

امتزاز النيكل (II) من المحاليل المائية على الزيوليت الطبيعي

الدكتور إبراهيم راهب*

الدكتورة سميرة سليمان**

مجد فياض***

(تاريخ الإيداع 26 / 3 / 2014. قُبل للنشر في 1 / 6 / 2014)

□ ملخص □

استخدم في هذا البحث الخام الزيوليتي الطبيعي السوري من منطقة أم أذن كمادة مازة لأيونات النيكل (II) من المحاليل المائية. درست عملية إزالة أيونات النيكل (II) عند شروط مختلفة وتبين أن عملية الإزالة تزداد بازدياد التركيز الابتدائي لأيونات النيكل (II) ودرجة الحرارة وقيمة PH الوسط . جميع التجارب أجريت عند زمن تماس يساوي 6 ساعات . تزداد قيمة الامتزاز من 16.36mg Ni/g من أجل التركيز الابتدائي 100mgNi/L لأيونات النيكل (II) إلى 71.33mgNi/g من أجل $C_0=1000\text{mgNi/L}$. تبين أن النتائج التجريبية لعملية الامتزاز تتوافق مع منحنى امتزاز لانغموير متساوي الدرجة . وبلغت السعة العظمى للامتزاز $q_{\max}=142.85\text{mgNi/g}$. تتغير كمية الامتزاز عند الدرجة 298K من 16.36mgNi/g من أجل $C_0=100\text{mgNi/L}$ إلى 47.93mgNi/g من أجل $C_0=400\text{mgNi/L}$ ، ثم تتغير هذه القيمة بشكل طفيف عند الدرجة 333K لتصبح 16.65mg Ni/g من أجل $C_0=100\text{mgNi/g}$ و 51mgNi/g من أجل $C_0=400\text{mgNi/L}$. تزداد كمية امتزاز أيونات النيكل (II) بازدياد قيمة PH حتى حوالي القيمة 5 ثم تبقى ثابتة حتى حوالي القيمة 6 . وبعد هذه القيمة تحدث عملية ترسيب Ni(II) على شكل هيدروكسيد.

الكلمات المفتاحية : زيوليت طبيعي ، تبادل ايوني ، أيونات Ni(II) ، السعة الامتزازية

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

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

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Adsorption of Ni(II) ions from aqueous solutions using natural zeolite

Dr. Ibrahim raheb*
Dr. Samira suleiman**
Majed fead***

(Received 26 / 3 / 2014. Accepted 1 / 6 / 2014)

□ ABSTRACT □

The Syrian natural zeolite from om'ozon area has been studied as adsorbent for Ni(II) ions from aqueous solution. The removal of Ni(II) ions under different conditions was studied adsorption of Ni(II) enhanced with an increase of initial concentration, temperature and PH .all experiments were carried out at contact time 6h.

The amount of Ni(II) adsorption was increased from 16.36 mgNi/g for initial solution concentration of 100mg Ni/l to 71.33 mgNi/g (for $C_0=1000\text{mgNi/L}$). The experimental data fitted well to Langmuir isotherm . The maximum capacity was $q_{\text{max}}=142.85\text{mgNi/g}$

Adsorption amount at 298K varies from 16.36mgNi/g for initial solution concentration of 100mg Ni/l to 47.93mg Ni/g(for $C_0=400\text{mgNi/L}$) and it increases at 333K to 16.65 mgNi/g and 51mgNi/g (for $C_0=100$ and 400 mg Ni/L)respectively. The adsorption of Ni(II) ions was increased by increasing PH up to ~ 5 and then stabilized up to PH=6 and after that the precipitation process was accured.

Key words: natural zeolit , ion exchange , Ni(II) ions, Adsorption capacity

*professor ,faculty of science ,dep. of chemistry,Tishreen Univ, Lattakia ,Syria

**Assistant professor, faculty of science,dep. of chem-Tishreen Univ, Lattakia, Syria

***postgraduate student, faculty of science, dep of chem., Tishreen Univ, Lattakia, Syria

مقدمة:

