

معرفة مدى امتصاص طحلب *Chara sp.* لتراكيز مختلفة من عنصر الكاديوم

عبد المنعم محمد علي كنه
قسم علوم الحياة/ كلية العلوم / جامعة الموصل
E-mail: abomaith@yahoo.com

عبدالستار جبير زين الحياي
قسم تقانات البيئة/ كلية علوم البيئة وتقاناتها/ جامعة الموصل
E-mail: Sattarjubair@yahoo.com

هبة خليل سعيد

قسم علوم الفيزياء الحياتية/ كلية العلوم/ جامعة الموصل
E-mail: hibasaeed64@gmail.com

(أستلم 2019/6/30 ؛ قبل 2019/9/16)

DOI: [10.33899/rjs.2020.164479](https://doi.org/10.33899/rjs.2020.164479)

الملخص

تم استخدام الامتزاز الحيوي لأيون عنصر الكاديوم بواسطة الطحلب (*Chara sp.*) حيث جفف وتم تشخيص المجاميع الفعالة للطحلب والمسؤولة عن الامتزاز باستخدام الاشعة تحت الحمراء (FTIR) وهي (C=O ، COOH) والرابطة (C-H) الاليفاتية اضافة الى وجود مجاميع ذات شحنة سالبة مثل (OH) و (P=O) و (CO₃) و (CH₂) و (Cl) و (Br) على سطح الطحلب، واخذ منها وزن (2) غم وعوملت بسلسلة تراكيز مختلفة (0 ، 5 ، 10 ، 20 ، 40 ، 100) ملغم.لتر⁻¹ من ايون الكاديوم وبعدها حضنت المعاملات على درجة حرارة (298 °) كلفن، بعد انتهاء فترة التحضين تم استخلاص رواسب الاتزان وقدر فيها الكاديوم مع وصفها رياضيا حسب معادلات (لانكمير ذات السطح الواحد وذات السطحين، فرنلخ، دوبين، تمكن وبولاني) على التوالي للكاديوم، ووجد بان قيم معامل التحديد كانت مؤثرة لجميع المعادلات مما يعطي دلالة واضحة على امكانية استخدام اي من هذه المعادلات الست الا ان معادلة لانكمير ذات السطحين تعد الاكفأ في الوصف الرياضي للامتزاز علاوة على ذلك فان هذه المعادلة اظهرت تطابقاً كبيراً جداً لقيم الامتزاز الفعلية والقيم المحسوبة من هذه المعادلة وذلك لامتلاكها اقل خطأ قياسي (SE) (0.0001) واعلى معامل تحديد (R²) (1.00) مما يكسبها الافضلية في الوصف الرياضي على بقية المعادلات. تراوحت قيمة سعة الامتزاز الاعظم (X_m) على السطح الاول والثاني (1.28) و (169.49) ملغم.كغم⁻¹ على التوالي، في حين بلغت طاقة الربط (K) على السطح الاول والثاني (186.62) و (29.50) لتر.ملغم⁻¹ وعلى التوالي.

الكلمات الدالة: الامتزاز الحيوي، كاديوم، *Chara sp.*، FTIR.

المقدمة

يعود طحلب *Chara sp.* الى :

Division: Charophyta
Class: Charophyceae
Order: Charales
Family: Characeae
Genus: Chara

حسب التصنيف (Zeneli and Kashta, 2016) و (Pandey and Trivedi, 1983).

يتكون الطحلب من محور قائم متفرع يتصل بالمادة الاساس بواسطة اشباه الجذور، الساق الرئيسي مقسم الى عقد وسلاميات وقد تنمو من كل عقدة اشباه اوراق وتتكون العقد من العديد من الخلايا الصغيرة بينما السلامية من خلية واحدة كبيرة، تعتبر هذه الطحالب *Chara sp.* حلقة الوصل بين الطحالب والحزازيات من الناحية التطورية. وهذه الطحالب تعيش في بيئة المياه العذبة وبعضها يفضل البيئة ذات الملوحة القليلة (عذبي، 2014).

تعد المعالجة الحيوية (Bioremediation) هي عملية استخدام الكائنات الحية مثل البكتيريا والخمائر والفطريات والطحالب والنباتات لعلاج الاوساط الملوثة، بما في ذلك الماء والتربة والهواء، من خلال تغيير الظروف البيئية لتحفيز نمو الكائنات الدقيقة وتقليل الملوثات المستهدفة في إزالة المواد السامة الخطرة على الأنظمة البيئية وصحة الإنسان حيث تجرى عمليات تحويل المركبات الملوثة من خلال التفاعلات التي تقوم بها الكائنات الحية كجزء من عمليات الأيض (محي الدين واخرون، 2015).

لوحظ في مواقع متعددة من العالم بما في ذلك أوروبا ودرجات متفاوتة من النجاح إن إحدى المشاكل الكبرى في المجتمعات التي تسودها الصناعة هي الاستخدام الكبير للمياه مع وجود متطلبات كثيرة للمياه النقية، لذلك استخدمت عدة أساليب لتقليل الاستهلاك المائي ولكن على المدى الطويل تبين أنه من الممكن فقط إعادة تدوير مياه المجاري إلى مياه ذات نقاوة عالية (Kumar et al., 2011; Almukhtar and Ageena, 2012)، وفي الوقت الراهن تتم مناقشة تقنيات المعالجة البديلة التي تلائم المجتمعات الصناعية فضلاً عن الدول المتطورة لضمان توفير مياه ذات جودة عالية وان التقنيات المتوافرة لمعالجة مياه المجاري لا تتواءم مع زيادة التلوث وخاصة المركبات العضوية التي زاد استخدامها في المجالات الصحية والمنزلية، وان التقنيات التي تستخدم فيها الاحياء المختلفة (كالجراثيم، الفطريات، الطحالب والنباتات) في معالجة وإزالة الملوثات السامة (المواد العضوية، غير العضوية والمعادن الثقيلة) من المياه الملوثة، من افضل الطرائق الحديثة لمعالجة الملوثات، وتتميز بكونها آمنة للبيئة وقليلة التكلفة مقارنة بالتقنيات الاخرى (طلعت، 2012؛ Kelly-Vargas et al., 2012؛ Bulgariu and Bulgariu, 2012؛ الحسيني والميالي، 2015).

اجريت العديد من الدراسات حول وجود العناصر الثقيلة في المياه المحلية كالكاديوم، النحاس، الرصاص، الخارصين، الزئبق، الكروم، القصدير والنيكل، إذ قامت الطائي (2012) بتقييم نبات عدس الماء في ازالته للعناصر الثقيلة (الزنك، الرصاص والنحاس) من مياه الفضلات ولوحظ انخفاض معنوي لتركيز الزنك والرصاص والنحاس بنسبة 76.92% و90% و16.67% على التوالي، أما عذبي واخرون (2015) قاموا بمعاملة نوعين من الطحالب *Nostoc linckia* و *moena* بتراكيز (0.10 و0.25 و0.50 و1.0 و2.0) ملغم. لتر⁻¹ من العناصر الثقيلة (الكوبلت والكاديوم) حيث ازداد تركيز العنصرين في الطحالب مع زيادة التراكيز، بينما وجدت نجر واخرون (2014) ارتفاع تراكيز العناصر الثقيلة (الرصاص، النيكل والكاديوم) في الماء وطحلب *Chara sp.* في مياه الفضلات الناتجة من معامل انتاج البطاريات.

