6	-	22.6	-	-	Efficiency%	
E%	(Ni)mg\l	E%	(Ni)mg\l	(Ni)mg\l	النيكل	
54.2	1.16	46.6	1.35	2.53	31-3-2024	18-3-2024
53.8	1.17	47.4	1.33			
53.8	1.17	48.6	1.30			
53.9	-	47.5	-	-	Efficiency%	
58.1	2.10	26.3	3.70	5.02	16-4-2024	3-4-2024
58.1	2.10	26.7	3.68			
56.2	2.20	25.9	3.72			
57.5	-	26.3	-	-	Efficiency%	

59.4	4.10	35.6	6.5	10.10	1-5-2024	18-4-2024
59.4	4.10	35.6	6.5			
60.7	3.97	35.6	6.5			
59.8	-	35.6	-	-	Efficiency%	



المخطط(1) كفاءة إزالة الكادميوم والنيكل من مياه الملوثة عند ثلاث تراكيز للتلوث في حوضين 1و2 عند

pH=7.7 – T=15day

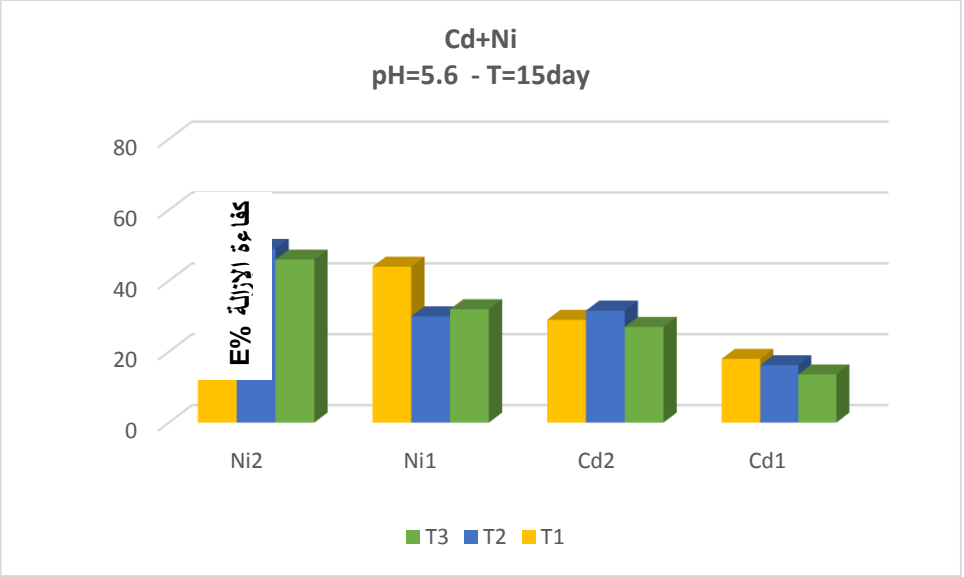
تبين النتائج كفاءة إزالة النيكل من المياه،كانت أكبر من كفاءة إزالة الكادميوم بالتالي فإن حركية النيكل كانت أكبر من حركية الكادميوم، ففي تجربة سابقة لوثت المياه بالكادميوم لوحده،كانت كفاءة الإزالة له أكبر،لكن مع تنافسه مع النيكل أصبحت كفاءة الإزالة أقل.وكانت كفاءة الإزالة أكبر في الحوض الثاني ذو الارتفاع الأقل. مما هذا ما أكدته الدراسات المرجعية حيث تزداد كفاءة الاستخلاص كلما قل عمق الحوض .

يبين الجدول(4) نتائج تحليل المياه الكادميوم م Cd1 و النيكلNi1 مع زمن مكث T2=15day و pH=5.5 وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(4) نتائج تحليل المياه الكادميوم م Cd_1 و النيكلNi_1 مع زمن مكث T_2=15day و pH=5.5وكفاءة الإزالة E%

مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي (0.016 $m^3.m^2\d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي 0.043 ($m^3.m^2\d$)		مدخل الأحواض التجريبية	تاريخ أخذ العينة	تاريخ زراعةالعينة
E%	(Cd)mg\l	E%	(Cd)mg\l	(Cd)mg\l	الكادميوم	
28.0	0.18	20.0	0.20	0.25	19-5-2024	5-5-2024
28.0	0.18	16.0	0.21			
32.0	0.17	20.0	0.20			
29.3	-	18.6	-	-	Efficiency%	
30.0	0.72	16.5	0.86	1.03	4-6-2024	21-5-2024
32.0	0.70	15.5	0.87			
33.0	0.69	16.5	0.86			
31.6	-	16.2	-	-	Efficiency%	
28.6	1.42	13.5	1.72	1.99	20-6-2024	6-6-2024
26.6	1.46	13.1	1.73			
27.6	1.44	14.5	1.70			
27.6	-	13.7	-	-	Efficiency%	
(Ni)mg\l	E%	(Ni) mg\l	(Ni)mg\l	(Ni)mg\l	النيكل	
51.2	1.22	43.6	1.41	2.5	19-5-2024	5-5-2024
49.6	1.26	43.6	1.41			
49.2	1.27	44.4	1.39			
50.0	-	43.8	-	-	Efficiency%	
54.0	2.30	21.6	3.92	5	4-6-2024	21-5-2024
54.0	2.30	21.4	3.93			

54.0	2.30	21.6	3.92			
54.0	-	21.5	-	-	Efficiency%	
46.0	5.40	31.2	6.88	10	20-6-2024	6-6-2024
45.6	5.44	31.6	6.84			
45.3	5.47	31.5	6.85			
45.6	-	31.4	-	-	Efficiency%	



المخطط(2) كفاءة إزالة الكادميوم والنيكل من مياه الملوثة عند ثلاث تراكيز للتلوث في حوضين 1و2 عند

pH =5.6 – T=15day

تبين النتائج أن استخلاص كل من النيكل و الكادميوم كان أضعف في الوسط الحمضي عند pH=5.6، ولوحظ عند الاجراء التجريبي أن نمو النبات كذلك كان قليل، أكدت المراجع مقدرة النبات على العيش في الوسط الحمضي، لكن كمحصول و سرعة نمو كان الوسط القلوي في التجربة الأولى أفضل.مما يبرر كفاءة الإزالة الأكبر في التجربة الأولى.

نتائج تحليل النبات (Ni+Cd):

يبين الجدول(5)نتائج تحليل النبات الكادميوم م Cd و النيكلNi مع زمن مكث T2=15day و pH=7.7 وعامل التراكم الحيوي BF

- **الجدول(5)نتائج تحليل النبات الكادميوم م Cd و النيكلNi مع زمن مكث T_2=15day و pH=7.7 وعامل التراكم الحيوي BF**

الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي (0.016 $m^3.m^2\backslash d$)		الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي (0.043 $m^3.m^2\backslash d$)		تركيز البداية
BF	(Cd) mg\kg	BF	(Cd) mg\kg	الكادميوم
0.28	0.07	0.20	0.05	0.25
0.32	0.08	0.20	0.05	
0.28	0.07	0.24	0.06	
0.30	-	0.21	-	Average BF
0.28	0.28	0.11	0.11	1
0.27	0.27	0.12	0.12	
0.27	0.27	0.11	0.11	
0.27	-	0.11	-	Average BF
0.27	0.54	0.13	0.25	2
0.27	0.53	0.13	0.25	
0.27	0.53	0.12	0.24	
0.27	-	0.13	-	Average BF
BF	(Ni) mg\kg	BF	(Ni) mg\kg	النيكل
0.47	1.18	0.28	0.71	2.5
0.47	1.18	0.28	0.72	
0.46	1.16	0.28	0.72	
0.47	-	0.28	-	Average BF
0.43	2.15	0.21	1.03	

0.43	**2.15**	**0.22**	**1.05**	**5**
0.43	**2.16**	**0.22**	**1.06**	
0.43	**-**	**0.22**	**-**	**Average BF**
0.51	**5.11**	**0.27**	**2.72**	**10**
0.51	**5.13**	**0.27**	**2.71**	
0.51	**5.11**	**0.27**	**2.71**	
0.51	**-**	**0.27**	**-**	**Average BF**

نستنتج من الجدول أن معامل التراكم الحيوي للنيكل كان أكبر وأقرب إلى الواحد من معامل التراكم الحيوي للكادميوم بالتالي فإن مقدرة عدس الماء على مراكمة النيكل أكبر من مقدرته على مراكمة الكادميوم.

