

## دراسة حركية إمتزاز الرصاص و الكروم من محاليلها المائية على الرمل السوري

المهندسة نها حوّا

شركة سكر حمص - سوريا

### الخلاصة

تمّ في هذا البحث دراسة فعّالية إزالة شوارد المعادن الثقيلة من محاليلها المائية باستخدام الرمل السوري في منطقة القريتين و البدروسية. استخدمت محاليل مائية صناعية لكل من شوارد الكروم و الرصاص بتركيز في المجال (5-100) ملغ/لتر و عند دالة حامضية تساوي 4.5 و درجة حرارة ثابتة تساوي 30 م°. تمّ تحديد تركيز شوارد الرصاص و الكروم المتبقية في المحلول. بينت النتائج أنّ زمن التماس بين شوارد المحلول الصناعي و الأوساط الرملية المدروسة و البالغ 24 ساعة كافياً للوصول إلى التركيز التوازني. كما وجد أنّ الإزالة العظمى لشوارد كل من الرصاص و الكروم على الأوساط الرملية تكون خلال 6 ساعات الأولى من زمن التماس، وأنّ الزيادة في الشوارد الممتازة طفيفة حتى 24 ساعة. تمّ الاستنتاج أنّ رمل البدروسية ذو فعّالية امتزازية أفضل من رمل القريتين، و أنّ انتقائية الأوساط الرملية المدروسة لشوارد الرصاص أفضل مقارنة بشوارد الكروم و تطابق معادلة منحنى امتزاز كل من شوارد الكروم و الرصاص على رملي البدروسية و القريتين مع معادلة لانغموير . Langmuire

الكلمات الدالّة: الإمتزاز، نظرية لانغموير، المعادن الثقيلة

### *Adsorption of Lead and Chromium from Aqueous Solutions by Using Syrian Sand- Kinetic Study*

#### Abstract

In this research study the effectiveness of removing heavy metal ions from aqueous solutions using sand in the area of Syrian villages and Alpedrosia. Aqueous solutions were used for each of the anthropogenic ions chromium and lead concentrations in (5-100) mg / l .and at pH = 4.5 and constant temperature T = 30°C was to determine the concentration of lead and chromium ions remaining in solution The results showed that the contact time between the ion solution is artificial and community sandy studied and the 24-hour enough "to reach a concentration equilibrium. It was found that removal majority of the ions of lead and chromium being staged on the sandy be within 6 hours the first time to seek, and that the increase in ions adsorbed slightly up to 24 hours, And conclude that the sand Alpedrosia very effective adsorption better than the sand villages, and that the selective media sand studied for ions lead better than Beward chrome and matches the equation curve adsorption of ions chromium and lead on the sandy Alpedrosia and villages with the equivalent to the Longmuir's theory.

**Key words:** Adsorption, Longmuir's theory, Heavy metal

#### المقدمة

صخرية مدبية لا تلبث أن تستدير نتيجة لنقلها

بالسيول و الأنهار ، و تتحول إلى حصى مستديرة لا

تحوي زوايا حادة .

الرمال عبارة عن صخور مفتتة ناتجة عن تأثير

التعرية على الصخور حيث تنتج في البداية كتل

قريب من 1، و استنتج أن منحنى الإمتزاز ينطبق على معادلتى لانغموير (Langmuire) و فريندليخ (Freundlich's) ، كانت انتقائية الرمل للمعادن الثقيلة المدروسة مرتبة كالتالي:  $Cd > Cr > Cu > pb$  .

درس ( Mustafa et.al.2008 )<sup>[3]</sup> عملية إزالة الكروم السداسي و الثلاثي من محاليله المائية باستخدام ثلاثة أنواع من رمال الإمارات العربية المتحدة (الأبيض و الأحمر و الأصفر)، حضرت المحاليل من ديكرومات البوتاسيوم ( $K_2CrO_4$ ) و كلور الكروم ( $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ ) بتركيز لشوارد الكروم 1000 ملغ/لتر لكل منهما. بينت الدراسة أن كفاءة إزالة الكروم السداسي من محاليله المائية منخفضة جداً لا تتجاوز 10% و لم يتلائم مع أي إيزوثيرم من نظريات الإمتزاز المعروفة، بينما كانت إزالة الكروم الثلاثي كلية بكافة أنواع الرمل عند دالة حامضية تساوي 5 و تطابقت نتائجهم مع معادلة لانغموير في درجة حرارة 25 م° كما وجد أن زمن الامتزاز الأمثل 3 ساعات، و التركيز السطحي الأعظمي للشوارد على الرمل يساوي 62.5 للأبيض، 9.80 للأصفر و 2.38 للأحمر.

