مجلة ساحل المعرفة للعلوم الإنسانية والتطبيقية
Sahel Almarifah Journal of Humanities and Applied Sciences
تصدر عن الاكاديمية الليبية فرع الساحل الغربي
المجلد الثاني–عدد خاص-S1
الصفحات (E864 – E855)

ازالة عنصر الكادميوم من الماء باستخدام ممازات رخيصة الثمن

وفية حسن الجديدي[1]، مصطفى عمر الشراد[2]
[1]قسم الهندسة البيئية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، صبراتة – ليبيا
[2]قسم: الهندسة النفطية، الأكاديمية الليبية للدراسات العليا – فرع الساحل الغربي، العجيلات، ليبيا

Removing Cadmium from Water Using Economically Inexpensive Adsorbents

[1]Wafia Hassan Al-Jadidi, Mustafa Omar Sharrad[2]
[1]Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Sabratha, University of Sabratha, Sabratha – Libya
[2]Department of Petroleum Engineering, Libyan Academy for Postgraduate Studies – Western Coast Branch, , Al-Ajailat,, Libya
Email: mahho145@gmail.com

الملخص

تهتم الدراسات الحديثة باستخدام مواد غير مكلفة اقتصاديا لإزالة الملوثات وخاصةً المعادن الثقيلة من المياه حيث ان الاخيرة تسبب امراض خطيرة ويعتبر الكادميوم أحدها، ونظرا لخطورته على صحة الانسان والحيوان وعلى النبات ايضا؛ لذلك فقد تمت العديد من الدراسات لإزالته من الماء وبطرق مختلفة. في هذه الدراسة تم استخدام مادة اكسيد هيدروكسيد الحديد FeOOH لتقدير كفاءتها لإزالة الكادميوم من المياه الملوثة به وتم دراسة العوامل المختلفة التي تؤثر علي إدمصاص الكادميوم علي سطح FeOOH مثل الرقم الهيدروجيني وجرعة المادة المازة وزمن الاتزان، حيت اظهرت النتائج ان الرقم الهيدروجيني pH للمحلول المائي يؤثر علي ازالة الكادميوم حيث تم تحقيق كفاءة ازالة عالية عند (pH =8) وكذلك تم دراسة تأثير جرعة المادة المازة FeOOH والتي اثبتت التجارب ان الكمية الأكثر كفاءة هي(5g /l) كما تم تحديد زمن الاتزان المناسب لعملية إدمصاص مُثّلى وجد أنه 4 ساعات.

الكلمات المفتاحية: ممازات رخيصة الثمن، الكادميوم، اكسيد هيدروكسيد الحديد، المعادن الثقيلة

ABSTRACT

Recent studies have focused on developing economically inexpensive materials for the removal of pollutants, particularly toxic heavy metals, from wastewater. Cadmium (Cd) is one such hazardous heavy metal, posing significant health risks to humans, animals, and plants. Consequently, numerous methods have been investigated for its effective removal from aqueous solutions. This study evaluates the efficiency of iron oxyhydroxide (FeOOH) as a low-cost adsorbent for removing cadmium from contaminated water. Several critical factors influencing the adsorption of cadmium onto the FeOOH surface were systematically examined, including solution pH, adsorbent dosage, and adsorption equilibrium time. The results demonstrated that the aqueous solution's pH significantly impacts removal efficiency, with the highest cadmium uptake observed at an optimal pH of 8. The ideal adsorbent dose was determined to be 5 g/L, and the system reached adsorption equilibrium within 4 hours. These

findings highlight the potential of FeOOH as an effective material for the remediation of cadmium-contaminated water.

Keywords: Economically Inexpensive Adsorbents, Cadmium, iron oxyhydroxide, heavy metals.

المقدمة

يعتبر الماء اهم مركب كيميائي على سطح الارض ويمتاز بخواص لا مثيل لها بين المواد وهذه الخواص هي التي جعلته صالحا للعديد من الاستعمالات الحيوية والطبية والصناعية. فالماء هو اساس الحياة واساس التقدم العمراني لذا فانه يصبح مصدر للكثير من الامراض نتيجة لتلوثه من مختلف مصادر التلوث الطبيعي والتلوث الصناعي.