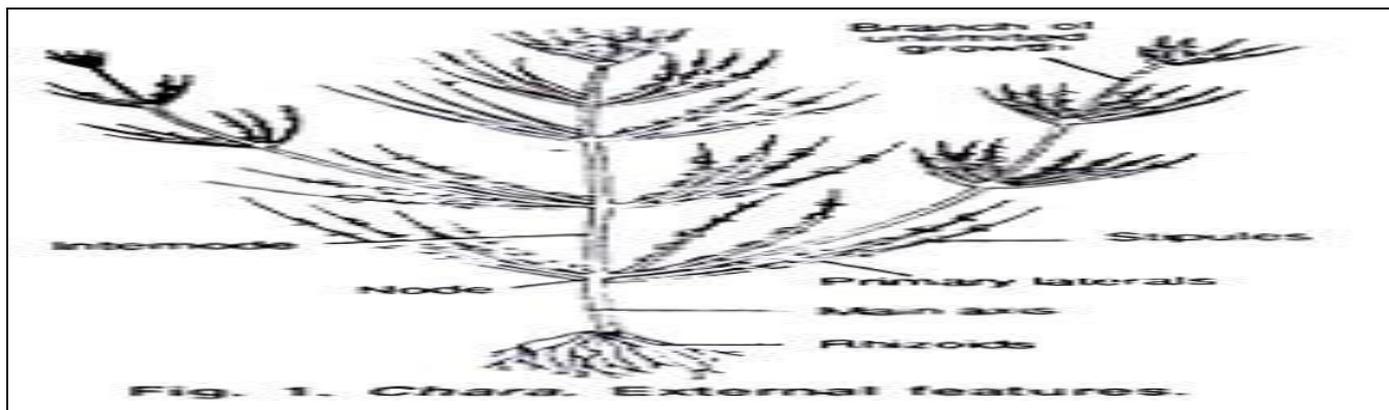
اتجهت البحوث والدراسات حول إمكانية استعمال أنواع الطحالب والسيانوبكتريا لإزالة المعادن الثقيلة من التربة الملوثة بسبب إمتلاكها آليات عديدة ومتنوعة في قابليتها على الامتصاص الحيوي والتراكم الحيوي داخل خلاياها إذ أظهرت كفاءة عالية في هذا المجال (عذبي واخرون، 2015)، بينما لاحظ عبد الله (2006) قدرة ارتباط المعادن الثقيلة في الطحالب الخضر المزرقة والجينات المسؤولة والتطبيقات المثلى في المعالجة الحيوية للمياه الملوثة لغرض استعمالها في الزراعة واستنتج الباحث ان السلالات المدروسة اظهرت فروعاً معنوية واضحة في قدرتها على إزالة المعادن المختبرة وإستجابتها للزيادة في تركيز هذه المعادن وإن *Anabaena varibilis* يتبعها *Tolythrix ceytonica* اظهرت كفاءة عالية في التراكم الحيوي والقدرة على إزالة (100%) للمعادن الثقيلة المختبرة. وأختبرت أنواع من السيانوبكتريا في قابلية امتصاصها للمعادن الثقيلة من خلال استخدام معادن مفردة ونظام الإزالة لمعادن متعددة حيث اعطت نتائج إيجابية بسبب قدرة سلالات السيانوبكتريا المدروسة على إنتاج سكريات

متعددة خارج خلوية (Pereira وآخرون، 2011)، كما إستعملت مزارع السيانوبكتريا في المعالجة الحيوية لمياه الفضلات الصناعية واستنتج الباحث ان الانواع المستعملة من السيانوبكتريا والمتضمنة *Oscillatoria sp.* ، *Synechococcus sp.* ، *Nodularia sp.* ، *Nostoc sp.* و *Cyanothece sp.* والمستخدمه بصورة مفردة أو مجتمعة كانت كفوءة في تقليل التلوث بمعدلات سريعة وأعطت مدى كبيراً في المعالجة الحيوية للتلوث الصناعي في مدينة بوبال الهندية (Dubey et al., 2011)، وفي دراسة تطبيقية في استخدام الكتل الطحلبية كدلائل حيوية ومستخلصات نباتية للتلوث بالمعادن الثقيلة في مياه الصرف الصحي لمدينة كامبالا في أوغندا حيث استخدمت تراكيز مختلفة من الرصاص، الكاديوم، النحاس والزنك مع كتل طحلبية وكانت النتائج انه عند استخدام الكتل الطحلبية اظهرت كفاءة عالية في تراكم المعادن الثقيلة وأن قيم التراكم الحيوي في الكتل الطحلبية للمعادن المستخدمة أظهرت $Cd < Pb < Zn < Cu$ على الترتيب في المنطقة المدروسة وذكر الباحث انه يمكن استخدام الطحالب للمراقبة المائية ومرشحات حيوية نباتية للإستخلاص النباتي والكواشف الحيوية (Bioindicator) لتلوث مياه فضلات النظام البيئي لمدينة كامبالا (Sekabira et al., 2011).

وعليه كان الهدف من الدراسة الحالية هو استخدام طحلب *Chara sp.* كمعالج حيوي واختبار قدرته على إزالة تراكيز مختلفة من عنصر الكاديوم.

المواد وطرائق العمل

لأجل تنفيذ هذه المعالجة اختيرت الطحالب الكارية (*Chara sp.*) المشخصة وفقاً لتصنيف (Zeneli and Kashta, 2016) و (Pandey and Trivedi, 1983) والموضحة بالشكل (1) وجففت من خلال اخذ الكتلة الحية ووضعها على ورق ترشيح في غرفة حارة ومكان معقم لحين جفافها تماماً واخذ منها وزن (2) غم ووضعها في أنابيب بلاستيكية سعة (120) مل وعولت بسلسلة تراكيز مختلفة من الكاديوم (0, 5, 10, 20, 40, 100) ملغم. لتر⁻¹ على شكل نترات الكاديوم (CdNO₃) وبنسبة (1 طحلب : 20 محلول) حيث حضنت المعاملات على درجة حرارة (298) ° كلفن وبعد انتهاء فترة التحضين والمتضمنة (24) ساعة، رجت لمدة نصف ساعة وتركت لمدة (24) ساعة للاتزان بعدها تم فصل رواسب الاتزان بواسطة الطرد المركزي لغرض تقدير الكاديوم فيها بجهاز مطياف الامتصاص الذري موديل (GBC 933plus) وبالطوال الموجي (nm326.10) مع وصفها رياضياً حسب معادلات الامتزاز الاتية :



الشكل: 1 طحلب كارا *Chara sp.*

1. حساب كمية الكاديوم الممتز:

تم احتساب كمية الامتزاز للكاديوم عن طريق الفرق بين تركيز الكاديوم قبل وبعد الاتزان وحسب المعادلة التالية:

$$Cd^{+2} - ad. = \frac{V(C_{in} - C_{fin})}{W} \dots \dots \dots (1)$$

اذ ان: M^{+2} = ايون الكاديوم الممتز بوحدهات (ملغم.كغم⁻¹). و C_{in} = تركيز ايون الكاديوم قبل الاتزان (ملغم. لتر⁻¹).
 و C_{fin} = تركيز ايون الكاديوم بعد الاتزان (ملغم. لتر⁻¹) و V = حجم محلول الاضافة (مل) و w = وزن الطحلب (غم).