تحتوي مياه الصرف الصناعية على العديد من أيونات العناصر الثقيلة السامة مثل (Ni,Pb,Hg,Cu,Cd) [1]. إذ إن الكميات الكبيرة منها سامة وتؤدي إلى تلوث خطير للتربة والمياه [2]. من مخاطر هذه العناصر أنها على عكس الملوثات العضوية ، فهي غير قابلة للتحلل في البيئة، ولها أثر تراكمي مما يسبب تلوث خطير للمنتجات الزراعية ، والمياه الجوفية ، فضلاً عن تراكمها في أجسام الكائنات الحية مما يؤدي إلى مشاكل صحية عديدة [3]. تشمل المخاطر المرتبطة بوجود (Ni(II): أمراض الحساسية مثل تهيج الجلد، واضطرابات وتشوهات خلقية ، والمستويات العالية تؤدي إلى سرطان العظام ، والرئتين والأنف وتلف نظام الجهاز العصبي[4,5]. بالتالي فإن إزالة أيونات النيكل الزائدة من المياه ومياه الصرف الصحي ضروري لحماية صحة الإنسان والبيئة والتي يمكن أن تتحقق عن طريق مجموعة متنوعة من الطرائق مثل: الترشيح الفائق [6]، والأغشية العالية الترشيح [7]، التخثير والتحلل الكهربائي [8,9]، والمزازات البوليميرية [10,11]، الزيوليتات الطبيعية والصناعية والراتجات وغيرها من المازات الطبيعية [4,11,12]، أنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران [13,14]، الامتصاص الحيوي [15]، الألياف المجوفة [16].

يكون استخدام بعض هذه الطرائق محدوداً لأسباب مختلفة منها: التكلفة العالية (للبوليمرات الصناعية ، المبادلات الأيونية الراتجية، وأنابيب الكربون النانوية وبعضها يحتاج إلى معدات خاصة (طريقة الترشيح الفائق)، أما طريقة الترسيب الكيميائي فهي صالحة للاستعمال عند حجوم صغيرة من المياه مع ارتفاع تركيز النيكل ، فضلاً عن بعض الطرائق الكهروكيميائية مثل التخثر الكهربائي فهي تستهلك طاقة عالية كذلك تطلق مركبات متخثرة في البيئة وتسبب مشكلة بيئية . يعد التبادل الأيوني الأبسط من بين هذه الطرائق والأقل كلفة وخاصة عند استخدام الزيوليتات الطبيعية [17]. تتكون بنية الزيوليت من ارتباط رباعيات الوجوه SiO_4, AlO_4 لتشكيل بنية فراغية تمتاز باحتوائها على شحنة سالبة $(AlO_4)^-$ والتي تعوض من قبل أيونات العناصر القلوية والقلوية الترابية (عادة مثل Na، K، Mg، Ca) القابلة للاستبدال [17-18]. توجد هذه الكاتيونات في مواقع محددة في إطار القنوات وهي قابلة للاستبدال مع كاتيونات أخرى في المحلول [17]. يعتمد سلوك التبادل الأيوني للزيوليت على عدة عوامل : نوع الزيوليت، تركيز المحلول، درجة الحرارة ، PH الوسط، تأثير الشوارد المنافسة ... الخ.

يمتلك الزيوليت الطبيعي في الوقت الراهن أهمية كبرى في عمليات التبادل الأيوني وذلك لتوفره في الطبيعة وانخفاض تكلفته وأدائه العالي ويستخدم في العديد من دول العالم لإزالة الأيونات والملوثات من المحاليل المائية [19].

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كونه يتناول خاماً طبيعية متوفرة في سورية وذات كلفة منخفضة ولم تدخل في الاستثمار بعد على الرغم من مواصفاتها المهمة ، ويهدف هذا البحث إلى استخدام الخامات الزيوليتية الطبيعية السورية في إزالة أيونات النيكل الثنائي من المحاليل المائية.

طرائق البحث ومواده:

استخدمنا في هذا البحث الخام الزيوليتي الطبيعي السوري من منطقة أم أذن . الخام الزيوليتي الطبيعي عبارة كتل تم طحنها وغربلتها واستخدمت للدراسة الأبعاد الحبيبية ضمن المجال $125-300\mu$. غسلت كمية من الزيوليت