درس ( Korfiatis et.al.2000 )<sup>[4]</sup> كفاءة المرشحات الرملية المنزلية في إزالة الزرنيخ من مياه الأبار الغنية بالسليكا والفوسفات في بنغلادش، أثبتت نتائج الدراسة كفاءة هذه المرشحات في خفض تركيز الزرنيخ بوجود هيدروكسيد الحديد كمخثر، وتبين أنه لخفض تركيز الزرنيخ في المياه من 300 ملغ/لتر إلى 50 ملغ/لتر يجب أن تكون النسبة (Fe/As=40).

درس ( Sharma et.al.2007 )<sup>[5]</sup> حركية إمتزاز الكروم السداسي على الرمل . تمت الدراسة عند شروط تجريبية هي تراكيز شوارد الكروم

أما الرمال الكوارتزية فهي عبارة عن حجارة متفككة مؤلفة غالباً من حبات الكوارتز، و تنتج عن حصيلة تأثير العوامل الطبيعية في الصخور الكوارتزية كالغرافيت. ومن الرمال ما يحتوي على كميات كبيرة من القطع الكلسية. وهي الرمال الناتجة عن تفتت صخور شاطئية كلسية كما في بعض رمال المنطقة الساحلية السورية ، وتوجد في هذه المنطقة رمال سوداء ناتجة عن تفتت صخور الشواطئ البازلتية (الشاطئ بين بانياس و طرطوس ) . كما توجد مائلة للأخضر تحتوي على معادن الأوليفين و هي ناتجة عن تفتت الصخور الخضراء كما في شاطئ رأس البسيط (البدروسية) ، إن للمعادن الثقيلة التي توجد في مياه الصرف الصناعي ( الكادميوم و الكروم و النحاس و النيكل....) مخاطر صحية لا يستهان بها بالنسبة للإنسان والحيوان، كما أنها تؤثر على المحاصيل التي تروى بهذه المياه. ففي معظم الحالات تتراكم هذه المعادن في المحصول، ويمكن أن تحدث تأثيرات ضارة بالإنسان أو الحيوان الذي يتناولها. تتصف شوارد المعادن بأنها ملوثات مقاومة للتغيرات يمكن أن تتحول إلى أشكال أخرى عن طريق التفاعلات التي تحدث، و لذلك يزداد تركيزها عن الحد المسموح به في التربة و المياه مؤدياً ذلك إلى تراكمها في البيئة وإلى دخولها في السلسلة الغذائية، مما يهدد العمليات البيولوجية و الحياة البشرية.

درس (Smith et.al.1998)<sup>[2]</sup> عملية إمتزاز المعادن الثقيلة في المرشحات الرملية، تمت الاختبارات على كل من الكادميوم و الكروم و الرصاص و النحاس، كما استخدم لكل معدن خمس تراكيز على الأقل عند شروط تجريبية هي دالة حامضية تساوي 7.5 و درجة حرارة ثابتة 22 م° و زمن تماس 4 ساعات ووجد أن معامل الإرتباط

على حبيبات كل من رملي البدروسية و القريتين و تأثير تغير العوامل التالية على عملية الإمتزاز:

1- التركيز الأولي للشوارد في المحلول الصناعي المستخدم للدراسة.

2- زمن التماس بين الشوارد و حبيبات رمل البدروسية و القريتين.

3- تحديد منحنيات الإمتزاز الحاصل على كل من رملي البدروسية و القريتين.

4-انتقائية كل من رملي البدروسية و القريتين لكل من شارديتي الكروم و الرصاص من المحلول الصناعي المُختَبَر، و ذلك عند شروط تجريبية هي دالة حامضية تساوي 4.5<sup>[8]</sup> و درجة حرارة ثابتة تساوي 30 م° و زمن تماس 24 ساعة

#### الجانب العملي

##### المواد المستخدمة في الدراسة التجريبية

تمّ استخدام أملاح نترات الرصاص  $Pb(NO_3)_2$  و نترات الكروم  $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  نقاوته 98% كمصدر أساسي لشارديتي الرصاص و الكروم ، حيث تمّ تحضير 2 ليتر من محلول مائي للملحين المذكورين يحوي تركيز متساوي لكل من شارديتي الرصاص و الكروم مقداره 5 ملغ/لتر.

