

إزالة أيونات الزنك من المحاليل المائية باستخدام الزيوليت الطبيعي السوري

الدكتورة سميرة سليمان*

تاريخ الإيداع 22 / 9 / 2015. قُبل للنشر في 19 / 5 / 2016

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة إمكانية استخدام الخامات الزيوليتية الطبيعية السورية في عملية إزالة أيونات الزنك من المحاليل المائية. استخدمت في هذا البحث عينتان: زيوليت خام طبيعي Z وزيوليت طبيعي بعد تعديله بكلوريد الصوديوم Z-Na. حددت نسبة إزالة Zn^{2+} بتابعة الزمن عند قيم مختلفة للتركيز الابتدائي لأيونات الزنك في المحلول المائي 50, 100, 200, 300, 400 mg/L كما تم تعيين زمن التوازن وبلغ حوالي 360min. كما درس تأثير درجة الحرارة على عملية الإزالة، وتبين أن العملية ماصة للحرارة إذ تزداد نسبة الإزالة بازدياد درجة الحرارة. تبين أن ازدياد قيمة PH الوسط تؤدي إلى ازدياد طفيف في قيمة الإزالة حتى قيمة PH~7 ومن ثم ازدياداً حاداً نتيجة ترسب هيدروكسيد الزنك. تمت معالجة البيانات التجريبية باستخدام علاقة لانغموير وتبين أن السعة التبادلية العظمى للعينة Z تبلغ 21.7mg/g بينما للعينة Z-Na تبلغ 28.5mg/g وأن هناك توافقاً جيداً مع الخطية وفق علاقة لانغموير. تبدي العينة Z-Na كفاءة عالية في إزالة أيونات الزنك من المحاليل المائية وبالتالي إمكانية استخدامها في عمليات التبادل الأيوني لهذه الأيونات ولأيونات العناصر الثقيلة الأخرى.

الكلمات المفتاحية: أيونات الزنك، تبادل أيوني، امتزاز، زيوليت طبيعي

* أستاذ مساعد - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - سورية

Removal of Zn⁺² ions from aqueous solutions Using natural Syrian zeolite

Dr. Samira Soleiman *

(Received 22 / 9 / 2015. Accepted 19 / 5 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this work the process of removal of zinc ions from aqueous solutions was studied using natural Syrian zeolite. Two samples were used: natural zeolite Z and modified zeolite with NaCl solution Z-Na.

The removal percentage of zinc ions vs. time was determined using differential initial concentrations of Zn⁺²: 50,100,200,300,400 mg/L. The contact time was determined and it was 360 min.

The removal of Zn⁺² ions as a function of temperature and pH have been studied. It was found the increasing of removal percentage by increasing temperature and increasing when pH increasing up to ~7, then the precipitation of zinc hydroxide accurse. The Langmuire adsorption isotherm equation used to calculate the maximum sorption capacity and it was 21.7 and 28.5 mg/g for Z and Z-Na respectively.

Results indicate a significant potential for the natural and modified zeolite as an adsorbent/ion-exchange materials for heavy metal removal.

Keywords: Zinc ions, ion-exchange, adsorption, natural zeolite.

* Associate professor, dep.of chemistry, faculty of sci. Tishreen university, Syria

مقدمة

يشكل وجود العناصر الثقيلة مثل الزنك، الرصاص، الزئبق... الخ خطراً على صحة الإنسان وعلى الوسط البيئي، ويأتي هذا الخطر من إمكانية انتقال هذه العناصر من الوسط البيئي وخاصة المياه إلى الكائنات الحية عبر السلسلة الغذائية، علماً أن عنصر الزنك يعد من العناصر الضرورية لبعض العمليات الحيوية لكن وجوده بتركيز عالي يشكل خطراً حقيقياً، وقد حددت منظمة الصحة العالمية (WHO) أن تركيز الزنك في مياه الشرب يجب أن لا يزيد عن 5 mg/L [2,1].

تكون العناصر الثقيلة مقاومة للتفكك البيولوجي وهي تتراكم على شكل معقدات عضوية معدنية في خلايا الكائنات الحية وبالتالي يزداد تركيزها مع الزمن ويؤدي ازدياد تركيز الزنك إلى مجموعة من المشاكل الصحية مثل تهيج الجلد، أمراض المعدة، الأمراض التنفسية وخلل في عمل الإنزيمات [3].