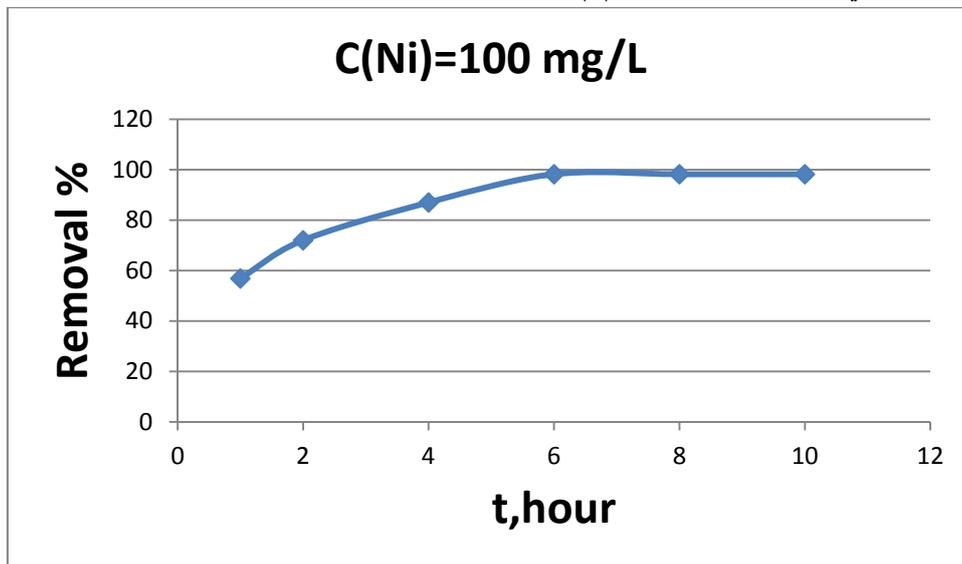
المستخدم بالماء المقطر مرات عدة وبعد الترشيح جففت عند الدرجة 110 لمدة 24h ثم تحويل العينة المستخدمة من الزيوليت الطبيعي إلى الشكل الصوديومي لتحسين أدائها في عملية التبادل الأيوني وذلك بمعالجتها بمحلول كلوريد الصوديوم 1M مع التحريك المغناطيسي لمدة 24 ساعة ثم رشحت وغسلت بالماء المقطر وجففت بالدرجة 110C لمدة 24 ساعة .

استخدمت كمية 0.3g من العينة المحضرة وأضيفت إلى 50ml من محلول كلوريد النيكل الثنائي بتراكيز ابتدائية مختلفة (50,100,200,400,700,1000 mg/l). أجريت تجارب التبادل الأيوني عند الدرجة 298K ومن ثم رسمت منحنيات الامتزاز وتعيين السعة التبادلية . درس تأثير درجة الحرارة عند القيم (298,313,333K) على عملية التبادل الأيوني . كما تمت دراسة تأثير قيمة pH الوسط في عملية التبادل، عين تركيز النيكل المتبقي في المحلول بعد عملية التبادل باستخدام جهاز الامتصاص الذري AAS (Varian spector AA220) وذلك من خلال إجراء ثلاثة قياسات متتالية .

النتائج والمناقشة:

تعيين زمن التماس

من أجل تركيز محلول النيكل 100 mg/L أخذنا عدة عينات بحجم 50 ml وأضيف إلى كل عينة كمية من الزيوليت الطبيعي الصوديومي قدرها 0.3g مع التحريك المغناطيسي المستمر وعند أزمنة مختلفة تم ترشيح المحلول وتعيين تركيز النيكل في الرشاحة وبين الشكل (1) تغير نسبة الإزالة بتابعية الزمن



الشكل (1) : تغير نسبة إزالة النيكل بتابعية الزمن

نلاحظ من الشكل (1) إن نسبة الإزالة تزداد مع الزمن حتى تبلغ قيمة ثابتة تصل إلى 98.2% وذلك بعد 6 ساعات واعتبر هذا الزمن هو زمن التوازن وحيث أجريت جميع التجارب اللاحقة عند هذا الزمن.

تأثير التركيز الابتدائي

تحسب قيمة الامتزاز من العلاقة الآتية:

$$q(\text{mg} / \text{g}) = \frac{C_0 - C}{m} \cdot V \quad (1)$$

حيث :