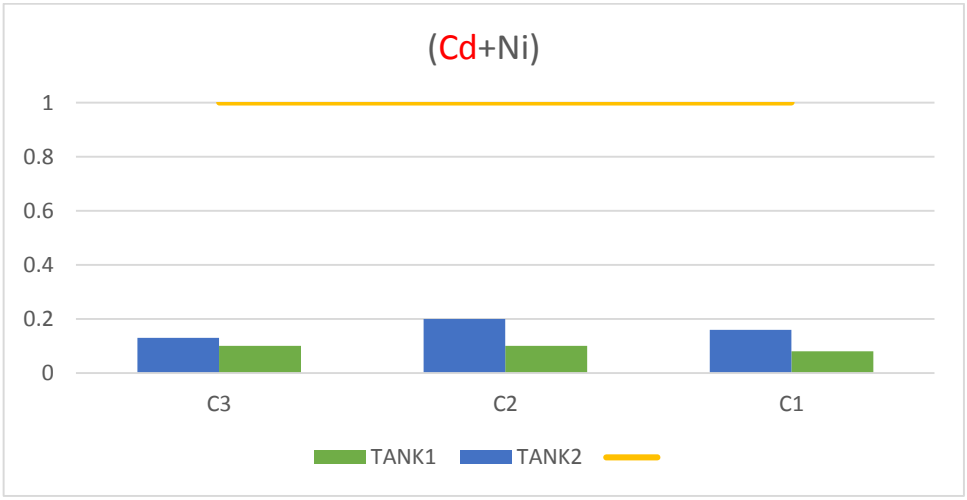
يبين الجدول(6) نتائج تحليل النبات الكادميوم م Cd1 و النيكلNi1 مع زمن مكث T2=15day و pH=5.6 وعامل التراكم الحيوي BF

- **الجدول(6) نتائج تحليل النبات الكادميوم م Cd_1 و النيكلNi_1 مع زمن مكث T_2=15day و pH=5.6 وعامل التراكم الحيوي BF**

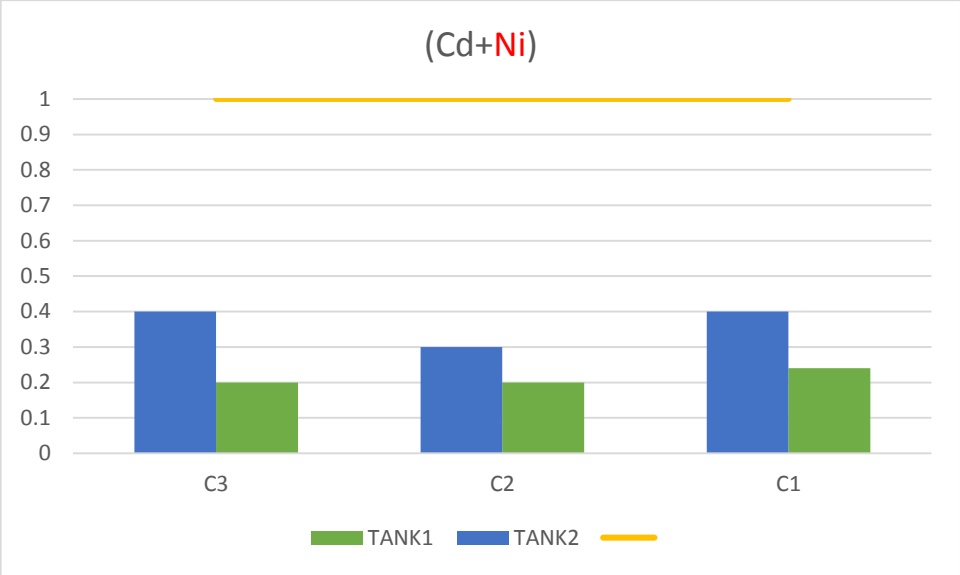
الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي (0.016 $m^3.m^2$\d)		**الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي (0.043 $m^3.m^2$\d)**		**تركيز البداية**
BF	**(Cd) mg\kg**	**BF**	**(Cd) mg\kg**	**الكادميوم**
0.16	**0.04**	**0.08**	**0.02**	**0.25**
0.16	**0.04**	**0.08**	**0.02**	
0.16	**0.04**	**0.08**	**0.02**	
0.16	**-**	**0.08**	**-**	**Average BF**
0.19	**0.19**	**0.09**	**0.09**	**1**
0.19	**0.19**	**0.08**	**0.08**	
0.20	**0.20**	**0.09**	**0.09**	
0.19	**-**	**0.09**	**-**	**Average BF**
0.13	**0.26**	**0.10**	**0.19**	**2**
0.13	**0.26**	**0.09**	**0.18**	
0.13	**0.27**	**0.11**	**0.21**	