توجد العناصر الثقيلة عادة في المياه العادمة من مصادر مختلفة، ومن ثم تتسرب إلى التربة ومياه الشرب ومن هنا تأتي خطورتها، حيث أن أيونات الزنك تأتي من العديد من العمليات الصناعية مثل معامل صناعة الأكريليك والنايلون والسيلوفان وبعض صناعات المطاط وصناعة المبيدات والدهانات وبعض الصناعات الكيماوية والنفطية. لذلك اهتم العديد من الباحثين في البحث عن طرائق فعالة لإزالة أيونات العناصر الثقيلة من الأوساط المائية الناتجة عن مصادر مختلفة، ومن أكثر الطرائق المستخدمة في معالجة المياه لإزالة هذه العناصر: الترسيب الكيماوي، الاستخلاص بالمذيبات، التناضح الأسموزي العكسي و الطرائق الكهروكيماوية [4,5]. لكن هذه الطرائق لا تلاقي استخداماً واسعاً لأسباب عدة منها: ينتج عن معظم هذه الطرائق نفايات صلبة تحوي العناصر الثقيلة، وبالتالي تظهر مشكلة أخرى عند وجودها في البيئة لإمكانية تأثير مياه الأمطار وغسل هذه العناصر وإعادتها إلى التربة، كما أن العديد من هذه الطرائق تتطوي على بعض الصعوبات في طريقة إجرائها بالإضافة إلى كلفتها العالية، لذلك كانت طرائق الامتزاز والتبادل الأيوني من أكثر الطرائق استخداماً في مجال إزالة العناصر الثقيلة من الأوساط المائية وذلك لبساطتها وسهولة إجرائها وكلفتها المنخفضة وأدائها العالي، ومن هنا كان البحث عن مبادلات أيونية ذات كفاءة عالية، وقد استخدمت بعض المواد في هذا المجال منها الغضار الطبيعي ذات القدرة المنخفضة في التبادل الأيوني ولكن ذات كلفة منخفضة، واستخدمت بعض الأكاسيد والراتنجات الصناعية ذات الكفاءة العالية لكن كلفتها عالية، وكان للزبوليتات الطبيعية والصناعية الدور الأهم في عمليات التبادل الأيوني ذات الأداء العالي والكلفة المنخفضة وخاصة الطبيعية منها [3].

الزبوليتات هي سيليكات الألمنيوم البلورية ذات بنية مسامية منتظمة تنتج عن ارتباط رباعيات الوجوه SiO_4 و AlO_4 عن طريق الرؤوس بوساطة جسور أوكسجينية، وتمتلك البنية البنوية العامة لها شحنة سالبة ناتجة عن وجود رباعيات الألمنيوم وتعوض هذه الشحنة من خلال كاتيونات العناصر القلوية و القلوية الترابية مثل Ba, Ca, Mg, Na, K والتي تشكل كاتيونات التبادل في البنية الزبوليتية والتي يمكن مبادلتها مع كاتيونات أخرى في الوسط المائي. تستطيع الزبوليتات استبدال كاتيوناتها جزئياً أو كلياً دون تأثير ذلك على بنيتها الأساسية. بالإضافة إلى السعة التبادلية للزبوليتات فهي تتمتع بخواص امتزازية نتيجة وجود المراكز حمض-أساس في بنيتها [6,7].

تتمتع الزبوليتات نتيجة خواصها البنوية بإمكانية استخدامها ضمن مجال واسع من التطبيقات وامتلاكها لخواص المنخلة الجزئية يجعلها ذات أهمية كبيرة في استخدامها لفصل المركبات المختلفة مثل الأمونيا والنويات المشعة وأيونات العناصر الثقيلة من المياه العادمة، كما أنها تستخدم كمزازات للصبغات المختلفة وبعض الغازات وفي مجال

الأسمدة الزراعية من أجل التحكم بعمليات تزويد النبات بالكميات اللازمة من العناصر الغذائية، ما يعطي الزيوليتات أفضلية على بعض المبادلات الأيونية الأخرى هو ثباتها الحراري ومقاومتها الميكانيكية وهي مواد غير ضارة بالبيئة [3]

تعتمد القدرة التبادلية للزيوليتات على عوامل عدة، مثل البنية وأبعاد المسام داخل هذه البنية التي تحدد إمكانية انتشار الأيونات من المحلول للوصول إلى مواقع التبادل في البنية الزيوليتية، كما أن المعالجة الأولية للزيوليتات الطبيعية مثل الغسيل بالماء أو المحاليل الحمضية والذي يؤدي إلى فتح القنوات والمسامات وبالتالي تحسين مواصفاتها، كما أن هناك عاملاً هاماً وهو تحويل الأيونات الموجودة داخل البنية الزيوليتية إلى نوع واحد من الأيونات أو ما يعرف بـ "Homoion" وتتم هذه العملية بمعالجة الزيوليت الطبيعي بمحلول كلوريد الصوديوم لمدة كافية لتحويل كافة الأيونات البنيوية إلى أيون الصوديوم، وهذا ما يدعى بالزيوليت المعدل والذي يؤدي إلى زيادة القدرة التبادلية [8]. تتأثر عملية التبادل الأيوني بشكل مباشر بالشروط التجريبية مثل التركيز الابتدائي للأيونات في المحلول ونصف قطر الأيون المميه ودرجة الحرارة وقيمة PH الوسط. الخ [2].

أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية العمل من خلال إمكانية إزالة أيونات العناصر الثقيلة من المحاليل المائية وما لذلك من تأثير إيجابي على البيئة المحيطة وصحة الإنسان، حيث تشكل هذه الأيونات خطراً حقيقياً على الوسط البيئي، إضافة إلى استخدام مبادلات أيونية طبيعية متوفرة في سورية وذات كلفة اقتصادية منخفضة. يهدف هذا العمل إلى تعيين السعة التبادلية للخامات الزيوليتية الطبيعية السورية ودراسة الشروط المؤثرة على عملية إزالة أيونات الزنك من المحاليل المائية باستخدام الخام الزيوليتي الطبيعي.

طرائق البحث ومواده

1 - استخدمت في هذا العمل الخام الزيوليتي الطبيعي السوري من منطقة أم أذن، وهو على شكل بودرة وحجم حبيبي $100-200\mu$. يحوي الخام الطبيعي المستخدم على الطور الزيوليتي شابازيت Shabazite بالإضافة إلى مركبات أخرى مثل الفورستريت والكالسيت والفلدسبار والكوارتز وتكوينه الكيميائي على الشكل الآتي [9].

المكون	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	LOI
mas. %	41.43	14.15	14.32	1.14	2.7	7.30	7.75	12

أخذت كمية من الخام الزيوليتي وغسلت بالماء المقطر مرات عدة وبعد ترشيحها وتجفيفها عند الدرجة 105°C لمدة 24 ساعة، وبعد ذلك قسمت العينة إلى قسمين: الأولى دعيت بالعينة الخام Z والثانية تمت معالجتها بمحلول كلوريد الصوديوم (2M) مع التحريك في هزاز ميكانيكي لمدة يوم ثم الترشيح والتجفيف عند الدرجة 105°C لمدة 24 ساعة بهدف تحويل جميع الأيونات في البنية الزيوليتية إلى أيون الصوديوم ودعيت بالعينة Z-Na.

2 - التجارب العملية

أ - تأثير التركيز الابتدائي وزمن التوازن

استخدمنا في هذا العمل كبريتات الزنك $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ كمصدر لأيونات الزنك، وحضر من هذه المادة محلول قياسي بتركيز 500 mg/L وحضرت من هذا المحلول وبطريقة التمديد محاليل مختلفة التركيز 50, 100, 200, 300, 400 mg/L. أخذنا من كل محلول 50ml وأضيف إلى هذا الحجم كمية ثابتة من الزيوليت المستخدم 0.3g ثم ترك المحلول للتوازن لمدة 24 ساعة مع التحريك في هزاز ميكانيكي عند قيمة $PH=6$ وعند درجة حرارة الغرفة وبعد ذلك فصل المحلول بالترشيح وتم تعيين التركيز المتبقي للزنك في الرشاحة باستخدام جهاز الامتصاص الذري وتعيين كمية الامتزاز التوازنية q_e من العلاقة الآتية:

$$q_e = (C_0 - C_e)m/V \quad (1)$$

حيث: q_e - كمية أيونات الزنك الممتزة على الزيوليت mg/g

C_0 - التركيز الابتدائي لأيونات الزنك في المحلول mg/L

C_e - التركيز التوازني لأيونات الزنك في المحلول بعد الامتزاز mg/L

m - كمية الزيوليت المضاف g

V - حجم المحلول المستخدم L

وحسبت نسبة الإزالة من العلاقة الآتية:

$$\text{Removal, \%} = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100 \quad (2)$$

وعند ثبات القيمة اعتبرت هذه اللحظة هي زمن التوازن وأجريت جميع التجارب اللاحقة عند هذا الزمن.

ب - تأثير درجة الحرارة

من أجل تراكيز ابتدائية معينة وعند الشروط نفسها في الفقرة السابقة أجريت التجارب عند درجات حرارة مختلفة $25, 40, 60, 70^\circ C$ حيث استخدم من أجل ذلك منظم درجات حرارة وبعد التحريك والتوازن فصل الطور الصلب بالترشيح وتم تعيين التركيز المتبقي من الزنك في الرشاحة بطريقة الامتصاص الذري.