يعتبر التلوث الصناعي بسبب التوسع الحضري والتطور الصناعي من اخطر انواع التلوث واكثرها انتشاراً فقد ادى التلوث الصناعي الي الحاق الضرر بالمياه والتربة والهواء و تعد مياه الصرف الصناعي من أهم مصادر التلوث للموارد المائية وللبيئة بصفة عامة وذلك لاحتوائها علي كميات كبيرة من الملوثات التي تتضمن المعادن الثقيلة، والعناصر النادرة، والمركبات العضوية والغير عضوية والحيوية الناتجة عن العديد من الصناعات المختلفة، اضافه الى الأنشطة الاقتصادية الحديثة وما تتطلبه من عمليات نقل وتخزين المواد الكيميائية المستخدمة في هذه الأنشطة وخلال انتاج وتخزين ونقل هذه المواد يمكن ان تجد طريقها الى المياه الجوفية من خلال التسرب او الانسكاب او التعامل غير الصحيح معها (اسلام ،2000) ومن الملاحظ ان بعض المنشاءات الصناعية والخدمية لا ترتبط بشبكات الصرف الصحي وتلقي بمخلفاتها مباشرة الى الارض والمسطحات المائية ومن بين هذه الصناعات : صناعة البتروكيمياويات ،صناعة الأسمدة الكيميائية ، ومحطات تكرير البترول ،وصناعة الورق ، والمطاط ، وصناعة النسيج ، ودباغه الجلود ، وصناعات الدوائية وغيرها من الصناعات التي تحتوي مخلفاتها على العديد من الملوثات والتي من اهمها مخلفات العناصر الثقيلة مثل النحاس ،والحديد ،والكروم ،والكادميوم ،والرصاص وغيرها (عبد الله إبراهيم ،1999) . ويُعتبر الكادميوم من أكثر هذه المعادن خطورة بسبب سُميّته العالية وقابليته للتراكم الحيوي في السلسلة الغذائية، مما يؤدي إلى مشاكل صحية خطيرة مثل الفشل الكلوي، هشاشة العظام، والسرطان (Li et al., 2023). إضافة إلى ذلك، تواجده في مياه الصرف الصناعي يعرّض الموارد المائية للتهديد ويزيد من تكاليف المعالجة (Zhang et al., 2022).

وعلى الرغم من وجود عدد من الدراسات حول إزالة الكادميوم من المياه باستخدام مواد مازّة مختلفة، إلا أنّ هناك فجوة بحثية تتمثل في محدودية الدراسات التي تختبر كفاءة FeOOH (أكسيد هيدروكسيد الحديد) كخيار اقتصادي وفعّال لإزالة الكادميوم. كذلك قلة الأبحاث التي تقيّم العوامل المؤثرة مثل الرقم الهيدروجيني، زمن الاتزان، وجرعة المادة المازّة في ظروف مشابهة للبيئة المحلية (ليبيا).

اظهرت بعض الدراسات ان التلوث بالعناصر الثقيلة في بعض ابار المياه الجوفية ناتج عن وجودها بالقرب من احدى المصانع ويعتبر نظام شبكات الصرف هو المصدر الاساسي لدخول هذه الملوثات، وما يصاحب هذه الملوثات من تغيير في الخواص الطبيعية والكيميائية للمياه فقد اجرى الباحث Miku W. (1996) دراسة لتحديد جودة المياه الجوفية والمياه المحصورة في مساميات حبيبات التربة في العديد من المزارع التي تقع بالقرب من المصانع الخاصة بالصناعات البتروكيميائية في بولندا حيث تم تحديد كل العناصر الثقيلة والكبريت والنيتروجين ومدى تأثيرها على التربة والمياه الجوفية وقد أظهرت نتائج التحليل الكيميائي للتربة والمياه الجوفية وجود ارتفاع في نسبة المعادن الثقيلة بالإضافة الى الكبريتات والنيتروجين في كل من التربة والمياه الجوفية ،وان كل من الكبريتات والحديد والرصاص والكادميوم كانت بكميات اضافية متراكمة في المياه الجوفية في كل ابار منطقة الدراسة بينما كان تركيزات الكروم والنيكل والكوبالت ضئيلة . (Miku W. 1996)

واستهدفت دراسة عبد الرزاق مصباح. (1999) معرفة مدى تأثير بعض الملوثات على مياه بعض الابار بالقرب من احدى المصانع في منطقة تاجوراء، وتقييم جودة المياه بها من الناحية الكيميائية والجرثومية، وقياس

تراكيز بعض العناصر الثقيلة مثل: الكروم، والكادميوم، والرصاص، والحديد، والنحاس، والمنجنيز، والزنك، والنيكل. (عبد الرزاق مصباح. 1999).