2. الوصف الرياضي للامتزاز :

تم وصف نتائج الامتزاز للتجربة أعلاه وحسب (Qadeer,2005) وكالاتي :

- معادلة لانكوير ذات السطح الواحد (Langmuir,1918) Langmuir equation (I)

$$C/X = 1/K X_m + C/X_m \dots \dots \dots (2)$$

حيث ان:

X = كمية ايون الكاديوم الممتز (ملغم.كغم⁻¹). و C = تركيز ايون الكاديوم في محلول الاتزان (ملغم.لتر⁻¹).
 K = ثابت يمثل طاقة الربط (لتر.ملغم⁻¹). و X_m = ثابت يعبر عن الامتزاز الاعظم (ملغم.كغم⁻¹).

- معادلة لانكوير ذات السطحين (Langmuir,1918) Langmuir equation(II)

$$X = K_1 b_1 C / (1 + K_1 C) + K_2 b_2 C / (1 + K_2 C) \dots \dots \dots (3)$$

حيث ان

X = كمية ايون الكاديوم الممتز (ملغم .كغم⁻¹). و C = تركيز ايون الكاديوم في محلول الاتزان (ملغم.لتر⁻¹). و K_1, K_2 = ثابت يمثل طاقة الربط (لتر . ملغم⁻¹). و b_1, b_2 = ثابت.

• معادلة فرندلخ (Freundlich,1906) Freundlich equation

$$\text{Log}X=b\text{Log} C+\text{Log} K \quad \dots\dots\dots (4)$$

حيث ان

X = كمية ايون الكاديوم الممتز (ملغم.كغم⁻¹). و C = تركيز ايون الكاديوم في محلول الاتزان (ملغم . لتر⁻¹). و K, b = ثوابت

• معادلة تمكين (Temkin, 1934) Temkin equation

$$X=\alpha+\beta\text{Lnc}\dots\dots\dots (5)$$

حيث ان

X = كمية ايون الكاديوم الممتز (ملغم . كغم⁻¹). و C = تركيز ايون الكاديوم في محلول الاتزان (ملغم . لتر⁻¹). و α, β = ثوابت.

• معادلة دوبين (Dubinin et al.,1947) Dubinin-Radushkevich equation

$$C_e/q=1/K_b+1/bC_e \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Log}q=\text{log}K_f+n\text{Log}C_e \quad \dots\dots\dots (7)$$

حيث أن:

C_e = تركيز النوع الايوني (الكاديوم) في محلول الاتزان.

q = كمية النوع الايوني الممتز (الكاديوم). و b = أقصى حد امتزازي. و K = معامل طاقة الربط (ملغم . لتر⁻¹). و

K_f = معامل التوزيع. و n = ثابت.

أجرى التحليل لمعامل الارتباط حسب برنامج Excel (2010). ولكون معادلتني الامتزاز (لانكمير وفرندلخ) لا تعطيان فكرة عن الية الامتزاز لذلك فقد تم استخدام معادلة (دوبين) لوصف الامتزاز على نوع واحد من الاسطح، حيث أن هذا النوع من الامتزاز هو تناظري (D-R) وأكثر عمومية من لانكمير لأنه لا يحتاج الى سطح متجانس وثابت. تم الحصول على الامتزاز من المعادلة التالية :

$$\ln q=\ln q_m-KE^2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$E=[RT \ln (1+(1/C_e))]. \quad \dots\dots\dots (9)$$

حيث أن :

$E = \text{polani-potential}$ و q = كمية الكاديوم الممتز على سطح الطحلب بوحدة (mole.g^{-1}) و K = ثابت طاقة الامتزاز ويعبر عنه بوحدة $(\text{mole}^2 \cdot \text{Kg}^2)$ و q_m = سعة الامتزاز .
اما معدل طاقة الامتزاز فيمكن حسابها (E) من قيمة الثابت (K) وحسب المعادلة التالية :

$$E = (-2K)^{-0.5} \dots\dots\dots (10)$$

وتكمن أهمية حساب (E) هو للكشف عن نوع عملية الامتزاز فأن بلغت القيمة (8-16) كيلوجول مول⁻¹ فأن عملية الامتزاز تفسر على أنها تبادل ايوني حسب (Kumar et al., 2010).

$$\ln q = \ln q_m - KE^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$E = [RT \ln (1 + 1/C_e)] \dots\dots\dots (12)$$

تم تحديد معايير الامتزاز (سعة الامتزاز وطاقة الربط) باعتماد الصيغة الخطية للمعادلات المذكورة اعلاه.

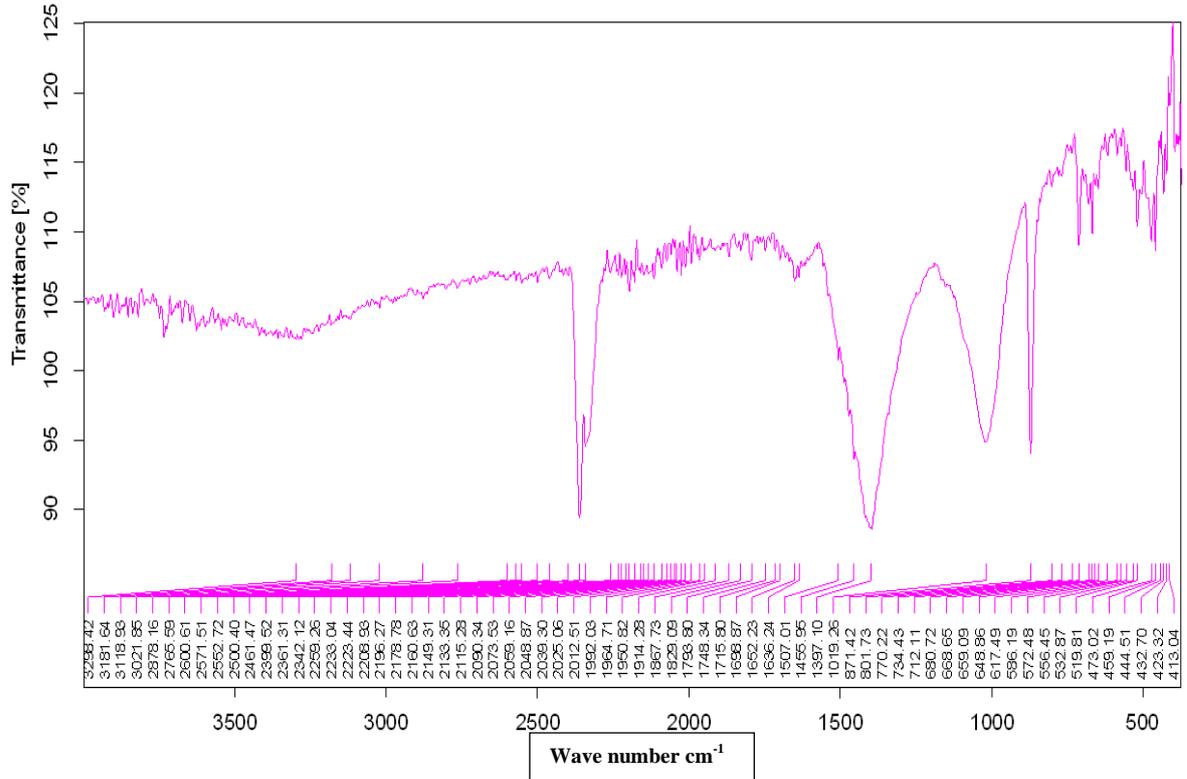
فحص العينات بواسطة طيف الامتصاص للأشعة تحت الحمراء : Infrared Spectroscopy

أخذت عدة مليغرامات غير محددة الوزن من العينة المجففة (طحلب كارا *Chara sp.*) ويتم فحصها بواسطة جهاز قياس طيف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) نوع (Alpha H10) من شركة (Bruker Optics) وبأطوال موجية ما بين (400-4000) سم⁻¹، إذ توضع العينة ويسلط عليها طيف الأشعة تحت الحمراء اذ تعمل العينة على امتصاص طيف الأشعة ثم بعد ذلك تعمل على تكون الحزم وتظهر على شكل مخططات وتقاس ب (سم⁻¹).