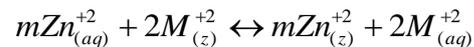
ج - تأثير قيمة PH الوسط

أجريت التجارب عند الشروط نفسها في حالة تأثير التركيز الابتدائي مع تغيير قيمة PH الوسط في المجال (4-8) وذلك بإضافة كميات مناسبة من محلول 0.1N, HCl و 0.1N, KOH حيث إضيفت كميات الحمض والأساس إلى المحلول قبل إضافة كمية الزيوليت، وبعد التحريك والتوازن تم فصل الطور الصلب بالترشيح وحدد تركيز الزنك المتبقي في الرشاحة بطريقة الامتصاص الذري.

النتائج والمناقشة

1- تأثير التركيز الابتدائي

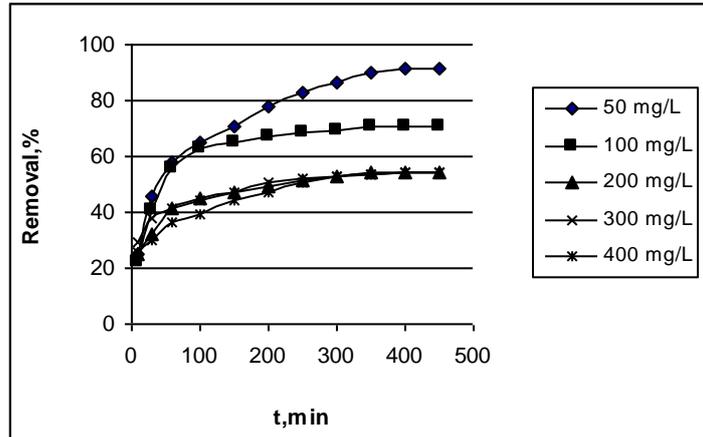
تنتقل الأيونات في أثناء التبادل الأيوني من البنية الزيوليتية إلى المحلول وتدخل الأيونات من المحلول إلى البنية الزيوليتية، ويمكن تمثيل ذلك بالنسبة لأيونات الزنك بالشكل:



حيث m تكافؤ الكاتيون المتبادل في المحلول، M تمثل الأيون في البنية الزيوليتية ويكون عادة

(Ca, Mg, K, Na) والدليل (aq) يدل على المحلول المائي و (z) على البنية الزيوليتية.

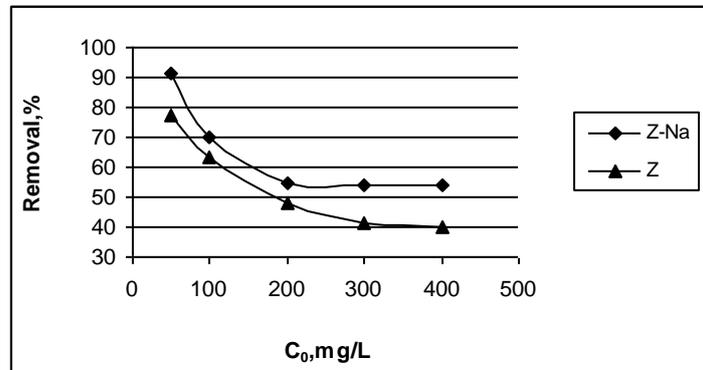
أخذت محاليل عدة من كل تركيز ابتدائي من محلول الزنك بحجم 50 mL وأضيف إلى كل منها 0.3g من الزيوليت المعدل بكلوريد الصوديوم (Z-Na) وتركت المحاليل مع التحريك المستمر في هزاز ميكانيكي وبعد فترات زمنية مختلفة تم فصل الطور الصلب بالترشيح وتعيين التركيز المتبقي من أيونات الزنك في الرشاحة، ويبين الشكل (1) نسبة إزالة أيونات الزنك باستخدام الزيوليت بتابعية الزمن.



الشكل (1) : نسبة إزالة أيونات الزنك بتابعية الزمن عند قيم مختلفة للتركيز الابتدائي باستخدام الزيوليت المعدل Z-Na
T=298K, PH=6

نلاحظ من الشكل (1) ازدياد نسبة إزالة أيونات الزنك من المحلول المائي بتابعية الزمن لجميع قيم التركيز الابتدائي وتصل إلى قيمة ثابتة من أجل كل تركيز. يبين الشكل (1) أيضاً أن عملية الإزالة تكون سريعة إلى حد ما في اللحظات الأولى لجميع قيم التركيز الابتدائي ثم تتباطأ تصل إلى حالة التوازن بعد حوالي 360 min واستخدمت هذه القيمة في التجارب اللاحقة.