وتعرف المعادن الثقيلة بانها تلك التي تتراوح كثافتها من 5 جرام /سم^3 او أكثر وتتمتع العناصر الثقيلة باختلافات متباينة في خصائصها الكيميائية لذا فقد وجدت مدخلا واسع في العديد من الصناعات المختلفة الامر الذي ادى الي ظهورها بتركيزات أكثر مما تتحمله الانظمة البيئية ونذكر على سبيل المثال مصفاة الزاوية حيث تشير التحليل للمياه الصرف قبل معالجتها بوجود نسب متفاوتة من الكادميوم والزنك والرصاص اعلى من المستوى المسموح به (المسماري، 2001). ومن هنا كان لزام على الباحثين دراسة طرائق علاج هذه المشاكل البيئية السيئة والضارة بالبيئة وصحة الإنسان وإيجاد طرق لإزالة هذه الملوثات من مياه الصرف الصناعي حتى لا تتسرب وتصل إلى أجسامنا عبر السلسلة الغذائية ثم تؤدي إلى ما لا يُحمد عقباه وتسبب للإنسان الأمراض. فقد تمت دراسة العديد من التقنيات لإزالة المعادن الثقيلة والعناصر النادرة. حيث أظهرت العديد من الدراسات في السنوات الأخيرة أن استخدام المواد النانوية والمازّات منخفضة التكلفة أصبح توجهاً رئيسياً في معالجة الملوثات المائية. فقد استخدم Luo et al. (2021) جسيمات نانوية مركبة من أكاسيد الحديد وأثبتت كفاءة عالية في إزالة الكادميوم من مياه الصرف بنسبة تجاوزت 95% وأظهر Zhang et al. (2022) أنّ تعديل المواد الكربونية (مثل Biochar) يحسن بشكل ملحوظ قدرة الامتزاز ويجعلها خياراً منافساً اقتصادياً. وقد درس Boparai وآخرون (2010) امتزاز أيونات الكادميوم على .Nano zero valent iron particles كما درسوا الجوانب الديناميكية والحركية في هذه العملية، وأجروا الدراسات في نطاق تركيز 25 – 480 ملغم / لتر، ووجدوا أن الامتزاز في هذه الحالة يزيد مع زيادة درجة الحرارة كما هو الحال مع التفاعلات الماصة للحرارة.(Boparai .2010) تُظهر هذه الدراسات أنّ البحث عن مواد اقتصادية وفعّالة لإزالة الكادميوم ما يزال قائماً، وأنّ FeOOH يُمكن أن يُشكل حلاً عملياً في البيئات الصناعية والمائية الملوثة.

1. الدراسة العملية

1.1 الأجهزة والأدوات المستخدمة

جهاز امتصاص الطيف الذري (AA-7000) (Atomic absorption spectrophotometer) تم استخدامه لقياس تركيز الكادميوم قبل وبعد الامتزاز، وجهاز قياس الأس الهيدروجيني pH-meter Instrument، وجهاز رج من نوع Shaking inductor، وميزان حساس، كؤوس، ودوارق قياسية حجمية، وأقماع ترشيح، وورق ترشيح.

1.2 المواد الكيميائية المستعملة

تم تحضير جميع المحاليل الكيميائية المستخدمة في هذه الدراسة باستخدام الماء المقطر والمواد الكيميائية التحليلية، اكسيد هيدروكسيد الحديد (FeOOH) كمادة مازة لعنصر الكادميوم للتخلص منها وإزالته من الماء، أُستخدم حمض النيتريك (HNO_3) لتنظيف الأدوات المستخدمة في التجارب لتفادي تلوثها بالكادميوم، حمض الهيدروكلوريك (HCl) تم استخدامه مع هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) لتعديل والتحكم بالاس الهيدروجيني (pH) للمحاليل، كما تم تحضير محلول مخزون من الكادميوم بتركيز (100 mg/L) وذلك بإذابة (0.185g)من كبريتات الكادميوم ($CdSO_4$) في 1 لتر من الماء وتم الاحتفاظ به واستخدامه في جميع التجارب.

1.3 تجارب الامتزاز الدفعي (*Batch Adsorption Experiments*)

تم إجراء جميع تجارب الامتزاز في نمط الدُفعات (Batch mode). بالنسبة للدراسة التجريبية الحركية (Kinetic experimental study)تمت بإضافة كميات محددة من المحلول المخزن من الكادميوم cd إلى 1000 مل من الماء المقطر من أجل تكوين تركيزات أولية قدرها 0.05 و0.5 و2.0 مجم / لتر على التوالي. بعد تعديل المحلول إلى الأس الهيدروجيني 5.0 ± 0.05 بإضافة 0.1 مولار من حمض الهيدروكلوريك و / أو محلول هيدروكسيد الصوديوم، تمت إضافة 1 جم FeOOH للحصول على تعليق 5 جم / لتر.

تم خلط التعليق بواسطة جهاز رج من نوع Shaking inductor بسرعة خلط 225 دورة في الدقيقة، واثناء خلط المعلق تم سحب عينات بمقدار 5 مل لكل عينة من المعلق في فترات زمنية مختلفة 0.017، 0.083، 0.25، 0.5، 1 و24 ساعة، ومن ثم تم ترشيح العينات خلال ورق ترشيح Whatman بحجم 8µm تحليلها لتركيزات الكادميوم، أعيدت كل تجربة 3 مرات (Replicates) لضمان دقة النتائج.

تم تطبيق نموذج حركي من الدرجة الثانية (Pseudo-second order kinetic model) لملاءمة البيانات الحركية التي تم جمعها، يتم التعبير عن معادلة المعدل الحركي على النحو التالي:

$$\frac{dq_1}{dt} = k_2\left(q_{eq} - q_t\right)^2 \quad \text{..... (1)}$$

حيث:

k [g-FeOOH/(mg-cd. h)] تمثل ثابت معدل التفاعل لنموذج حركي من الدرجة الثانية (the pseudo-second-order rate constant) ، q_e كمية المادة الممتزة لكل وحدة وزن من المادة المازة (mg/g)، . وبتكامل المعادلة (1) نتحصل على العلاقة الخطية التالية:

$$\frac{1}{q_{eq}-q_t} = \frac{1}{q_{eq}} + kt \quad \text{..... (2)}$$

أو

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_{eq}}t + \frac{1}{V_0} \quad \text{..... (3)}$$

$$V_0 = kq_{eq}^2 \quad \text{..... (4)}$$

حيث: V_0 (mg-cd/(g-FeOOH h) تمثل معدل الامتصاص المبدئي للكادميوم، (q_{eq}) تمثل ميل الخط المستقيم الذي يمكن الحصول عليها من خلال رسم العلاقة البيانية بين (t/q_t) و (t) بينما k تمثل نقطة التقاطع.