0.13	-	0.10	-	Average BF
BF	(Ni) mg\kg	BF	(Ni) mg\kg	النيكل
0.44	1.09	0.25	0.62	2.5
0.43	1.07	0.24	0.60	
0.43	1.07	0.24	0.60	
0.43	-	0.24	-	Average BF
0.31	1.57	0.19	0.93	5
0.32	1.58	0.19	0.93	
0.32	1.58	0.19	0.94	
0.31	-	0.19	-	Average BF
0.42	4.17	0.21	2.12	10
0.42	4.17	0.21	2.12	
0.41	4.14	0.22	2.13	
0.42	-	0.21	-	Average BF

نستنتج من الجدولين(6)،(5)أن معامل التراكم الحيوي كان أكبرفي الوسط القلوي،أصبحت القيم أصغرفي الوسط الحمضي، وفي كلا الحالتين كان نبات عدس الماء مراكم أفضل للنيكل على حساب الكادميوم.



الشكل() قيم معامل التراكم الحيوي BF لعنصر الكادميوم Cd في نبات عدس الماء في وسط يحتوي الكادميوم و النيكل مع زمن مكث T=15day و pH=5.6



الشكل() قيم معامل التراكم الحيوي BF لعنصر النيكل Niفي نبات عدس الماء في وسط يحتوي الكادميوم و النيكل مع زمن مكث T=15day و pH=5.6

الدراسة الإحصائية وتحليل النتائج :

يبين الجدول (26) الدراسة الاحصائية لمقارنة كفاءة الإزالة للكادميوم و النيكل و التحميل الهيدروليكي السطحي باستخدام برنامج spss لحساب الفروق المعنوية عند مستوى معنوية 5%.

الجدول (26) الدراسة الاحصائية لمقارنة كفاءة الإزالة للكادميوم و النيكل و التحميل الهيدروليكي السطحي باستخدام برنامج spss لحساب الفروق المعنوية عند مستوى معنوية 5%

ANOVA					
كفاءة_الإزالة -(Cd+Ni)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84.640	1	84.640	15.430	.005
Within Groups	393.640	2	196.820		

الدراسة الاحصائية لمقارنة كفاءة الإزالة للكادميوم و النيكل و التحميل الهيدروليكي السطحي باستخدام برنامج spss لحساب الفروق المعنوية عند مستوى معنوية 5 % تبين الدراسة الاحصائية وجود فروق معنوية بين كفاءة إزالة الكادميوم والنيكل والتحميل الهيدروليكي السطحي.يبين الجدول(27)الدراسة الاحصائية لمقارنة كفاءة الإزالة للكادميوم والنيكل و درجة ال pH باستخدام برنامج spss لحساب الفروق المعنوية عند مستوى معنوية 5 %.

الجدول(27)**الدراسة الاحصائية لمقارنة كفاءة الإزالة للكادميوم والنيكل و درجة ال pH باستخدام برنامج spss لحساب الفروق المعنوية عند مستوى معنوية % 5**

ANOVA					
كفاءة_الإزالة (Cd+Ni)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84.640	1	84.640	.430	.579
Within Groups	393.640	2	196.820		

الدراسة الاحصائية لمقارنة كفاءة الإزالة للكادميوم والنيكل و درجة ال pH باستخدام برنامج spss لحساب الفروق المعنوية عند مستوى معنوية % 5 تبين الدراسة الاحصائية عدم وجود فروق معنوية بين كفاءة إزالة الكادميوم والنيكل ودرجة ال pH.