من جهة أخرى نلاحظ أن نسبة الإزالة تتناقص بازدياد التركيز الابتدائي عند التوازن وقد بلغت 54; 54; 54.6; 70.2; 91.2 % من أجل قيم التركيز الابتدائي 400; 300; 200; 100; 50 mg/L عل الترتيب، ويعزى ذلك إلى أنه عند قيم التركيز المنخفضة تتحرك الأيونات بحرية أكبر وتستطيع الوصول إلى مراكز التبادل التي تكون متاحة ويكون عدد هذه المراكز كبيراً مقارنة مع (عدد) تركيز الأيونات القادمة من المحلول وعلى اعتبار أن كمية الزيوليت ثابتة وبالتالي يتناقص عدد المراكز المتاحة للتبادل بازدياد التركيز ما يؤدي إلى تناقص نسبة الإزالة [10].



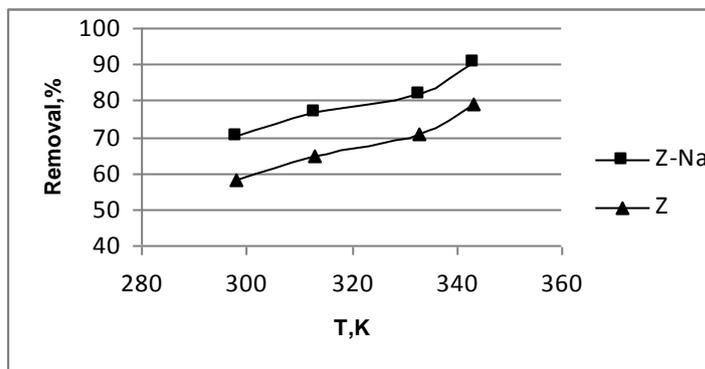
الشكل (2) : تغير نسبة الإزالة بتابعية التركيز باستخدام العينتين Z و Z-Na

T=298 K, pH=6, t=360min

ويبين الشكل (2) تغير نسبة الإزالة للعينتين المستخدمتين بتابعة التركيز، ونلاحظ أن نسبة الإزالة لأيونات الزنك باستخدام العينة الزيوليتية المعدلة Z-Na تبلغ 91.2% من أجل التركيز الابتدائي 50mg/L لتتناقص إلى 54% من أجل التركيز 400mg/L، بينما عند استخدام العينة الزيوليتية الخام تصل نسبة الإزالة إلى 78% من أجل تركيز ابتدائي 50mg/L لتصل إلى حوالي 40% عند تركيز 400 mg/L، وبالتالي فإن كفاءة الزيوليت العدل تكون أعلى في عملية إزالة أيونات الزنك من المحلول المائي.

2- تأثير درجة الحرارة

تمت دراسة إزالة أيونات الزنك من المحلول المائي بتركيز 100mg/L باستخدام الخام الزيوليتي Z والزيوليت المعدل Z-Na بتابعة درجة الحرارة وذلك عند قيم مختلفة لدرجات الحرارة 70; 60; 40; 25°C وذلك مع ثبات جميع العوامل الأخرى كما يظهر في الشكل (3).



الشكل (3) : إزالة أيونات الزنك بتابعة درجة الحرارة باستخدام

الزيوليت الخام Z والمعدل Z-Na .

$C_0=100\text{mg/L}$; $\text{pH}=6$; $t=360\text{min}$; $m=0.3\text{g}$; $V=50\text{ml}$

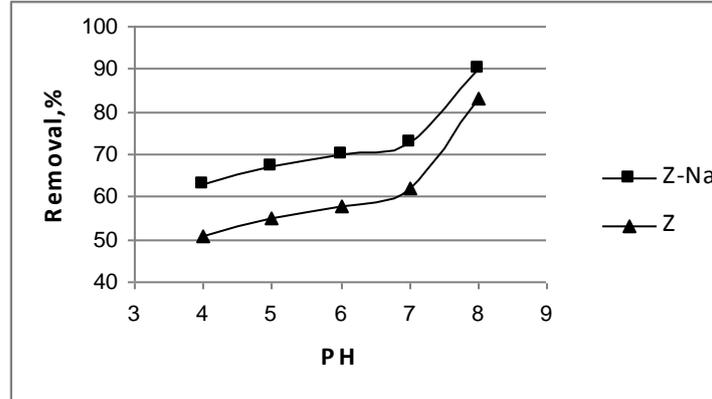
يبين الشكل (3) ازدياد نسبة إزالة أيونات الزنك من المحلول المائي بازياد درجة الحرارة لكلا النوعين من الزيوليت، لكن تكون نسبة الإزالة للزيوليت المعدل أكبر. تزداد نسبة الإزالة لأيونات الزنك بوساطة الزيوليت الخام على الشكل % 58; 65; 71; 79 من أجل درجات الحرارة 25°C; 40; 60; 70 على الترتيب وبالنسبة للزيوليت المعدل كانت % 70.2; 77.1; 82; 90.4 من أجل درجات الحرارة 25°C; 40; 60; 70 على الترتيب، وتظهر هذه النتائج أهمية معالجة الزيوليت الخام وتعديله بمحلول كلوريد الصوديوم ما يؤدي لازدياد فعاليته في عملية الإزالة.