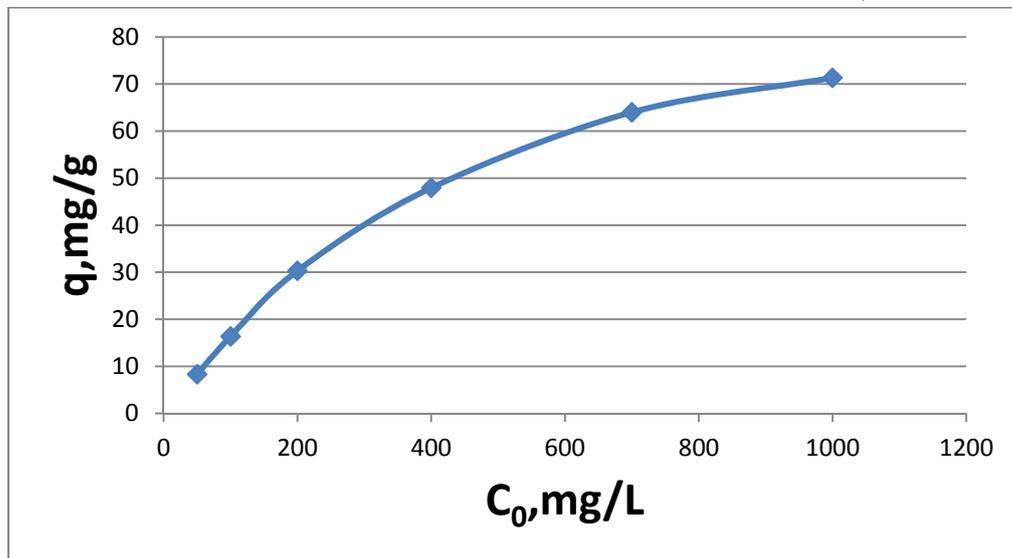
C_0 : التركيز الابتدائي لأيونات النيكل في المحلول mg/L

C : التركيز النهائي لأيونات النيكل في المحلول بعد (الامتزاز) mg/L

m : كتلة الزيوليت المستخدم . g

V : حجم المحلول ml

يبين الشكل (2) منحنى الامتزاز لأيونات النيكل Ni(II) على الخام الزيوليتي الطبيعي السوري المعدل بمعالجته بمحلول كلوريد الصوديوم ذلك عند تراكيز مختلفة من محلول النيكل وذلك عند الدرجة 298 K



الشكل (2) : منحنى امتزاز ايونات Ni(II) عند تراكيز مختلفة على الزيوليت الطبيعي السوري عند الدرجة 298K

نلاحظ من الشكل (2) ازدياد كمية الامتزاز بازدياد التركيز الابتدائي لأيونات النيكل (II) وبالتالي يمتلك الزيوليت المستخدم فعالية جيدة في عملية امتزاز أيونات النيكل (II) من المحاليل المائية في درجة حرارة الغرفة . تتغير كمية الامتزاز من 8.3mg/g عند التركيز الابتدائي للنيكل 50mg/L حتى 71.33mg/g من أجل تركيز النيكل الابتدائي 1000mg/L يظهر من الشكل (2) إن منحنى الامتزاز يتوافق مع منحنيات الامتزاز اللانغمورية [20]. بالتالي يمكن تطبيق علاقة لانغموير الخطية لتعيين السعة التبادلية العظمى للزيوليت المستخدم وهي بالشكل:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max} \cdot b} \cdot \frac{1}{C} \quad (2)$$

q : الكمية الممتزة mg/g

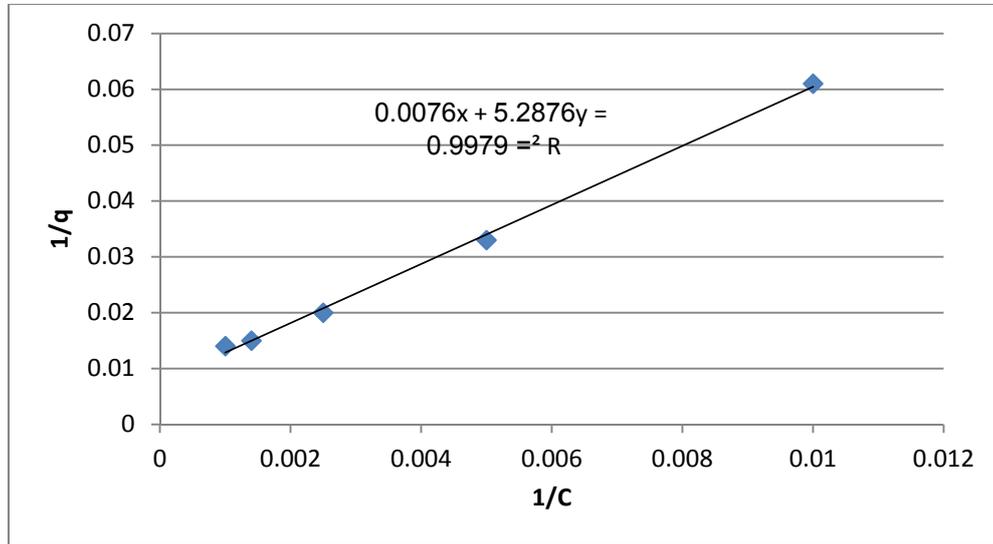
C : التركيز التوازني لمحاليل النيكل المستخدم (mg/L)

q_{max} : الكمية العظمى الممتزة من النيكل mg/g

b : ثابت لانغموير ويعبر عن الإلفة بين الماز والممتز .