1.3.1 معادلة لانجماير (*Langmuir Isotherm Model*)

تستخدم معادلة لانجماير لتحديد نوع الامتزاز الحادث، من خلال توضيح النتائج بياني، حيث ان الصيغة الخطية لمعادلة لانجماير

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad \text{..... (5)}$$

حيث:

q_e في هذه الدراسة تمثل كمية الكادميوم المُدّمص على FeOOH بـ (mg/g)، (C_e) التركيز عند الاتزان لمحلول المادة المُمّتزة (ppm)، (q_{max}) تمثل القيمة القصوى لكمية الكادميوم المُدّمص على سطح المادة المازة لكل وحدة وزن (mg/g)، و (b) عبارة عن ثابت الاتزان لعملية الامتصاص المرتبط بمواقع الربط على سطح المادة المازة (FeOOH) مقاس بـ (L/mg).

كما يمكن تقييم إدمصاص الكادميوم على الـ (FeOOH) من خلال ثابت الإدمصاص أو معامل الاتزان (R_L) (بدون وحدات) والمتمثل في العلاقة التالية:

$$R_L = \frac{1}{1+bC_i} \quad \text{..... (6)}$$

حيث أن C_i تمثل التركيز المبدئي للكادميوم، ويستخدم (R_L) للتنبؤ بفعالية الـ (FeOOH) لامتزاز الكادميوم حيث كلما اقتربت قيمته من الواحد الصحيح يكون الـ (FeOOH) مفضل كمادة مازة للكادميوم.

1.3.2 معادلة فرندلش (*Freundlich Isotherm Model*)

معادلة فرندلش من المعادلات التي تطبق على امتزاز العناصر المعدنية على الممازات ذات الأسطح الغير متجانسة ذات طاقات الامتزاز المتباينة، والمعادلة (7) تبين نموذج فرندلش (Freundlich model) وهي:

$$Qe = kf * Ce^{1\backslash n} \quad \text{..... (7)}$$

و الصورة الخطية لها وهي:

$$\log Qe = \log k_f + \frac{1}{n}\log Ce \quad \text{..... (8)}$$

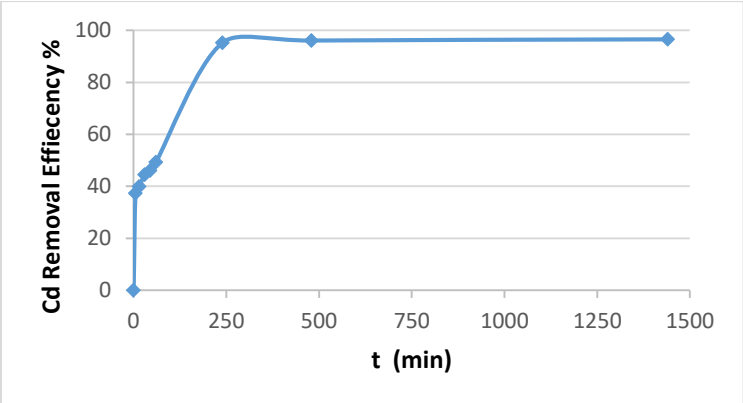
حيث n و k_f ثوابت فرندلش، وهما مقياس لشدة الامتزاز، وسعة الامتزاز على التوالي، وعند رسم العلاقة بين log(Qe) مقابل log(Ce) نحصل على خط مستقيم له ميل يساوي 1/n والجزء المقطوع من محور الصادات مساويا log(k_f)، ومنها تحسب قيم k_f & n بالإضافة إلى قيمة معامل الارتباط (R^2).

1.4 تحليل العناصر الثقيلة

جهاز امتصاص الطيف الذري Atomic absorption spectrophotometer (AA-7000) تم استخدامه لقياس تركيز الكادميوم قبل وبعد الامتزاز حيث كانت النتائج المُتحصل عليها بوحدات ppm باستخدام المنحنى القياسي لعنصر الكادميوم الذي تم الحصول عليه من خلال العلاقة بين تركيز المحلول القياسي المحضر من قبل المهندس المشغل للجهاز مقابل الامتصاص لهذه المادة. النتائج والمناقشة