تزداد نسبة الإزالة بازياد درجة الحرارة وبالتالي فإن العملية ماصة للحرارة وبدل ذلك على دور بنية السطح الصلب في عملية الإزالة والتبادل الأيوني، وتتأثر هذه العملية بعامل مهم وهو انتشار الأيونات من المحلول إلى السطح الصلب ومن ثم انتشارها إلى مواقع التبادل في البنية الداخلية للصلب وهذه العملية تتسارع بازياد درجة الحرارة. من جهة أخرى لفإن نصف قطر الأيون المميه للزنك كبير نسبياً 4.3\AA وطاقة الإمارة لأيونات الزنك -2025kJ/mol لذلك تحتاج عملية دخول هذه الأيونات إلى طاقة للوصول إلى مواقع التبادل الداخلية [11].

3- تأثير قيمة pH الوسط على الإزالة

تعد قيمة pH الوسط من أهم العوامل المؤثرة على امتزاز وتبادل الأيونات من المحاليل المائية. تتأثر عملية التبادل الأيوني بالخواص البنوية للمبادل الأيوني (الزيوليت في هذه الدراسة) ومن أهم هذه الخواص، البنية المسامية وأنصاف أقطار المسام. لكن هذه الخواص يكون تأثيرها طفيفاً مقارنة بتأثير قيمة pH وخاصة

في الأوساط الحمضية والقلوية الضعيفة، تؤثر قيمة pH على شكل وجود الأيونات في المحلول ويكون عادة وجود الأيونات الثنائية بشكل $M(OH)^+$, M^{+2} , $M(OH)_2$ وتعد الأيونات M^{+2} الأكثر تبادلاً وامتزازاً، وتتناقص انحلالية $M(OH)_2$ بازدياد قيمة pH الوسط كما تتأثر عملية التبادل بالتجاذب الكهروساكن بين الأيونات في المحلول والمجموعات الوظيفية السطحية للمبادل الزيوليتي [13,12] درست عملية إزالة أيونات الزنك من المحلول بتابعة pH مع ثبات جميع العوامل الأخرى، وبين الشكل (4) منحنى الإزالة بتابعة pH .



الشكل (4) : تغير إزالة أيونات الزنك بتابعة pH للعينتين Z و Z-Na

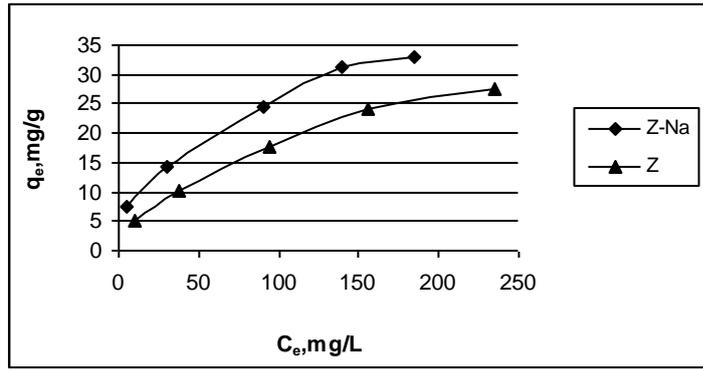
$C_0=100\text{mg/L}$; $T=298\text{K}$; $m=0.3\text{g}$; $V=50\text{mL}$