النتائج والمناقشة

تشخيص المجاميع الفعالة:

تم تشخيص المجاميع الفعالة للطحلب *Chara sp.* المسؤولة عن الامتزاز باستخدام جهاز الأشعة تحت الحمراء والموضحة بالشكل (2) وهي : (C=O ، COOH) والرابطة (C-H) الاليفاتية إضافة الى وجود مجاميع ذات شحنة سالبة مثل (OH) و (P=O) و (CO₃) و (CH₂) و (Cl) و (Br) على سطح الطحلب (Iqbal et al., 2009).



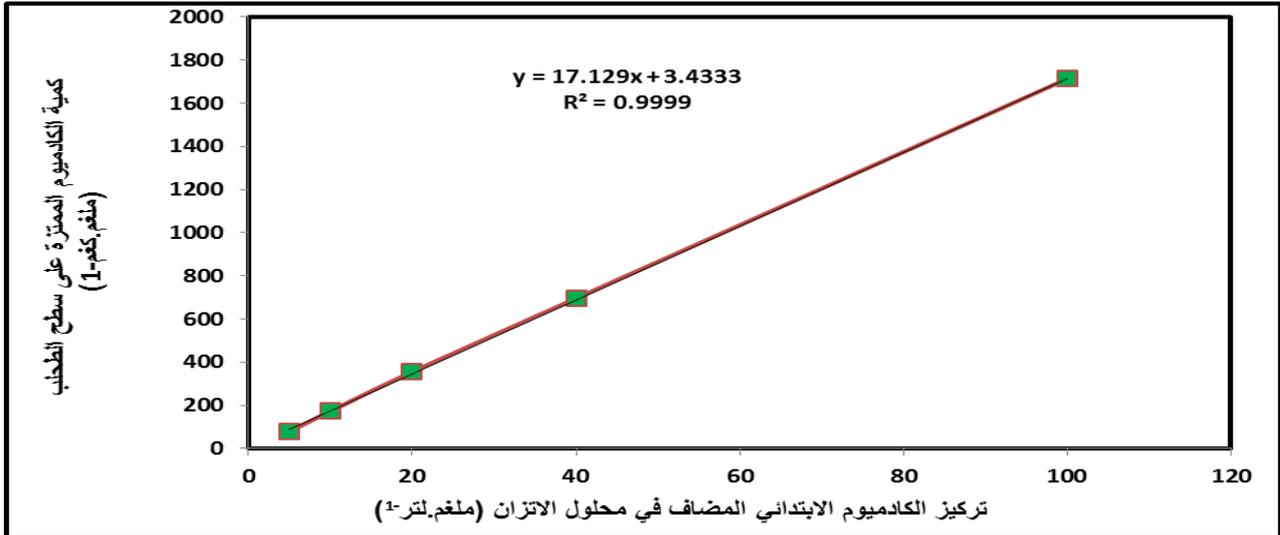
الشكل 2: طيف الأشعة تحت الحمراء لطحلب كارا *Chara sp.*

تضمنت هذه الدراسة اختبار تأثير التركيز الابتدائي لأيون (Cd^{+2}) بتركيز (0، 5، 10، 20، 40، 100) ملغم. لتر⁻¹ على كمية المادة الممتزة على سطح الطحلب المجفف عند درجة حرارة (298°) كلفن مع بقاء جميع المتغيرات الأخرى ثابتة، وقد أجريت هذه التجربة بطريقة الدفعة الواحدة وباستعمال المحلول الحاوي على الكاديوم، و (الجدول 1) يظهر مقارنة بين كمية المادة الممتزة من جهة وكفاءة الامتزاز (النسبة المئوية للامتزاز) من جهة أخرى مع التركيز الابتدائي.

الجدول 1: يبين تغير الكمية الممتزة والنسبة المئوية للامتزاز مع التركيز الابتدائي عند (298°) كلفن لمحلول ايون الكاديوم

التركيز الابتدائي المضاف (ملغم. لتر ⁻¹)	الكمية الممتزة (ملغم. كغم ⁻¹)	النسبة المئوية للامتزاز
0	-21.00	-
5	78.80	78.80
10	172.80	86.40
20	355.00	88.75
40	695.80	86.98
100	1712.40	85.62
المعدل	602.96	85.31

تظهر النتائج في (الجدول 1) أن أيون الكاديوم أبدى ميلا ثابتا في إزالته من المحاليل المائية على أسطح الطحلب، اذ نلاحظ أن كمية المادة الممتزة والتي تعبر عن مقدار الإستصلاح البيولوجي (Bioremediation) تزداد مع زيادة التركيز الابتدائي للفلز وكما هو مبين في الشكل (3).



الشكل 3: يبين العلاقة بين تركيز الكادميوم الابتدائي في محلول الإتزان وكميته الممتزة على سطح الطحلب عند درجة حرارة (298°) كلفن

وفي هذا الصدد كشفت العديد من الدراسات في مجال الامتصاص الحيوي للطحالب عن الألية المسؤولة عن هذا التفاعل والذي هو من نوع التفاعل التبادلي ما بين الايونات الموجبة للمعادن الخفيفة (كالسيوم، مغنيسيوم، صوديوم، بوتاسيوم) المرتبطة بالطحالب والعناصر الاخرى الموجودة في المحاليل المائية (Naja and Volesky, 2006) والذي يصف التطور في جزيئة الطحلب المازة من المحلول باتجاه موقع الأيون على الطحلب.

ان هناك عاملين رئيسيين يحددان عملية الإمتزاز البيولوجي الأول يتمثل في قوة شحنة الأيونات (Electronegativity) الكهروسلبية، والعامل الثاني هو حجم الأيون الممتز (القطر الذري للأيون الممتز)، عموماً الكتلة البيولوجية للطحالب تحتوي على عناصر قاعدية (كالسيوم، مغنيسيوم، صوديوم، بوتاسيوم) بالأصل موجودة في الماء الاعتيادي ولذلك عندما تتفاعل الكتلة البيولوجية للطحالب مع العناصر الثقيلة المحمولة في المياه فأن المعادن الخفيفة المذكورة أعلاه سوف تتحرر مسببة زيادة في درجة تفاعل المياه مما يؤدي الى تكوين الأيونات القاعدية الخفيفة إضافة الى ذلك فإن تحرر هذه الايونات القاعدية سيزيد من قيمة التوصيل الكهربائي للمياه. النتائج التي حصلنا عليها تتفق مع ما حصل عليه الباحث Sulaymon *et al.*, 2013; (Wang *et al.*, 2011) الذي وجد أن عملية الامتزاز البيولوجي للعناصر الثقيلة من قبل كتلة الطحالب أزاحت العناصر الخفيفة القاعدية (كالسيوم، مغنيسيوم، صوديوم، بوتاسيوم) إلى محلول الاتزان، عند اعتمادهم تقنية الأعمدة المملوءة بالطحالب الجافة إلى أن كمية العنصر الثقيل الممتز تعتمد على:

1. حالة الاتزان لامتزاز المتماثل حرارياً. 2. سرعة الانتقال الكتلي. 3. العوامل الهيدروديناميكية (سمك عمود الإمتزاز ومدة التماس).