1.5 تحديد زمن الاتزان *(Equilibrium Time)*

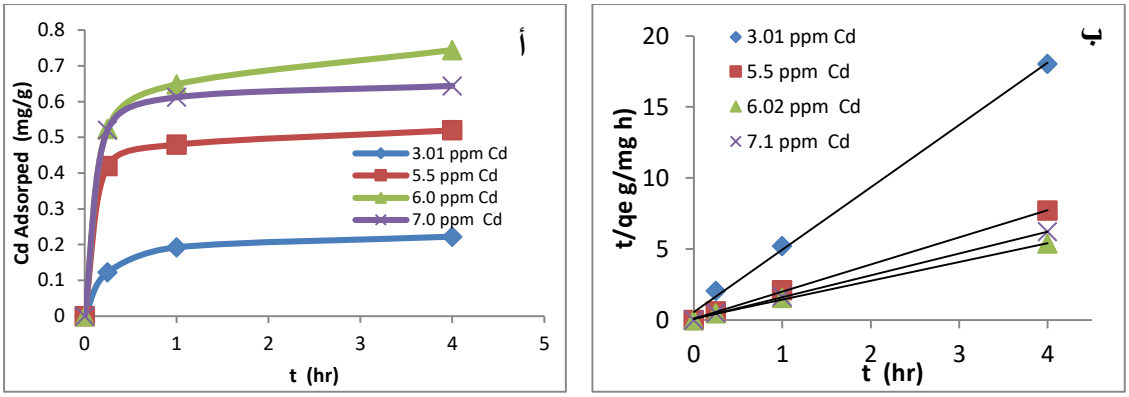
الشكل رقم (1) يبين العلاقة بين زمن الامتزاز ونسبة إزالة عنصر الكادميوم من المياه الملوثة، حيث أظهرت النتائج ان زمن الاتزان (Equilibrium Time) هو 4 ساعات حيث تجاوزت فيه نسبة الإزالة 95% واستمرت شبه ثابتة حتى الـ 24 ساعة إذ لم تتجاوز نسبة الإزالة خلال العشرين ساعة التالية الـ 1.6% زيادة على ما تم الحصول عليه في الأربع ساعات الأولى وهو ما يبين أن زمن الأربع ساعات هو زمن الاتزان.



شكل 1 يوضح نسب ازالة الكادميوم على سطح 5mg من feOOH وذلك عند درجة حرارة 25° و في PH =5 و زمن امتزاز24 ساعة.

1.6 حركية الامتزاز (*Adsorption kinetics*)

كما يوضح الشكل (1) حركية إدمصاص عنصر الكادميوم على FeOOH، حيث أظهرت النتائج أن حوالي 50 ٪ من إجمالي الكادميوم تم إدمصاصه بسرعة على FeOOH خلال ساعة واحدة، متبوعًا بعملية بطيئة نسبيًا. أكثر من 95٪ من الامتزاز بعد 4 ساعات، مما يجعل من المعقول تحديد 4 ساعات كفترة توازن كانت كفاءة الإزالة عند التوازن أكبر من 96 ٪.



الشكل 2. حركيات الامتزاز لـ Cd على FeOOH في معلقات 5 جم / لتر عند الأس الهيدروجيني 5.0 ± 0.1 مع أربعة تركيزات أولية من Cd :(أ) البيانات التجريبية؛ و (ب) تركيبات نموذجية من الدرجة الثانية الزائفة.

علاوة على ذلك، تشير البيانات في الجدول (1) المشتقة من الشكل (2) إلى أنه نظرًا لأن جميع معاملات الانحدار (R^2) المشتقة أعلى من 0.997، فإن نموذج شبيه الدرجة الثانية (pseudo-second-order model) متوافق للغاية مع بيانات حركية الامتزاز (adsorption kinetics data) التي تم تجميعها.

الجدول 1 ثابت معدل الامتزاز من شبيه الدرجة الثانية (k) وسعة الامتزاز (qe) المشتقة عند تراكيز أولية مختلفة للكادميوم.

Initial (Cd) concentration (mg/L)	q_e (mg/g)	V_0 (mg/(g h))	K (g/(mg h))	R^2
3.0	0.228	0.562	34.26	0.997
5.5	0.525	0.091	40.02	0.999
6.0	0.756	0.112	15.58	0.999
7.1	0.649	0.059	39.96	0.999

يوضح الجدول (2) حركية إدمصاص عنصر الكادميوم على FeOOH عند درجات أسس هيدروجيني مختلف واظهرت نتائجه أن ثابت معدل الامتزاز من الدرجة الثانية (second-order adsorption rate constant) دالة في الأس الهيدروجيني (pH)، حيث ارتفع من 5.34 إلى 25.11 جم / (مجم / ساعة) مع زيادة pH من 5.0 إلى 8.0، كما تبين ايضاً أنه عندما زادت الـ pH فوق 8.0 بدء ثابت معدل الامتزاز في التناقص.