نلاحظ من الشكل (4) أنه تغير نسبة إزالة أيونات الزنك يزداد بشكل طفيف بازدياد قيمة pH لكلا العينتين وذلك حتى قيمة $pH \sim 7$ مع تفوق العينة Z-Na في كفاءة الإزالة. تبلغ نسبة إزالة أيونات الزنك بوجود الزيوليت الخام Z القيم 51%; 55%; 58%; 62% عند قيم pH الموافقة 4; 5; 6; 7 على الترتيب، بينما في حالة الزيوليت المعدل Z-Na تزداد نسبة الإزالة لتصبح 63%; 67%; 70.2%; 73% عند قيم pH نفسها. يفسر هذا السلوك بأنه في الأوساط الحمضية القوية يكون تركيز أيونات الهيدروجين عالياً وبالتالي تتنافس هذه الأيونات مع أيونات الزنك على مراكز التبادل في البنية الزيوليتية مع أفضلية عالية لأيونات الهيدروجين نتيجة صغر نصف قطر الإمهاة لهذا الأيون والذي يتمتع بطاقة إمهاة منخفضة مقارنة مع الزنك. عند ازدياد قيمة pH يتناقص تركيز أيونات الهيدروجين وتصبح مراكز التبادل متاحة أكثر لأيونات الزنك بوتزداد نسبة الإزالة. بينما بعد $pH \sim 7$ نلاحظ ازدياداً حاداً لنسبة الإزالة ويعزى ذلك إلى أنه عند هذه القيمة تبدأ أيونات الزنك بالترسيب على شكل $Zn(OH)_2$ بين المسامات وعلى السطح [14]. يجب التنويه إلى أنه لا يوجد جدوى من دراسة عملية الإزالة عند قيم $pH < 4$ بسبب إمكانية انحلال الألمنيوم في البنية الزيوليتية وبالتالي تخرب هذه البنية.

4- منحنى الامتزاز

يدعى منحنى تغير قيمة الامتزاز بتابعة التركيز عند ثبات درجة الحرارة بمنحنى الامتزاز متساوي الدرجة، بين

الشكل (5) منحنى امتزاز أيونات الزنك باستخدام الزيوليت الخام Z والمعدل Z-Na .



الشكل (5): منحنى امتزاز أيونات الزنك باستخدام العينتين Z و Z-Na
T=298K; pH=6; m=0.3; V=50mL

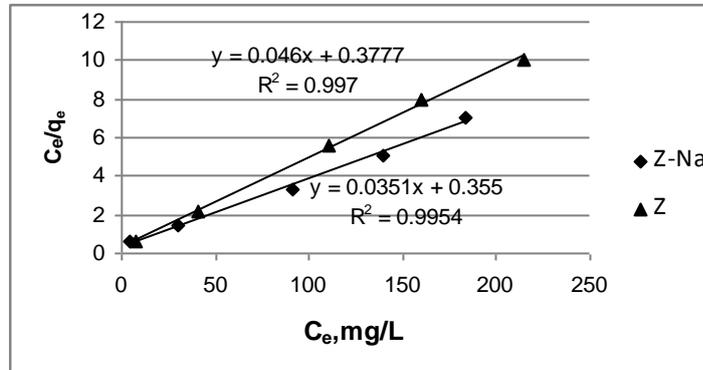
يظهر من الشكل (5) أن قيمة الامتزاز لأيونات الزنك تزداد بازدياد التركيز التوازني من جهة، ومن جهة أخرى فإن الزيوليت المعدل Z-Na يبدي أفضلية وكفاءة أعلى من الزيوليت الخام Z في عملية الإزالة. استخدمت معطيات الشكل (5) من أجل تعيين ثوابت الامتزاز وفق علاقة لانغموير الخطية وذلك لتوصيف عملية إزالة أيونات الزنك من المحلول المائي. تستخدم علاقة لانغموير بالشكل الخطي الآتي:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m \cdot b} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (3)$$

حيث q_m - سعة التبادل الأعظمية (سعة الطبقة الأحادية) mg/g

b - ثابت لانغموير ويعبر عن الإلفة بين الماز والممتز L/mg

برسم العلاقة الخطية ومن قيمتي الميل والتقاطع يمكن تعيين كل من q_m و b المبينة في الجدول (1).



الشكل (5): التمثيل الخطي لعلاقة لانغموير

الجدول (1): قيم الثوابت المعينة وفق علاقة لانغموير الخطية

	q_m , mg/g	b , L/mg	R^2
Z	21.7	0.122	0.997
Z-Na	28.5	0.104	0.995

يظهر من الجدول (1) إن قيمة السعة التبادلية العظمى للزيوليت المعدل Z-Na تصل إلى 28.5mg/g وهي أكبر من قيمة السعة التبادلية للزيوليت الخام Z وبالبالغة 21.7mg/g ، ما يشير إلى أفضلية الزيوليت المعدل في عملية إزالة أيونات الزنك من المحلول المائي، كما تبدي العينتين Z و Z-Na إلفة جيدة لأيونات الزنك وذلك من خلال قيم b ، كما تبدي قيم R^2 توافقاً جيداً مع الخطية، بالتالي إمكانية استخدام هذه العلاقة لمعالجة البيانات التجريبية. بالتالي من خلال النتائج التي حصلنا عليها يتبين أنه يمكن استخدام الخامات الزيوليتية الطبيعية السورية بكفاءة عالية لإزالة أيونات الزنك من المحاليل المائية.