أظهرت التجارب أن نبات عدس الماء (Lemna spp.) يمتلك قدرة مميزة على امتصاص وتراكم النيكل (Ni^{2+}) من مياه الصرف الصناعي بنسبة أعلى من الكادميوم .(Cd^{2+}) ويُعزى هذا التفوق إلى عدة عوامل كيميائية وفيزيولوجية [83] يتمتع أيون النيكل بحجم أصغر (0.69 Å) مقارنة بأيون الكادميوم(0.95 Å) ، مما يسهل مروره عبر الأغشية الخلوية باستخدام قنوات الامتصاص الأيونية في الجذور . إضافة إلى ذلك، يُعد النيكل عنصرًا نزرًا يدخل في تركيب بعض الإنزيمات النباتية مثل "urease"، مما يدفع النباتات إلى امتصاصه عند وجوده بكميات ضئيلة[13]. في بيئة مائية معتدلة الحموضة، يتمتع النيكل بثبات أكبر في المحلول، حيث لا يترسب بسهولة مقارنة بالكادميوم، مما يزيد من توافره الحيوي للنبات .أما الكادميوم، فبالرغم من ذوبانيته العالية، إلا أنه سام جدًا للنباتات، ويؤدي إلى تثبيط العديد من العمليات الحيوية مثل التمثيل الضوئي والتنفس الخلوي، ما يحدّ من قدرة النبات على امتصاصه بكميات كبيرة[14]. تتنافس بعض الأيونات الأخرى الموجودة في المياه مثل

الكالسيوم والمغنيسيوم والزنك على مواقع الامتصاص في الخلايا الجذرية،[15]وتُظهر الدراسات أن الكادميوم يتأثر أكثر بهذه المنافسة مقارنة بالنيكل .كما أن النيكل قادر على تكوين معقدات مستقرة مع المركبات العضوية التي تفرزها جذور عدس الماء، مثل الأحماض العضوية، مما يسهل امتصاصه[16].بناءً على ما سبق، فإن تفوق النيكل في هذه التجربة يعتبر نتيجة منطقية تتماشى مع الدراسات المنشورة حول امتصاص المعادن الثقيلة باستخدام عدس الماء، وهو ما يدعم إمكانية استخدام هذا النبات في معالجة مياه الصرف الصناعي المحتوية على النيكل بفعالية.

الاستنتاجات:

بينت نتائج قياس كفاءة إزالة الكادميوم و النيكل من المياه مايلي :

-كفاءة إزالة الكادميوم و النيكل من المياه عند pH=7.7 كانت أعلى من المياه ذات pH=5.6.

- أن نسبة إزالة الكادميوم عند تلوث0.25mg/l كانت بحدود51%عند العمق 25cm و زمن مكث قدره T=15day،وعند تحميل هيدروليكي 0.016m3/m2.d، والنيكل عند تلوث المياه ب 2.5mg/l كانت أعلى نسبة للإزالة 54.5%.

-كان نبات عدس الماء مراكم جيد للنيكل على حساب الكادميوم،مع زمن مكث مناسب حيث وصلت قيمة معامل التراكم الحيوي إلى قيم قريبة من 0.6 عند العمق 25cm ،وتحميل هيدروليكي 0.016m3/m2.d.

-عدم كفاية نبات عدس الماء لإزالة الكادميوم من الماء عند تلوث مع تلوث الماء بالنيكل، لزيادة المردود لابد من زيادة زمن مكث الماء.

-ممكن تحقيق كفاءة مثالية و تحقق المواصفة السورية كمعالجة ثانوية أو ثالثية للمياه.

- النبات الناتج عن المعالجة من الضروري تجفيفه و حرقه ثم طمره بشكل أمن ضمن مطامر صحية.

المراجع.

1-العقدة، ديمة. المعالجة الثالثية لمياه الصرف الصحي باستخدام نبت عدس الماء في محطة الجنديرية نموذجاً. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم البيولوجية، المجلد 38، العدد 3، 2016.

2-إبراهيم، سماهر. دراسة أشكال وحركية بعض المعادن الثقيلة في نظام (تربة – نبات) عند إضافتها بمستويات مختلفة. رسالة دكتوراه، كلية الزراعة، جامعة البعث، 2014.

3- Qasim, Bashar. Simultaneous Determination of Lead and Cadmium in Environmental Samples Using Zinc-diethyldithiocarbamates. Baghdad Science Journal, Vol. 21, No. 1, pp. 3150–3157, 2024. https://doi.org/10.21123/bsj.2024.9475

4- Taleb, R., Qasim, B. Potassium Hydroxide Activated Peanut Shell as an Effective Adsorbent for the Removal of Zinc, Lead and Cadmium from Wastewater. Journal of Ecological Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 66–78, 2023. https://doi.org/10.12911/22998993/156006

5- Ghosh, M., Singh, S.P.A. Comparative Study of Cadmium Phytoextraction by Accumulator and Weed Species. Environmental Pollution, Vol. 133, pp. 365–371, 2004.