إلا أن كفاءة الإزالة للطحلب تتناقص مع زيادة التركيز الابتدائي وهذا يعزى إلى أن زيادة التركيز الابتدائي لعدد ثابت من المواقع الفعالة المتوفرة لامتزاز مما يجعل كمية المادة المتبقية أكبر فيقلل من النسبة المئوية للإزالة هذا من ناحية، ومن الناحية الثانية فان زيادة التركيز الابتدائي لأيون الفلز يزيد من تنافس هذه الأيونات للارتباط على العدد الثابت من المواقع الفعالة الفارغة والمتوفرة لامتزاز على سطح وزن معين من الطحلب مما يقلل من كفاءة الامتزاز وهذا يتفق مع ما أشار اليه Kassim وجماعته (2006) إلى قدرة الطحالب في إزالة (80%) الى (100%) من بعض العناصر الثقيلة في أقل من يوم واحد، هذا الأمر يقلل من طاقة الارتباط بين أيون الفلز والموقع الفعال بسبب زيادة معامل فعالية السطح الماز.

من المعروف أن عملية إزالة الفلزات الثقيلة بواسطة الطحالب يمكن إن تعزى الى ميكانيكيات مختلفة حيث ترتبط هذه العناصر الثقيلة من خلال العديد من الاليات للتخلص من التأثيرات السمية لبعض المعادن الثقيلة وتختلف اليات المقاومة باختلاف نوع الطحلب ونوع المعدن وقد أظهرت بعض أنواعها قدرتها على إفراز مركبات خارج خلوية (Extracellular compounds) لها القدرة على الارتباط بالمعدن، وكما هو معلوم فإن للمعادن وأيوناتها قابلية الإتحاد مع المجاميع الوظيفية أو الروابط التي توجد بالجزيئات الفعالة حيويًا مثل (SH ، NH₄ ، OH ، COOH ، PO₄) وتحويلها للأشكال التي لا يمكنها الدخول إلى الخلية أو تخفض فعالية الأيون أو من خلال التحكم في نفاذية غشاء الخلية أو امتلاكها لمواقع فعالة على جدار الخلية لربط أيونات هذه المعادن بجدار الخلية، إن هذه الأليات التي تستخدمها الطحالب في مقاومة التأثير السمي للمعادن أو منعها من الدخول إلى الخلية تعرف بالإقصاء أو الابعاد (Shartooh *et al.*, 2014; Farhan *et al.*; Al-Qahtani, 2012; Kamsonlian *et al.*, 2011)، كما إن للعديد من أنواع الطحالب القدرة على إزالة التأثير السمي داخل الخلية (Intracellular) بتكوينها مركبات بيبتيدية غنية بـ (SH) تدعى (Y-Glutamyl-cystinil) في حالة التعرض للتراكيز الحادة من المعادن. أما عند مستوى التراكيز دون المميتة فيمكن أن تكون مركبات (Y-Glutamyl- cystinil- cystinil) (GSH) وفي كلتا الحالتين تعرف مثل هذه المركبات البيبتيدية أو البروتينية بالمركبات المخيلية النباتية (Phytochelating compounds) وهي غنية بالحامض الأميني السستين (Cystine) ولها القدرة على ربط أيونات المعادن بتراكيبها الجزيئية عند مواقع (SH) الموجودة ضمن تركيبها الكيميائي منتجة بذلك معقدات المعادن (Cobbet, 2000; عبد الله، 2006)، ويمكن القول من وجهة نظر أخرى أن صفة التراكم قد تعطي حلولاً وذلك بإستغلال كائنات مجهرية لها القدرة التكيفية على تحمل هذه النسب العالية من الملوثات وتركيزها في أجسامها وبالتالي العمل على تخليص البيئة منها وهذا ما يدعو الى التفكير بجدية بإستخدام هذه الكائنات كمعالجات أحيائية أو كدلائل للتلوث حسب حساسيتها مثل الطحالب التي تمتلك كما كبيرا من الأنواع والأجناس والذي يعطي طيفا واسعا عن التحسس أو التحمل لهذه الملوثات ولكن لا بد من توفير كائنات أو سلالات معينة قابلة للإستخدام المختبري من خلال إيجاد عزلات نقية بإعتماد تقنية زراعة الطحالب، إذ تستخدم بعض أنواع الطحالب في صناعة منتجات لإزالة الزئبق من المياه حيث يتسبب الزئبق في حدوث طفرات وأضرار جينية (Sulaymon *et al.*, 2013) مما يجعل للامتصاص الحيوي دورا هاما في حل مشكلة تلوث المياه من العناصر الثقيلة والناجمة عن الفعاليات الصناعية حيث أن لها القدرة على ذلك (عذبي وآخرون، 2015)، ومن هنا يمكن البحث عن اجناس تقوم بهذا العمل بشكل فعال. لذلك جاءت هذه الدراسة لغرض التعرف على إمكانية إزالة المعادن الثقيلة من التربة والمياه الملوثة بإستخدام الطحالب المعزولة من البيئة المحلية والواسعة الإنتشار كونها تقنية حديثة وغير مكلفة وتحافظ على البيئة من التلوث وهذا ما أكدته العديد من الدراسات العالمية بهذا المجال (Wang and Chen, 2009; Al-Mayaly, 2009; Ali, 2011; Sulaymon *et al.*, 2010; Rathinam *et al.*, 2010).

الوصف الرياضي لمعادلات الإمتزاز:

تم اختبار قدرة الطحلب كارا على إمتزاز الكادميوم عن طريق الإلتزان الديناميكي المتمائل حراريا لأجل الحصول على ثوابت الإمتزاز البيولوجي (Biosorption) والتي تعبر عن خواص السطح الماز وميله أو درجة إنجذاب الأيونات الثقيلة اليه كوسيلة معالجة للتخلص من العناصر الثقيلة في المياه الثقيلة.

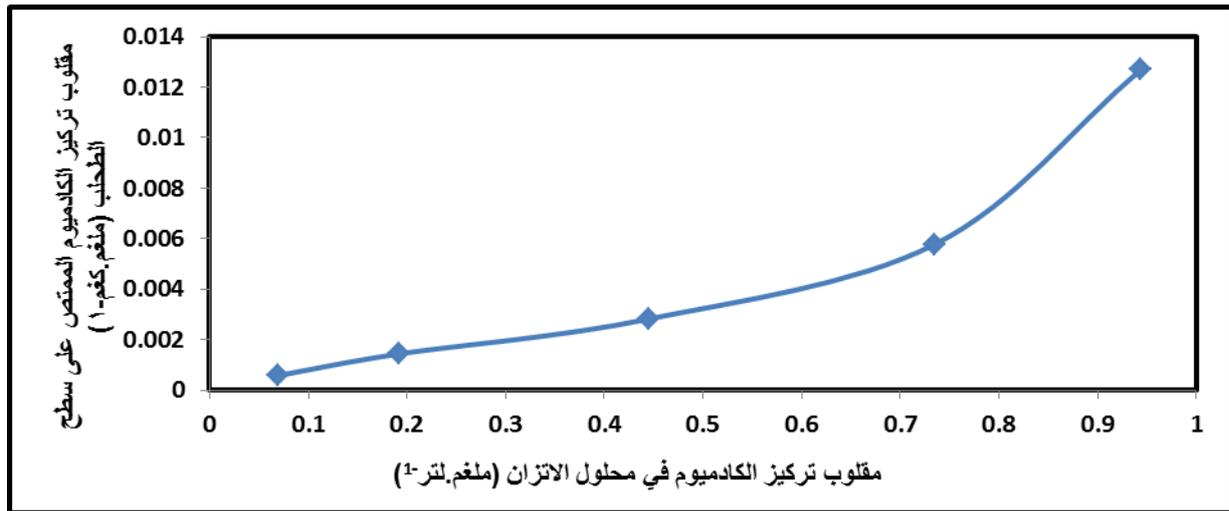
يبين (الجدول 2) قيم معدل معامل التحديد (R^2) والخطأ القياسي (SE) لمعادلات الإمتزاز والتي تم الحصول عليها بتطبيق معادلات (لانكميز ذات السطح الواحد وذات السطحين، فرنلخ، دوبين، تمكن وبولاني) على التوالي للكادميوم حيث يتضح من الجدول بأن قيم معامل التحديد كانت مؤثرة لجميع المعادلات مما يعطي دلالة واضحة على إمكانية إستخدام أي من هذه المعادلات الست إلا أن معادلة لانكميز ذات السطحين تعد الأكفأ في الوصف الرياضي للإمتزاز علاوة على ذلك فأن هذه المعادلة