الاستنتاجات والتوصيات

- تتأثر عملية إزالة أيونات الزنك بقيم التركيز الابتدائي لهذه الأيونات، وتكون نسبة الإزالة أعلى في حالة التركيز المنخفض وذلك لكلا العينتين Z و Z-Na.
- تكون عملية إزالة أيونات الزنك ماصة للحرارة وفق شروط التجربة، بالتالي تزداد نسبة الإزالة بازدياد درجة الحرارة.
- تتأثر عملية الإزالة بشكل واضح بقيمة pH الوسط، وتزداد بشكل طفيف حتى الوسط المعتدل ومن ثم تزداد بشكل حاد نتيجة ترسيب هيدروكسيد الزنك.
- تبدي عينة الزيوليت المعدل Z-Na كفاءة أعلى من عينة الزيوليت الخام.
- تبلغ السعة التبادلية العظمى للزيوليت الخام 21.7mg/g وللزيوليت المعدل 28.5mg/g.
- تبدي معالجة البيانات التجريبية تطابقاً جيداً مع علاقة لانغموير الخطية والتي يمكن استخدامها بنجاح لمعالجة هذه البيانات.
- يمكن إجراء هذه التجارب على أيونات أخرى من العناصر الثقيلة.
- دراسة تأثير الأيونات المختلفة وتنافسها في عملية التبادل الأيوني.

المراجع

- [1]. MINCEVA.M; MARKOVSKA.L and MESHKO.V. *Removal of Zn⁺², Cd⁺² and pb⁺² from binary aqueous solution by natural zeolite and granulated activated carbon.* J.Chem.Energ. 2007,26,125-134.
- [2]. SEN.TK; SARZALI.MV. *Removal of cadmium metal ion from its aqueous solution by aluminum oxide: a kinetic and equilibrium study.* J.Chem. Eng. 2008,142, 256-262.
- [3]. TRGO.M; PERIC.J; VUKOJEVIC MEDVIDOVIC.N. *Investigation of different kinetic models for zinc ions uptake by a natural zeolite tuff.* J.of Inviron. Manag. 2006,79,298-304.
- [4]. OUKLS; KAVANNAGH.M. *Performance of natural zeolite for the treatment of mixed metal-contaminated effluents.* Waste Manag. Res. 1997,15,383-391.
- [5]. EL-KAMASH.A.M; ZAKI.A.A; ABED EL GELEEL.M. *Modeling batch kinetics and thermodynamics of zinc and cadmium ions removal from waste solutions using synthetic zeolite A.* J. of Hazard. Mat. 2005,B127, 211-220.
- [6]. Stolz.J; YANG.P; AMBRUSTER.T. *Cd-exchangeed heulandite symmetry lowering and the site preference.* Micropor. Mesopor. Mater. 200,37(1-2), 233- 242.

- [7]. ALVAREZ-AYUSO.E; GARCIA-SANCHEZ.A; QUEROL.X. Purification of metal electroplating waste waters using zeolites. *Water Res.*2003,34(20), 4855-4862.
- [8]. VASSILIS J INGLEZAKIS. *The concept of capacity in zeolite ion-exchange system.* J.of colloid and interface science. 2005,281,68-79.
- [9]. RAHEB.I; KAWASS.H.A. *Characterization of the Syrian ores containing zeolite in Om'Ezen area.* Tishreen univer. J. for studies and Scie. Res. Basic Scie.Series. 2005,27(1),69-78.
- [10]. BOSSO.S.T and ENZWEILER.J. *Evaluation of heavy metal removal from aqueous solution on to scolocite.* Wter Res. 2002, 36, 4797-4800.
- [11]. PANAYOTOVA.M; VELIKOV.B. *Kinetics of heavy metal ions removal by use of natural zeolite.* J. Environ. Sci. Health A, 2002, 37(2), 139-147.
- [12]. IQBAL.M; SAEED.A. *Removal of heavy metals from contaminated water by petiolar felt-sheath of palm.* Environ. Technol. 2002,23,1091-1098.
- [13]. AHALYA.E; KANAMDIRD: RAMCHANDRA.TV. *Cr(VI) and Fe(III) removal using cajanus cajan husk.* J. Environ. Biol. 2007,28,765-769.
- [14]. OREN.A.H and KAYA.A. *Factors affecting adsorption characteristics of Zn⁺² on two natural zeolite.* J. Hazard. Mater. 2006,131,59-65.