الجدول 2 ثابت معدل الامتزاز من شبيه الدرجة الثانية (k) وسعة الامتزاز (q_e) المشتقة عند درجات أس هيدروجيني (pH) مختلف

pH	q_e (mg/g)	V_0 (mg/(g h))	K (g/(mg h))	R^2
5	3.49	0.0154	5.34	0.9981
6	2.73	0.0103	13.01	0.9995
8	3.58	0.0031	25.11	1.00
9	4.100	0.0072	8.26	0.9995

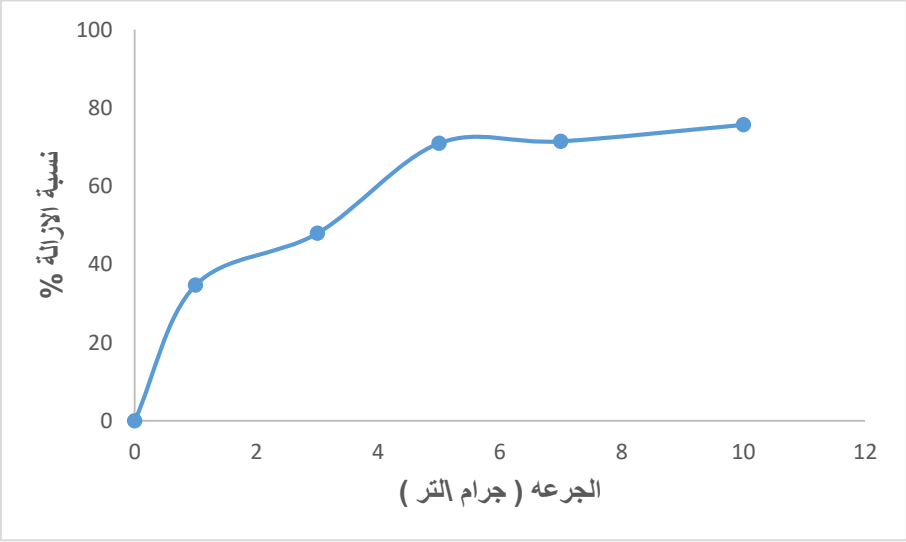
1.7 تأثير جرعة المادة المازة على نسبة إزالة الكادميوم.

لدراسة تأثير جرعة المادة المازة FeOOH على نسبة إزالة الكادميوم من المياه الملوثة تم تحضير محلول الكادميوم ذو تركيز مبدئي 4.88ppm وقمنا بإضافة مادة FeOOH بجرعات مختلفة على النحو الآتي: 0.1 جرام،0.3 جرام ،0.5 جرام ،0.7 جرام ،1جرام للحصول على جرعات (1، 3، 5، 7، 10) جرام\لتر على التوالي وضعت العينات في الجهاز الهزاز لمدة 4 ساعات وتم ترشيح العينات بورق ترشيح (Whatman .cat. no1001 185) وتم قياس نسبة الكادميوم بجهاز امتصاص الطيف الذري ومن ثم حساب نسبة ازالة الكادميوم.

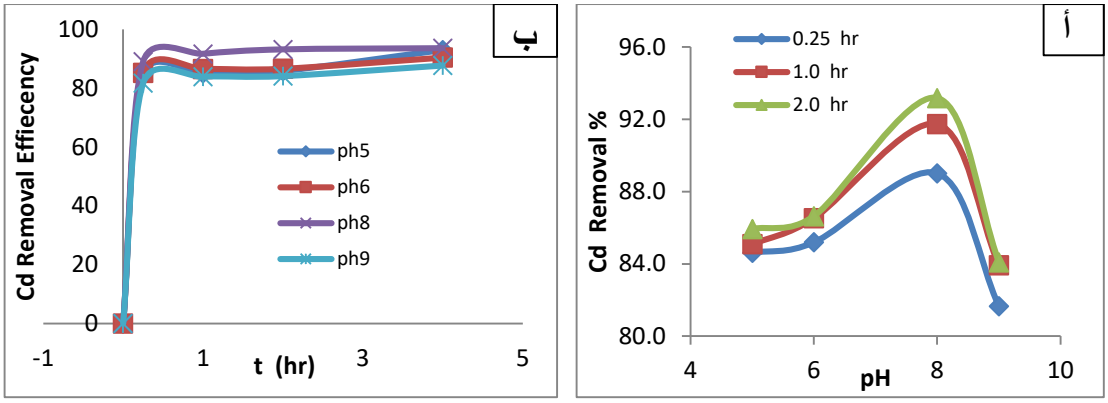
أظهرت النتائج المبينة في الشكل (3) أن نسبة إزالة الكادميوم تزداد بزيادة جرعة المادة المازة حيث كانت عند اضافة 1 جرام\لتر من مادة FeOOH الي محلول الكادميوم تم إدمصاص حوالي 34.7% من الكادميوم وأن حوالي 70٪ من الكادميوم تم إدمصاصه عند إضافة 5 جرام\لتر من FeOOH خلال زمن قدره 4 ساعات، اما عند اضافة 10g, 7g كانت نسبة الازالة 71%, 75% وهي زيادة طفيفة في نسبة إزالة الكادميوم مقارنة بقيمة زيادة الجرعة.