أظهرت تطابقاً كبيراً جداً لقيم الإمتزاز الفعلية والقيم المحسوبة من هذه المعادلة وذلك لإمتلاكها أقل خطأ قياسي مما يكسبها الأفضلية في الوصف الرياضي على بقية المعادلات.

الجدول 2: يبين الخطأ القياسي (SE) ومعامل التحديد (R^2) لتجارب امتصاص الكاديوم

R^2	SE	المعادلات	
0.87	0.002	لانكمير ذات السطح الواحد	
1.00	0.000	(السطح الاول)	لانكمير ذات السطحين
1.00	0.0001	(السطح الثاني)	
1.00	0.0001	المعدل	
0.95	0.133	فرنديلخ	
0.95	0.133	دوبين	
0.94	158.31	تمكن	
0.93	0.36	بولاني	

وإن تفوق معادلة لانكمير ذات السطحين في الوصف الرياضي لعملية إزالة (الإمتزاز البيولوجي) الأيونات من سطح الطحلب تم توضيحه بالشكل (4) لمعادلة لانكمير ذات السطحين.



الشكل 4: العلاقة بين مقلوب تركيز الكاديوم في محلول الاتزان كدالة لمقلوب تركيز النوع الأيوني المدمص على سطح الطحلب

وهذا يتفق الى ما اشار اليه (Gupta and Rastogi (2008) و Reddy et al. (2010) و Montazer-Rahmati et al. (2011) و Bayo(2012) و Yin et al.(2012) و Fathi et al.(2012) إن عملية الإمتزاز البيولوجي للعناصر الثقيلة بفعل الأحياء الدقيقة تمر بمرحلتين الأولى إدمصاص سريع (Rapid uptake) يعزى إلى الإمتزاز السطحي على مكونات الجدران الخلوية يعقبها إمتصاص بطيء يعزى إلى الإنتقال الأيوني عبر الغشاء الخلوي الى سايتوبلازم الخلايا، إن الخلايا السطحية لهذه

الاحياء تتألف من مركبات متعدد السكريات (polysaccharides) والبروتينات والليبيدات لذا تحوي على العديد من المجاميع الفعالة القابلة على الإرتباط مع الأنواع الأيونية للعناصر الثقيلة، لذا فإن عمليات الإمتصاص البيولوجي تمتلك العديد من الثوابت تعتمد على سرعة الإمتصاص البيولوجي (Biosorption) مثل الخصائص التركيبية (Structural) لكل من المادة المازة والسطح العضوي الماز (Biosorpante) وعلى سبيل المثال وليس الحصر فإن كل من تركيب البروتينات وكثافة الشحنة السطحية والمساحة السطحية وطبيعة السطح (Topography) عوامل مؤثرة في عملية الامتزاز البيولوجي وكذلك فإن كمية المادة المازة (adsorbent) ومدة التماس ودرجة تفاعل الوسط ودرجة الحرارة والتركيز الأولي للأيون المعدني لها تأثير كبير في سرعة عملية الإمتزاز البيولوجي.

الامتزاز الأعظم للنوع الأيوني الثقيل على سطح الطحلب وطاقة ربطه:

إن معادلة لانكمير ذات السطح الواحد وذات السطحين تعتمد على إفتراض بأن القوى ما بين الجزيئات تتناقص بسرعة مع المسافة وإمكانية التنبؤ بحدوث تغطية أحادية الطبقة للأيون الماز على سطح المادة المازة كما تفترض بأن الإمتزاز يحدث على مواقع متخصصة ومتجانسة للمادة المازة إن قيم ثوابت الإمتزاز للصيغة الخطية لمعادلة لانكمير من قبل الطحالب تم إستخراجها من قاطع العلاقة وميلها أن قيم معامل التحديد القوية التي حصلنا عليها لهذه المعادلة تقودنا للإستنتاج بأن كتلة الطحالب المستخدمة في الإمتزاز تخضع وبدرجة قوية لهذه المعادلة في عملية الإمتزاز. لقد تراوحت قيمة سعة الإمتزاز الأعظم على السطح الأول للطحالب الكارية (1.28) ملغم.كغم⁻¹، في حين بلغت طاقة الربط على السطح الأول للطحالب الكارية (186.62) لتر.ملغم⁻¹ وكما هي موضحة في (الجدول 3).

الجدول 3 : يبين قيم ثوابت معادلة لانكمير ذات السطحين لإمتصاص الكاديوم على سطح الطحلب قيد الدراسة

X_{m2} (ملغم.كغم ⁻¹)	K_2 (لتر.ملغم ⁻¹)	X_{m1} (ملغم.كغم ⁻¹)	K_1 (لتر.ملغم ⁻¹)
169.49	29.50	1.28	186.62

وبلغت قيم سعة الإمتزاز الأعظم على السطح الثاني للطحالب الكارية (169,49) (ملغم.كغم⁻¹)، في حين بلغت طاقة الربط على السطح الثاني للطحالب الكارية (29.50) لتر.ملغم⁻¹ وكما هي موضحة في (الجدول 3). وهذا ما يؤكد بوجود سطحين في عملية الإمتزاز البيولوجي أو ما يسمى بالإزالة البيولوجية كوسيلة للتخلص من العناصر الثقيلة في المحاليل المائية وهذا يعود الى وجود أكثر من مادة فعالة في جسم الطحلب المستخدم وهذا يتفق مع ما أشار اليه Montazer-Rahmati وجماعته (2011) على سعة إمتزاز أعظم للطحلب قدرها (16.35, 16.17, 19.36) ملغم.كغم⁻¹ لعناصر الكاديوم والنيكل والرصاص على التوالي. وأشار هذا الباحث أيضا إلى نجاح معادلات لانكمير وفرندلخ وتمكن ودوبين في الوصف الرياضي لعملية الإمتزاز البيولوجي، كما وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه (Chakravarty et al.,2010; Babarinde,2011;Almasi et al.,2012; Tarbaoui et al.,2017).

حيث حصل Al-Khazragy et al. (2005) إلى تفوق معادلة لانكمير على فرندلخ في الوصف الرياضي لعملية إمتزاز العناصر الثقيلة من قبل الطحالب.