وبرسم العلاقة (1) في الإحداثيات $(1/q, 1/c)$ يمكن تعيين كل من q_{max} , b وذلك من الميل والتقاطع في الشكل

(3)



الشكل (3): علاقة لانغموير الخطية لتعيين q_{max} , b

يظهر من الشكل (3) أن علاقة لانغموير الخطية يمكن تطبيقها في هذه الحالة كما يظهر من قيمة معامل الارتباط $R^2=0.997$ وبالتالي من العلاقة الخطية يكون التقاطع $i=1/q_{max}$ والميل $m=1/q_{max} \cdot b$ وبالتالي يمكن تعيين كل من q_{max} , b حيث $q_{max}=142.85$ mg/g ، $b=0.0013$.

بالتالي تكون السعة التبادلية الأيونية $CEC=4.87$ meq/g. نلاحظ أن الخام الزيوليتي السوري يتمتع بفعالية عالية لنزع أيونات النيكل من المحاليل المائية وذلك بمقارنته مع بعض أنواع الزيوليتات الطبيعية والصناعية الزيوليت الصناعي 4A حيث $CEC=5.44$ meq/g و للزيوليت الطبيعي التركي $CEC=0.017$ meq/g وللزيوليت الأوكراني $CEC=0.222$ meq/g والزيوليت الطبيعي البرازيلي $CEC=2.08$ meq/g [21-22].

تزداد فعالية الخام الزيوليتي المستخدم في إزالة أيونات النيكل (II) بتناقص التركيز الابتدائي حتى تصل نسبة الإزالة إلى 99.6% عند التركيز الابتدائي 50mg/l لتبلغ قيمة 42.8% عند التركيز 1000mg/l لأيونات النيكل حيث تحسب نسبة الإزالة لأيونات النيكل من المحلول المائي باستخدام العلاقة :

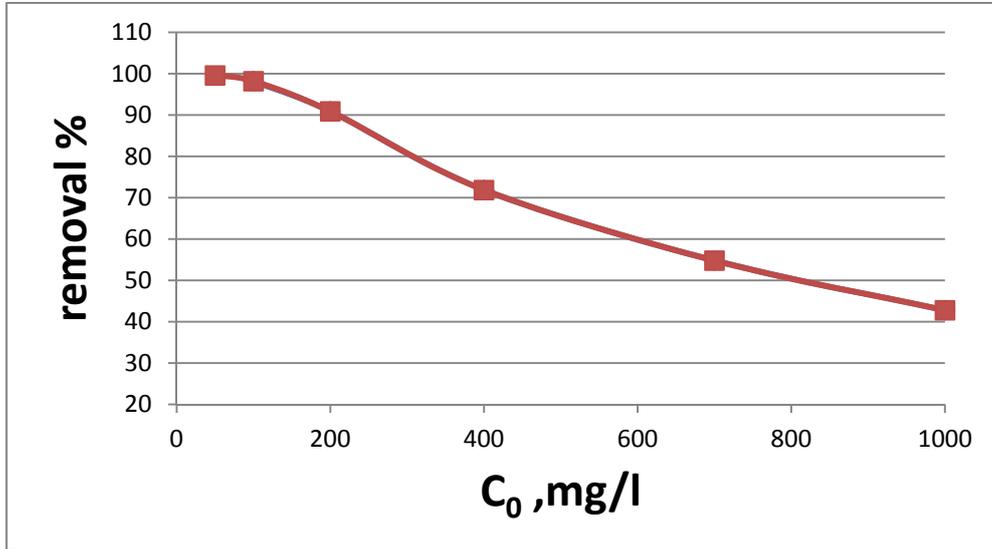
$$Removal \% = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

C_0 : التركيز الابتدائي ، C_i : التركيز النهائي

كما يظهر الجدول (1) والشكل (4) نسبة إزالة أيونات النيكل الثنائي من المحاليل المائية باستخدام الخام الزيوليتي السوري.