كما تمّ ضبط الدالة الحامضية لهذه المحاليل عند القيمة 4.5 لكل من حمض الأزوت المركز  $HNO_3$  نقاوته 99 % و ماءات الصوديوم NaOH نقاوته 98 %.

أما الرمل السوري المستخدم في هذه الدراسة نوعين من الرمل تمّ إحضاره أحدهما من شمال الساحل السوري من منطقة رأس البسيط (البدروسية)، و النوع الآخر من البادية السورية من منطقة القريتين.

(7.84-1.05) ملغ/لتر و درجة حرارة  $(25 \pm 0.5)^\circ C$  ودالة حامضية تساوي 2.5 و سرعة خلط 100 دورة/دقيقة .

استنتج زيادة كفاءة الإزالة بانخفاض التركيز الأولي للكروم في المحلول الصناعي المختبر، كما سُجلت أعلى كفاءة 74.3% بعد 110 دقيقة، تطابقت النتائج التجريبية التي حصلوا عليها مع معادلة لانغموير .

درس (Baig et.al 2003)<sup>[6]</sup> كفاءة عمود من الرمل في إزالة الكروم من مياه المنصرفات الصناعية. تم استخدام محاليل صناعية ذات تراكيز (50- 250) ملغ/لتر وضمن مجال واسع للدالة الحامضية ومعدلات ترشيح مختلفة أيضا لمعرفة تأثيرها على كفاءة إزالة الكروم .

بينت النتائج التي أن كفاءة عمود الرمل في إزالة شوارد الكروم من محلوله المائي تعتمد على التركيز الأولي و قيمة الدالة الحامضية للمحلول، كما وجدوا أنّ نسبة الإزالة (89-100) %، و يعزى ذلك الى السعة الإمتزازية العالية للرمل و الألفة القوية بين ايونات الكروم و سطح حبيبات الرمل.

درس (Mckaveney et.al 1972)<sup>[7]</sup> قدرة المرشحات الرملية في التخلص من شوارد النحاس و الكاديوم و الزئبق و الزنك و الحديد و المغنيزيوم و الكالسيوم و السليكون و الباريوم باستخدام خلاط سيليكونية مثل  $Mg_2Si$  ،  $CaSiBa$  ،  $MgFeSi$  ،  $SiFe$  . بين الباحثون بأن سلوك هذه الخلاط السيليكونية في المنظومة المدروسة المؤلفة من طورين (صلب - سائل) يماثل سلوك المبادلات الأيونية.

#### هدف البحث

أجريت مجموعة من التجارب على الرمل المدروس بهدف دراسة حركية الإمتزاز الحاصل

## طريقة العمل

الجهاز المستخدم في هذه التجارب هو عبارة عن حاضنة تحتوي على منظم للحرارة و أربع مفاعلات بسعة 1250 مل ترتكز على قاعدة تحتوي على محرك كهرومغناطيسي .

تمّ تحضير الترمين محاليل صناعية ذات تركيز متساوي من شوارد الكروم و الرصاص وضمن القيم : ( 5 و 10 و 50 و 100) ملغ/لتر و دالة حامضية عند القيمة 4.5 . وُضعت المحاليل في المفاعلات الأربع. غُسلت كمية من رمل البديروسية جيداً بمياه منزوعة الشوارد ثم جُففت في فرن درجة حرارته 105 م° لمدة 24 ساعة. أُضيف 5 غرام من الرمل لكل مفاعل، ثمّ وضعت المفاعلات في الجهاز التجريبي المستخدم وضُبّطت درجة الحرارة عند 30 م°. أخذت عدة عينات خلال أزمنة مختلفة حتى ثبات تركيز الشوارد المتبقية في المحلول، ثمّ رُشحت و قيس تركيز الشوارد في الرّشاحة الناتجة باستخدام جهاز الامتصاص الذري. أعيدت التجربة باتباع نفس الخطوات على رمل القريتين. ثمّ نظمت النتائج ومثلت بيانياً.