الاستنتاجات

أظهرت النتائج التي حصلنا عليها والموضحة في (الجدول 1) إختلافاً في سلوك وكميات الإمتزاز لكل أيون على سطح الطحلب وهذا الإختلاف يعود إلى الخواص الفيزيائية لكل أيون (السالبية الكهربائية ونصف القطر وجهد التأين) وبذلك يمكن الإستنتاج بأن إستخدام الطحالب ضروري في إزالة العناصر الثقيلة من المياه قبل إستخدامها في الزراعة

المصادر العربية

- الحسني، عبدالهادي كاظم، الميالي، ايثار كامل (2015). الازالة الحيوية لمعدني الرصاص والكاديوم بوساطة طحلب *Westielloopsis prolifica*. المجلة العراقية للعلوم. 25 (4 ب)، 3102-3094.
- نجر، لمياء عبد السادة؛ الحسيني، احمد عيدان ؛ ناجي، هاني سعيد ؛ طالب، رسل مكي (2014). الامتزاز الحيوي لعناصر الرصاص والكاديوم والنيكل من مياه الصرف الصناعي باستخدام الطحالب الكبيرة الجافة. مجلة بغداد للعلوم. 11(2)، 999-1007.
- الطائي، نضال تحسين (2012). تتبع العناصر الثقيلة الزنك والحديد والرصاص والنحاس باستعمال نبات عدس الماء *Lemna sp.* في السلسلة الغذائية واختبار سلامتها في غذاء الانسان بنهاية السلسلة. مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية. 12 (2)، 85-97.
- طلعت، ريم أباد(2012). دراسة بيئية وبكتريولوجية لمياه الصرف الصحي لمصب قره سراي في مدينة الموصل وبعض تقنيات المعالجة. رسالة ماجستير، قسم علوم الحياة ، كلية التربية، جامعة الموصل.
- عبدالله، لنا سعيد محمد(2006). قدرة ارتباط المعادن الثقيلة في الطحالب الخضراء المزرقة والجينات المسؤولة والتطبيقات المتلى في المعالجة الحيوية للمياه الملوثة بغرض استخدامها بالزراعة. اطروحة دكتوراه، معهد البحوث والدراسات العربية، قسم الدراسات البيئية، جامعة الاسكندرية، مصر.
- عذبي، احمد محسن؛ ناصر، صباح هاني ؛ عيال، عبدالوهاب ريسان (2015a). المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة باستعمال بعض الطحالب الخضر المزرقة المعزولة من نهر الفرات عند مدينة الناصرية. مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية. 4 (2)، 1-18.
- عذبي، احمد محسن؛ ناصر، صباح ناھي ؛ عيال، عبدالوهاب ريسان (2015). دور بعض الطحالب الخضر المزرقة في المعالجة الحيوية لبعض العناصر المعدنية الثقيلة. مجلة كلية التربية للعلوم الصرفة. 5 (2)، 231-243.
- عذبي، احمد محسن(2014). "الطحالب العملي". مطبعة دار الكتب للطباعة والنشر/ جامعة البصرة.
- محي الدين، محمد عمر؛ الصوفي، محمد عبدالرزاق؛ موسى، عادل تركي (2015). استخدام خميرة *Saccharomyces cerevisiae* في المعالجة الحيوية لبعض المعادن الثقيلة. مجلة مركز بحوث التقنيات الحياتية. 9 (2)، 46-54.

المصادر الأجنبية

- Ali, A.H. (2011). Performance of Adsorption/Biosorption for Removal of Organic and Inorganic Pollutants. Ph.D. Thesis, Univ. of Baghdad, College of Engineering.
- Al-Khazragy, S.M.; Hussein, H.K.; Shareef, N.K. (2005). Efficacy of *Spirogyra spp.* in adsorption of Cadmium, Cobalt, Copper, Iron, Lead, Mercury, Nickel, and Zinc Ions from aqueous solution. *J. the Univ. of Kerbala*, 3(11), 1-15.
- Almasi, A.; Omid, M.; Khodadadian, M.; Khamutian, R.; Gholivand, M.B. (2012). Lead(II) and Cadmium(II) removal from aqueous solution using processed walnut shell: kinetic and equilibrium study. *Toxicol. Environ. Chem.* 94,660-671.

- Al-Mayaly, I. K. (2009). Removal of Nickel ions by *Scenedesmus quadricauda* from contaminated water under laboratory conditions. *Iraqi J. Sci.*, **50**(4), 458-461.
- Almukhtar, R.; Ageena, S.; Nagham, A. (2012). Water recycling / reuse in factories case study soft drink factory. *Eng. and Tech. J.* **30**(1), 1-14.
- Al-Qahtani, K.M. (2012). Biosorption of binary mixtures of heavy metals by medicago sativa. *World Appl. Sci. J.*, **16** (3), 465-473.
- Babarinde, N.A.A. (2011). Kinetic, equilibrium and thermodynamic of the biosorption of Pb(II), Cd(II) and Cr(III) by neem leaf. *J. Innovative Res. Eng. Sci.*, **2**, 291-306.
- Bayo, J. (2012). Kinetic studies for Cd(II) biosorption from treated urban effluents by native grapefruit biomass (*Citrus paradisi L.*): The competitive effect of Pb(II), Cu(II) and Ni(II). *Chem., Engineering J.*, **191**, 278-287.
- Bulgariu, D.; Bulgariu, L. (2012). Equilibrium and kinetics studies of heavy metal ions biosorption on green algae waste biomass. *Bioresour. Technol.*, **103**, 489-493.
- Chakravarty, P.; Sarma, N.S.; Sarma, H. (2010). Biosorption of cadmium(II) from aqueous solution using heartwood powder of *Areca catechu*. *Chem. Eng. J.*, **162**, 949-955.
- Cobbett, C.S. (2000). Phytochelatins and their role in Heavy Metal Detoxification. *Plant Physiology*, **123**, 825-832.
- Dubey, S. k.; Dubey, J.; Mehra S.; Tiwari, P.; Bishwas A. J. (2011). Potential use of cyanobacterial species in bioremediation of industrial effluents. *African J. Biotechnology*, **10**(7), 1125-1132.
- Dubinina, M.M.; Zaverina, E.D.; Radushkevich, L.V. (1947). Sorption and structure of active carbons. I. Adsorption of organic vapors. *Zh. Fiz. Khim.*, **21**, 1351-1362.
- Farhan, A.M.; Al-Dujaili, A.H.; Awwad, A.M. (2013). Equilibrium and kinetic studies of cadmium(II) and lead(II) ions biosorption onto *Ficus carica* leaves. *Intern. J. Industrial Chem.*, **4**(24), 1-8.
- Fathi, A.A.; Azooz, M.M.; Al-Fredan, M.A. (2012). Abolishing toxicity of copper by some environmental factors using green alga *Chlorella vulgaris*. *Am. J. Environ. Sci.*, **8**, 633-641.
- Freundlich, H.M.F. (1906). Over the adsorption in solution. *J. Phys. Chem.*, **57**, 385-471.
- Gupta, V. K.; Rastogi, A. (2008). Biosorption of Lead(II) from aqueous solutions by non-living algal biomass *Oedogonium sp.* and *Nostoc sp.*-A comparative study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. **64**, 170-178.
- Iqbal, M.; Saeed, A.; Zafar, S.I. (2009). FTIR spectrophotometry, kinetic and adsorption isotherms modeling, ion exchange and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd²⁺ and Pb²⁺ removal by mango peel waste. *J. Hazard Mater* **164**, 161-171.
- Kamsonlian, S.; Suresh, S.; Majumder, C.; Chand, S. (2011). Characterization of Banana and Orange Peels: Biosorption Mechanism. *Intern. J. Sci. Technol. and Manag.* **2** (4), 1-7.
- Kassim, T.I.; Al-Rikabee, S.A.W.; Al-Rubaiee, G.H. (2006). Ability of Cyanophyceae species (*Oscillatoria pseudogeminata* and *Spirulina major*) in reduction of some pollutants from wastewater treatment plant, South Baghdad. Euro-Arab Environment Conference and Exhibition 2006, 612-621.
- Kelly-Vargas, K.; Cerro-Lopez, M.; Reyna-Tellez, S.; Bandala, E.R.; Sanchez Salas, J.L. (2012). Biosorption of heavy metals in polluted water using different waste fruit cortex. *Phys. Chem. Earth*. **39**, 26-39.
- Kumar, A.; Bisht, B.S.; Joshi, V.D.; Dhewa, T. (2011). Review on Bioremediation of Polluted Environment: A management Tool. *Intern. J. Environ. Sci.*, **1**(6).
- Kumar, P.S.; Ramalingam, S.; Senthamarai, C.; Niranjanaa, M.; Vijayalakshmi, P.; Sivanesan, S. (2010). Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*, **261**, 52-60.

- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gasses on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.* **40**, 1361–1368.
- Montazer-Rahmati, M.M.; Rabbani, P.; Abdolali, A.; Keshtkar, A.R. (2011). Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium lead, and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae. *J. Hazard. Mater.* **185**,401-407.
- Naja, G.; Volesky, B. (2006). Behavior of mass transfer zone in a biosorption column. *Environ. Sci. Technol.* **40**(12), 3996-4003.
- Pandey, S.N.; Trivedi, P.S. (1983). Tikret University Textbook of botany. Printed by typographers at Rashtravani printers (India) 509 p.
- Pereira, S.; Micheletti, E.; Zille, A.; Santos, A.; Moradas-Ferreira, P.; Tamagnin, P.; De Philippis, R. (2011). Using extracellular polymeric substances (EPS)-producing cyanobacteria for the bioremediation of heavy metals: do cations compete for the EPS functional groups and also accumulate inside the cell. *Microbiology.* **157**, 451–458.
- Qadeer, R. (2005). Adsorption of ruthenium ions in activated charcoal: influence of temperature on the kinetics of the adsorption process. *J. Zhejiang University Science.* **5**,353-356.
- Rathinam, A.; Maharshi, B.; Janardhanan, S.K.; Jonnalagadda, R.R.; Nair, B.U. (2010). Biosorption of cadmium metal ion from simulated wastewaters using *Hypnea valentiae* biomass: A kinetic and thermodynamic study. *Biores. Technol.*, **101**, 1466–1470.
- Reddy, D.H.K.; Harinath, Y.; Seshaiyah, K.; Reddy, A.V.R. (2010). Biosorption of Pb(II) from aqueous solutions using chemically modified *Moringa oleifera* tree leaves. *Chem. Eng. J.* **162**,626–634.
- Sekabira, K., Oryem, O. H.; Basamba, T.A.; Mutumba, G.; Kakudidi, E. (2011). Application of algae in biomonitoring and phytoextraction of heavy metals contamination in urban stream water. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* **8**(1), 115-128.
- Shartooh, S. M.; Kasim, S.A.; Obaid, R.H.; Hadi, A.A.; Abdulmajeed, A.A. (2014). Lettuce leaves as biosorbent material to remove heavy metal ions from industrial wastewater. *J. Baghdad for Sci.* **11**(3), 1164-1170.
- Sulaymon, A.H.; Mohammed, A.A.; Al-Musawi, T.J. (2013). Multicomponent Biosorption of Heavy Metals Using Fluidized Bed of Algal Biomass. *J. Engineering*, **4**(19), 469- 484.
- Sulaymon, A.H.; Ebrahim, S.E.; Abdullah, S.M.; Al-Musawi, T. (2010). Removal of Lead, Cadmium, and Mercury Ions Using Biosorption. *Desalination and Water Treatment* **24**,344-352.
- Tarbaoui, M.; Oumam, M.; Benzina, M.; Bennamara, A.; Abourriche, A. (2017). Development of a new biosorbent based on the extract residue of marine alga *Sargassum vulgare*: application in biosorption of heavy metals. *New Springer J.: Euro-Mediterranean J. for Environmental Integration View Project.* **I** (4),1-13
- Temkin, M. (1934). Die gas adsorption under nernstscheswärmesatz. *Acta. Physicochem. URSS*, **1**, 36-52.
- Wang, D.; McLaughlin, E.; Pfeffer, R.; Lin, Y.S. (2011). Aqueous phase adsorption of toluene in a packed and fluidized bed of hydrophobic aerogels. *Chemical Engineering.* **168**, 1201-1208.
- Wang, J.; Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnol. Advances*, **27**, 195-226.
- Yin, P.; Wang, Z.; Qu, R.; Liu, X.; Zhang, J.; Xu, Q. (2012). Biosorption of heavy metal ions onto agricultural residues buckwheat hulls functionalized with 1-Hydroxyethylidenediphosphonic Acid. *J. Agric. Food Chem.*, **60**,11664-11674.
- Zeneli, V.; Kashta, L. (2016). Some Charophyta (Charales) from Coastal Temporary Ponds in Velipoja Area (North Albania). *J. Environ. Sci., and Engineering B.*, **5**, 69-77.
-

Identifying The Absorbtion Range of *Chara sp.* Algae for Different Concentrations of Cadmium

Abdul Sattar J. Z. Al- Hayani

*Department of Environmental Technology/ College of Environmental Sciences and Technology /
University of Mosul*

Abdelmoneim M. A. Kannah

Department of Biology / College of Science / University of Mosul

Hiba K. Saeed

Department of Biophysics Science / College of Science / University of Mosul

ABSTRACT

The adsorption of the cadmium element ion was used by the *Chara sp.*, where it was dried and the effective groups of algae responsible for adsorption using infrared (FTIR) were COOH, (C=O) and aliphatic nexus (C-H), in addition to the presence of groups with a negative charge such as (OH), (P = O), (CO₃), (CH₂), (Cl) and (Br) on the surface of the algae, and taking them at a weight of 2 g and treated with a series of different concentrations (0,5,10,20,40,100) mg.L⁻¹ of Cadmium ion where incubation coefficients at (298°) Kelvin,

After the incubation period, the stabilizers were extracted and Cadmium was quantified with mathematical description according to the equations of the single-surface (Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin and Polani) respectively for Cadmium, It was found that the values of the coefficient of determination were effective for all equations, which gives a clear indication of the possibility of using any of these six equations. However, the two-sided Langmuir equation is the most efficient in the mathematical description of adsorption. Moreover, this equation showed a very large correlation between the actual adsorption values and the calculated values of this equation because they have the lowest standard error (SE) (0.0001) and the highest coefficient of determination (R²) (1.00), which gains the advantage in the mathematical description on the rest of the equations. The maximum adsorption capacity (X_m) on the first and second surfaces (1.28) and (169.49) mg. Kg⁻¹ respectively, while the binding capacity (K) on the first and second surfaces (186.62) and (29.50) L.mg⁻¹ respectively.

Keywords: Bioadsorption, Cadmium, *Chara sp.*, FTIR