الجدول (1): تغير نسبة الإزالة بتابعة التركيز الابتدائي

C ₀ , mg/L	50	100	200	400	700	1000
Removal%	99.6	98.2	90.9	71.9	54.8	42.8

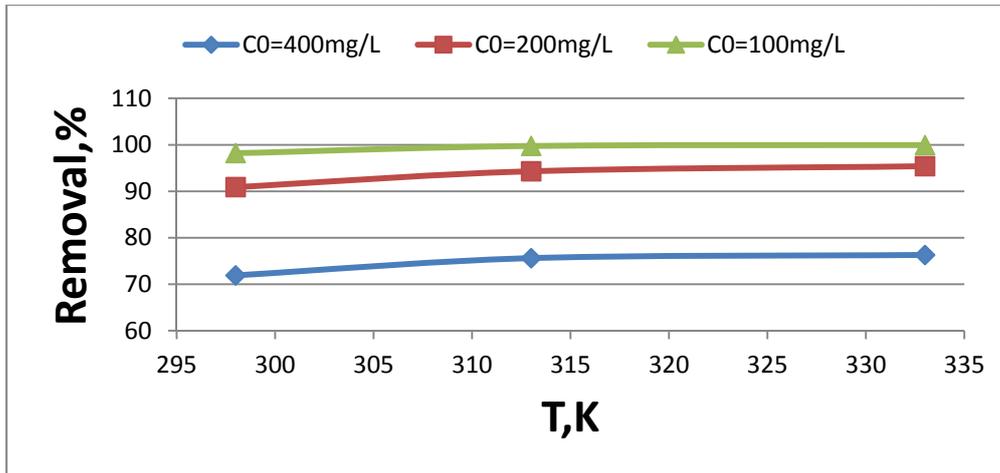


الشكل (4): تغير نسبة إزالة أيونات النيكل من المحاليل المائية بتغير التركيز الابتدائي باستخدام الخام الزيوليتي الطبيعي السوري.

تأثير درجة الحرارة

درس تأثير درجة الحرارة عند القيم 298,313,333K على عملية امتزاز النيكل (II) من المحاليل المائية كما

يبدو من الشكل (5)

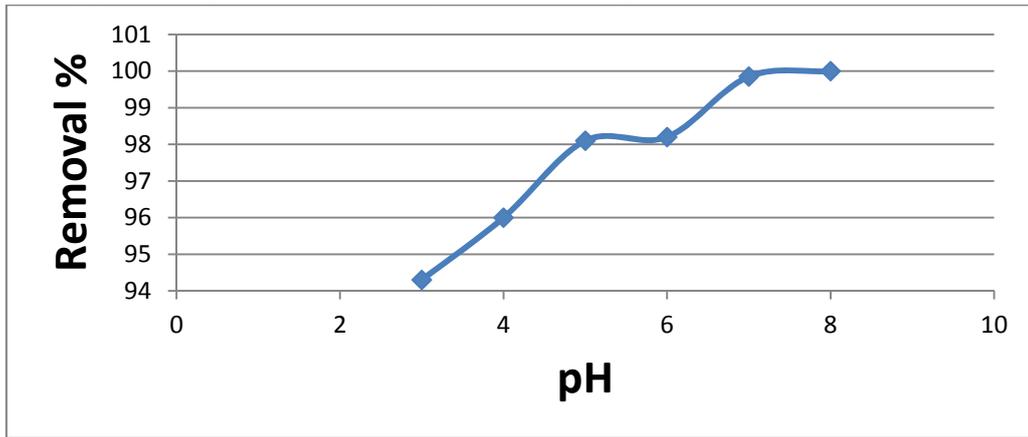


الشكل (5): تأثير درجة الحرارة على إزالة أيونات النيكل الثنائي عند التوازن (0.3g من الخام الزيوليتي / 50ml من محلول Ni²⁺)

نلاحظ من الشكل (5) أن نسبة إزالة أيونات النيكل تزداد بازدياد درجة الحرارة ويكون هذا الازدياد طفيفاً ويمكن أن يعزى ذلك إلى أنه بازدياد درجة الحرارة تحدث عملية توسع في الأبعاد والمسامات وبالتالي تزداد سرعة الانتشار إلى داخل المسامات للوصول إلى المراكز الامتزازية مما يؤدي إلى ازدياد في قيمة الامتزاز وبالتالي نسبة الإزالة [23].