6- Al-Mayah, A.A. The Aquatic Plants of the Marshes of Southern Iraq. Marine Science Center, Vol. 18, pp. 127–143, 1994.

7- Al-Mayah, A.A., Al-Hamin, F.I. Aquatic Plants and the Algae. University of Basrah, pp. 699–701, 1991.

8- Barhoum, A.A. Controlling Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) in Zahed Area Through Using it in Organic Fertilization and the Production of Biogas. Unpublished Doctoral Dissertation, Faculty of Agriculture, Al-Baath University, Syria, 2021.

9- Zorai, A., Benzahi, K., Labed, B., Ouakouak, A., Serraoui, M., Bouhoreira, A. Performance of Hybrid Constructed Wetland System for the Treatment of Secondary Wastewater Effluent under Arid Climate Conditions (Southeastern Algeria): A Laboratory Scale Investigation. Journal of Pollution, 2023. https://doi.org/10.22059/poll.2022.349117.1637

10- Lué-Merú, M., Parra, G., Gosmyr, T.A., Adolfo, D., David, A., Erick, S. Phytoremediation of Low Levels of Heavy Metals Using Duckweed (Lemna minor). In: Abiotic Stress Responses in Plants, pp. 451–463, 2012.

11- Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, Syrian Arab Organization for Standardization and Metrology (SASMO). Treated Wastewater for the Aquatic Environment. Standard No. 2580, 2008.

12- Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, Syrian Arab Organization for Standardization and Metrology (SASMO). Industrial Liquid Waste Permitted to be Discharged into the Aquatic Environment. Standard No. 3474, 2009.

13- Rahman, M.A., et al. Effects of Nickel on Growth and Accumulation in Duckweed (Lemna minor). Science of the Total Environment, 2007.

14- Zayed, A., Gowthaman, S., Terry, N. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. Journal of Environmental Quality, Vol. 27, No. 3, pp. 715–721, 1998.

15- El-Khaiary, M.I., Malash, G.F. Phosphate Removal Using Aquatic Macrophytes: Effect of pH and Initial Concentration. 2011.

16- Wang, W. Literature Review on Duckweed Toxicity Testing. Environmental Research, Vol. 52, No. 1, pp. 7–22, 1990

A study of the ability of the duckweed plant (Lemna minor) to extract cadmium and nickel from polluted water.

Shorouq Saad (1), Prof. Dr. Samir Samsham (2), and Dr. Naima Ajeeb(3)

1 PhD student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Homs

2 Professor, Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering, University of Homs

3 Lecturer, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Homs

The research was conducted in the Environmental Engineering Laboratory at the Faculty of Civil Engineering, University of Homs. The aim of the research was to study the efficiency of the duckweed plant in reducing the concentrations of cadmium and nickel present in water at three concentrations (0.25−1−2 mg/l) for cadmium and (2.5−5−10 mg/l) for nickel. To achieve the research goal, two basins were designed with two different heights (H1 = 65 cm, H2 = 25 cm) and a residence time of T = 15 days. Surface hydraulic loads were applied during the residence time. The basins were planted with duckweed plants, and samples were taken at two pH levels (pH1 = 7.7, pH2 = 5.5). The results of the laboratory measurements obtained showed that the cadmium removal rate at a contamination level of 0.25 mg/l was approximately 51% at a depth of 25 cm and a residence time of T=15 days, and at a hydraulic loading of 0.016 m3/m2.d, the highest nickel removal rate was achieved with water contaminated with 2.5 mg/l. At pH=7.7, removal rates were higher than with water at pH=5.6. From the BAC values, we find that duckweed is a better nickel accumulator, with higher BAC values than cadmium. The results obtained indicate that the treatment method using duckweed is a

viable method for extracting cadmium and nickel from contaminated water, especially with optimal treatment. The residence time is increased with more polluted treatments.

Keywords: Extraction – Duckweed – Cadmium – Nickel – Surface hydraulic loading.