1.8 تأثير الرقم الهيدروجيني *(pH)*

يوضح الشكل (4) تأثير الرقم الهيدروجيني لمحلول الكادميوم على نسبة الازالة، فنلاحظ من خلال الشكل رقم (4 – أ & ب) أن نسبة إزالة الكادميوم على المادة المازة (FeOOH) تتأثر وبشكل ملحوظ مع تغيير قيمة الأس الهيدروجيني وكانت pH المثالية والتي تعطي أفضل نسبة إزالة هي pH = 8، حيث كانت أعلى نسبة للإزالة هي93.6%.



شكل 3 يوضح نسب ازالة عنصر الكادميوم على سطح جرعات مختلفة من مادة FeOOHوذلك عند درجة حرارة 25º وخلال زمن أمتزاز 4 ساعات

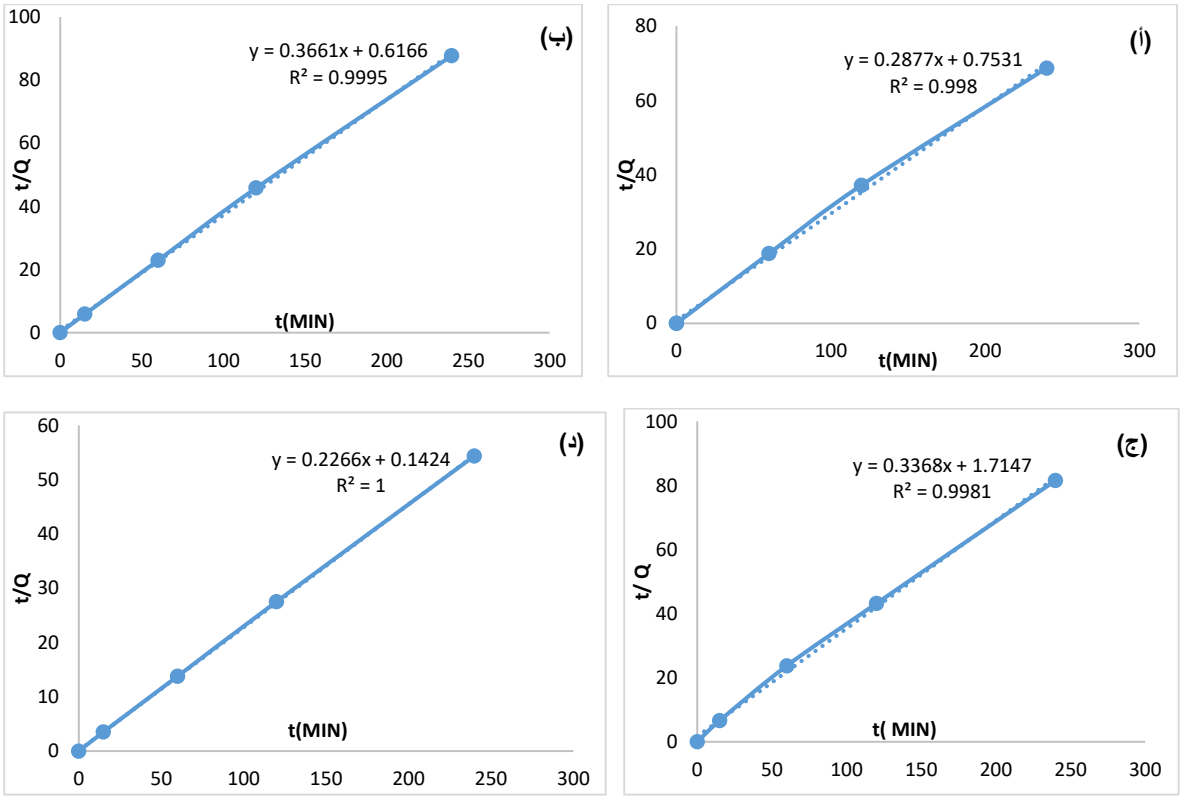


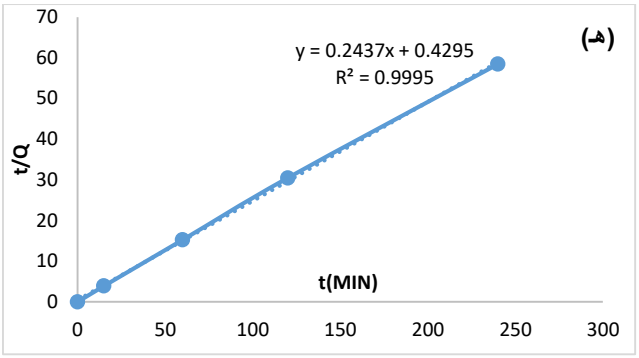
شكل 4 تاثير PHعلى امتزاز الكادميوم على سطح 5mgمن مادة FeOOH وذلك عند درجة حرارة 25° و أزمنة امتزاز مختلفة

1.9 الامتزاز عند ثبوت درجة الحرارة *(Isothermal Adsorption)*

1.9.1 معادلة لانجماير (Langmuir Isothermal Model)

تم تطبيق معادلة لانجماير (Langmuir Model) على النتائج المُتحصل عليها ووجد أنها قابلة للتطبيق على هذا التفاعل كما هو مبين في الجدول (2) أعلاه وكما تشير إليه النتائج في الشكل 4 (أ، ب، ج، د، هـ)، حيث تراوح معامل ارتباط (R^2) ما بين (0.992 – 1) وهو معامل ارتباط عالٍ وهذا يدل على أن معادلة لانجماير (Langmuir Isothermal Model) يمكن أن تصف نوع الامتزاز الذي حصل للكادميوم على سطحFeOOH .