تأثير PH الوسط

لقيمة PH الوسط أهمية كبيرة للتحكم بعملية الامتزاز وإزالة الأيونات ولدراسة هذا التأثير تم تغيير قيم PH الوسط من 3 حتى 8 وحيث إن التركيز الابتدائي لأيونات النيكل 100mg/l كما يظهر في الشكل (6)



الشكل (6): تأثير PH الوسط على إزالة أيونات النيكل من المحلول المائي.

(التركيز الابتدائي لأيونات النيكل 100mg/l ، كمية الزيوليت 0.3g وحجم المحلول 50ml)

يبين الشكل (6) ازدياد نسبة الإزالة بازدياد قيمة PH من 94.3% عند القيمة PH=3 لتصل إلى قيمة 98.1% عند PH=5 وتبقى ثابتة حتى قيمة PH=6 ثم تزداد بشكل حاد بعد هذه القيمة ل PH . عند القيم المنخفضة ل PH تزداد نسبة البروتونات في المحلول مما يجعلها تتنافس على المراكز الامتزازية مع أيونات النيكل ثم بازدياد قيمة PH تتناقص كمية البروتونات وبالتالي يكون التنافس أقل وتزداد نسبة إزالة أيونات النيكل وتستمر هذه العملية حتى PH≈6 [24-25]. عندما تصبح PH>6 نلاحظ ازدياداً حاداً في نسبة الإزالة ويعزى ذلك إلى أنه فضلاً عن حدوث عملية الامتزاز تحدث عملية ترسيب هيدروكسيد النيكل [26] . وبالتالي يمكن القول إن القيمة المثلى لـ PH من أجل امتزاز أيونات النيكل هي بين 5 و 6.

الاستنتاجات والتوصيات:

- تبين هذه الدراسة أن الخام الزيوليتي الطبيعي السوري يتمتع بكفاءة عالية في إزالة أيونات النيكل (II) من المحاليل المائية
- تصل نسبة الإزالة إلى 99.6% عند التركيز الابتدائي للنيكل 50mg/l لتصل إلى قيمة 42.8% عند التركيز الابتدائي 1000mg/l
- تزداد نسبة إزالة أيونات النيكل بازدياد درجة الحرارة لتبلغ قيمة عظمى عند الدرجة 333K .

- تزداد نسبة الإزالة بازدياد قيمة PH الوسط حتى PH=5 ثم تبقى ثابتة حتى PH=6 وبعد ذلك تزداد بشكل حاد نتيجة ترسب هيدروكسيد النيكل ، وبالتالي يمكن اعتبار أن PH=5-6 هي القيمة المثلى من أجل إزالة أيونات النيكل من الأوساط المائية

المراجع:

- [1] MOTSI, T. ; ROWSON. N.A; SIMMONS. M.J.H. *Kinetic studies of the removal of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite*. Int. J. Miner. Process,101,2011,42-49
- [2] QIU. W; ZHENG, Y. *Removal of lead, copper, nickel, cobalt, and zinc from water by a cancrinite-type zeolite synthesized from fly ash*. Chem. Eng. J.145,2009,483-488
- [3] SHI, W.Y; SHAO, H.B; LI. H ; SHAO, M.A; DU, Sh. *Review progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite*. J. Hazard. Mater.170,2009,1-6.
- [4] ARGUN, M.E. *Use of clinoptilolite for the removal of nickel ions from water kinetics and thermodynamics*. J. Hazard. Mater. 150 ,2008, 587-595.
- [5] SHINDE, Nikhil R; BANKAR, Ashok V; KUMAR, Ameeta R ; ZINJARDE, Smita S. *Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions by biosorption onto two strains of Yarrowia lipolytica*. Journal of Environmental Management 102,2012,115-124.
- [6] SHAO, J; QIN, S ; DAVIDSON, J; LI, W; HE, Y ; ZHOU, H.S. *Recovery of nickel from aqueous solutions by complexation-ultrafiltration process with sodium polyacrylate and polyethylenimine*. J. Hazard. Mater, 244-245,2013,472-477..
- [7] KATSOU, E ; MALAMIS, S ; HARALAMBOUS, K.J; LOIZIDOU, M. *Use of ultrafiltration membranes and aluminosilicate minerals for nickel removal from industrial wastewater*. J. Membr. Sci. 360,2010,234-249.
- [8] DE MELLO FERREIRA, A ; MARCHESIELLO, M ; THIVEL, P.-X. *Removal of copper, zinc and nickel present in natural water containing Ca²⁺ and HCO₃⁻ ions by electrocoagulation*. Sep. Purif. Technol. 107,2013,109-117.
- [9] MEUNIER, N ; DROGUI, P ; MONTANE, C ; HAUSLER, R ; MERCIER, G ; BLAIS, J.-F. *Comparison between electrocoagulation and chemical precipitation for metals removal from acidic soil leachate*. J. Hazard. Mater. 137,2006,581-590.
- [10] GRAILLOT, A I; BOUYER, D ; MONGE, S; ROBIN, J.-J; FAUR, C. *Removal of nickel ions from aqueous solution by low energy-consuming sorption process involving thermosensitive copolymers with phosphonic acid groups*. J. Hazard. Mater. 244-245,2013,507-515.
- [11] ALYÜZ, B; VELI, S. *Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins*. J. Hazard. Mater. 167,2009,482-489
- [12] VIEIRA, M.G.A; ALMEIDA NETO, A.F; GIMENES, M.L; DA SILVA, M.G.C. *Sorption kinetics and equilibrium for the removal of nickel ions from aqueous phase on calcined Bofe bentonite clay*. J. Hazard. Mater. 177 ,2010, 362-371.
- [13] KANDAH, M.I; MEUNIER, J.-L. *Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes*. J. Hazard. Mater. 146 ,2007, 283-288.