شكل 4 تطبيق معادلة لانجمايزعلى امتزاز الكادميوم على سطح 5mg من مادة FeOOH وذلك (أ) عند pH=5 و(ب) عند pH=6، و(ج) عند pH=7 ، و (د) عند pH=8، و (هـ) عند PH=9 عند درجة حرارة 25º و زمن امتزاز 4 ساعات

الجدول (3) معامل الاتزان (R_L) من معادلة *لانجماير (Langmuir Isothermal Model)* لامتزاز الكادميوم على FeOOH.

C_i (ppm)	q_{max}	b (L/mg)	R_L
3	0.0438	-0.64563	1.4767
5.5	0.1972	-0.55256	1.3818
6	0.3215	-0.74622	1.5952
7	0.2331	-0.4022	1.2517

1.9.2 معادلة فرندلش (Freundlich Isotherm Model)

كما تم تطبيق معادلة فرندلش (*Freundlich Isotherm Model*) ومنها حسبت قيم شدة الامتزاز (1/ n)، وثابت فرندلش (k_{ef}) بالإضافة إلى قيمة معامل الارتباط (R^2) المبينة في الجدول رقم (4)، حيث كان معامل الارتباط (R_L) مرتفع وهذا يدل على أن الامتزاز يتبع معادلة فرندلش وهو امتزاز فيزيائي.

الجدول (4) معاملات معادلة فرندلش (*Freundlich Isotherm Model*) عند زمن الاتزان لامتزاز الكادميوم على FeOOH.

pH	1/n	n	Log(k_f)	k_f
5	0.1174	8.5179	0.5574	1.746
6	0.1339	7.4683	0.4587	1.582
7	0.2065	4.8426	0.5058	1.658
8	14.631	0.0683	9.5234	13676.030
9	5.6703	0.17642	3.9398	51.408

حيث (1/n) يشير إلى شدة الامتصاص، و(k_f).

2. الاستنتاجات Conclusions

تم اختيار مادة مازة تجارية، وهي الـ FeOOH، وتم تقييم الأدائية لها في إزالة الكادميوم من المحاليل المائية الملوثة، وأظهرت النتائج أن FeOOH يمكن أن يمتز بكفاءة وبسرعة الكادميوم من المحلول المائي. يمكن أن

يتلاءم نموذج شبيه الدرجة الثانية (A pseudo-second-order model) جيدًا مع البيانات الحركية التي تم الحصول عليها في ظل ظروف الاختبار المحددة. كما تبين أن الامتزاز يتبع معادلة فرندلش أيضاً مما يدل على انه امتزاز فيزيائي.

في نطاق الأس الهيدروجيني (pH) الواسع (pH 5-9)، أظهر FeOOH قدرة قوية على إزالة الكادميوم من المحلول المائي، كما وُجد أن درجة الحموضة (pH 8) مفضلة في عملية امتزاز الكادميوم على الـ FeOOH. نموذج Langmuir isotherm يُميز امتزاز الكادميوم على الـ FeOOH جيدًا.

3. المراجع

3.1 المراجع العربية

- اسلام احمد مدحت (2000). التلوث الكيمائي وكمياء التلوث، دار الفكر العربي، القاهرة، مصر.
- عبد الرزاق مصباح (1999). تقييم جودة المياه الجوفية بمنطقة تاجوراء. رسالة ماجستير (غير منشورة). جامعة المرقب ترهونة ليبيا.
- عبد الله إبراهيم محمد، (1999). مقدمة في علم السموم والتلوث البيئي، منشورات جامعة قاريونس، ليبيا.
- المسماري محمد (2001)، الكيمياء البيئية، منشورات جامعة سبها ، ليبيا

3.2 المراجع الاجنبية

- Boparai, H. K., Joseph, M., & O'Carroll, D. M. (2010). Kinetics and thermodynamics of cadmium ion removal by adsorption onto nano zero-valent iron particles. Journal of Hazardous Materials, 186(1), 458–465.
- Har Diljeet K. Boparai, Meera Joseph, Denis M. O'Carroll, "Kinetics and thermodynamics of cadmium ion removal by adsorption onto nano zerovalent iron particles" Journal of Hazardous Materials, vol.15, pp.1-8, 2010.
- Zhang, L., Wang, H., & Xu, J. (2022). Biochar-supported iron composites for cadmium removal from aqueous solutions: Adsorption behavior and mechanisms. Chemosphere, 307,135791. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135791