- [14] ADOLPH, M.A; XAVIER, Y.M; KRIVESHINI, P; RUI, K. *Phosphine functionalised multiwalled carbon nanotubes: a new adsorbent for the removal of nickel from aqueous solution*. J. Environ. Sci. 24 (6), 2012, 1133–1141.
- [15] BHATNAGAR, A; MINOCHA, A.K. *Biosorption optimization of nickel removal from water using Punica granatum peel waste*. Colloids Surf. B: Biointerfaces 76, 2010, 544–548.
- [16] GONZALEZ, R; CERPA, A; ALGUACI, F.J. *Nickel(II) removal by mixtures of Acorga M5640 and DP8R in pseudo-emulsion based hollow fiber with strip dispersion technology*. Chemosphere 81, 2010, 1164–1169.
- [17] FAGHIHIAN, H; AMINI, M.K; NEZAMZADEH, A.R. *Cerium uptake by zeolite A synthesized from natural clinoptilolite tuffs*. J. Radioanal. Nucl. Chem., 2005, 577–582.
- [18] Romie, A; Raheb, I; Suleiman, S. *Removal of Ammonium from Aqueous Solutions by Syrian Natural ores Containing Zeolite*. Tishreen university SYRIA, vol.32, No.1, 2010, 86–92.
- [19] NEZAMZADEH-EJHIEH, A; AMIRI, M. *CuO supported clinoptilolite towards solar photocatalytic degradation of p-aminophenol*. Powder Technol. 235, 2013, 279–288
- [20] LANGMUIR, I. *The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica, and platinum*. J. Am. Chem. Soc. 40, 1918, 1361–1403
- [21] QIU, W; ZHENG, Y. *Removal of lead, copper, nickel, cobalt, and zinc from water by a cancrinite-type zeolite synthesized from fly ash*. Chemical Engineering Journal Canada 145, 2009, 483–488
- [22] WANG, S. W; PENG, Y. *Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment*. Chemical Engineering Journal 156, 2010, 11–24.
- [23] H. Faghihian, M. K. Amini, A. R. Nezamzadeh. *Cerium uptake by zeolite A synthesized from natural clinoptilolite tuffs*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 264, No. 3, 2005, 577–582.
- [24] Mellis, E.V., Pessoa da Cruz, M.C., Casagrande, J.C. *Nickel adsorption by soils in relation to pH, organic matter, and oxides*. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) 61, 2004, 190–195.
- [25] Yavuz, M., Gode, F., Pehlivan, E., Ozmert, S., Sharma, Y.C. *An economic removal of Cu²⁺ and Cr³⁺ on the new adsorbents: pumice and polyacrylonitrile/pumice composite*. Chem. Eng. J. 137, 2008, 453–461.
- [26] Jinxing, J., Cooper, W.C. *Nickel speciation in aqueous chloride solutions* Electrochim. Acta 41, 1996, 1549–1560