## النتائج و المناقشة

## أ- رمل البديروسية

تبين النتائج في الشكلين (1) و (2) أنّ أقل تركيز للشوارد المتبقية عند التركيز 5 ملغ/لتر وهذا يدل على زيادة كفاءة الإزالة عند التراكيز المنخفضة، وأيضا يلاحظ أنّ زيادة كفاءة الإزالة مع زيادة زمن التماس و لكن حتى الزمن 24 ساعة حيث يصل المحلول إلى التركيز التوازني، هذا بالنسبة لشوارد الرصاص و الكروم على السواء. كما يلاحظ من الشكل (3) أنّ تركيز شوارد الرصاص المتبقية في المحلول أقل من شوارد الكروم عند كل التراكيز الأولية المدروسة.

## ب - رمل القريتين

تبين النتائج في الشكلين (4) و (5) أنّ أقل تركيز للشوارد المتبقية عند التركيز 5 ملغ/لتر، و هذا يدل على زيادة كفاءة الإزالة عند التراكيز المنخفضة، كذلك وجد زيادة كفاءة الإزالة مع زيادة زمن التماس و لكن هذا حتى الزمن 24 ساعة بعدها يصل المحلول إلى التركيز التوازني، هذا بالنسبة لشوارد الرصاص و الكروم على السواء. كما يلاحظ من الشكل (6) أنّ تركيز شوارد الرصاص المتبقية في المحلول أقل من شوارد الكروم عند كل التراكيز الأولية المدروسة للشوارد.

## تحديد منحنيات الامتزاز لشوارد الرصاص على الأوساط الرملية المدروسة

لتحديد منحنيات الإمتزاز الحاصلة و معرفة مدى تطابق هذه المنحنيات مع معادلة لاتغموير Langmuire الممثلة بالعلاقة :

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m \cdot K} \cdot \frac{1}{X}$$

حيث :

a : كتلة المادة الممتزة عند التوازن لكل غرام من

$$\frac{mg}{g}$$

الرمل

X : التركيز التوازني لشوارد المعدن الممتز في

$$\frac{mg}{l}$$

المحلول

am: التركيز السطحي الأعظمي لشوارد المعدن

$$\frac{mg}{g}$$

الممتز

K : ثابت توازن الامتزاز

حُسبت كتلة شوارد الرصاص الممتزة عند زمن التوازن البالغ 24 ساعة، و في التراكيز الأربعة المدروسة ( 5 و 10 و 50 و 100) ملغ/لتر، ثم حُسبت a كتلة المادة الممتزة عند التوازن لكل غرام من الرمل . نظمت النتائج في الجدولين (1) (2)

(6) يلاحظ من الجدولين (3) و (6) أنّ التركيز السطحي الأعظمي لشوارد الرصاص و الكروم الممتاز على رمل البدروسية أعلى منه لرمل القريتين، و هذا يدل على أنّ السعة الإمتزازية لرمل البدروسية أعلى من رمل القريتين. و ينسجم ما تم التوصل إليه في البحث مع نتائج (Smithet.al.1998)<sup>[2]</sup> و Mustafa (t.al.2008)<sup>[3]</sup> حيث وجدوا أنّ الإمتزاز على الرمل فيزيائي متساوي الدرجة و ينطبق على معادلة لانغموير .

#### الإستنتاجات

- 1- إنّ زمن التماس بين شوارد المحلول الصناعي و الأوساط الرملية المدروسة و البالغ 24 ساعة كافياً للوصول إلى التركيز التوازني
- 2- كانت الإزالة العظمى لشوارد كل من الرصاص و الكروم على الأوساط الرملية خلال 6 ساعات الأولى من زمن المعالجة، و الزيادة في الشوارد الممتازة طفيفة حتى 24 ساعة .
- 3- إنّ انتقائية الأوساط الرملية المدروسة لشوارد الرصاص أفضل مقارنة بشوارد الكروم.
- 4- أنّ التركيز السطحي الأعظمي لشوارد الرصاص و الكروم الممتاز على رمل البدروسية أعلى منه لرمل القريتين ، و هذا يدل على أنّ السعة الإمتزازية لرمل البدروسية أعلى من رمل القريتين.
- 5- تطابق معادلة منحنى امتزاز كل من شوارد الكروم و الرصاص على رمل البدروسية و القريتين مع معادلة لانغموير Langmuire، و يؤكد ذلك قيمة معامل الإرتباط المقاربة (1) لرمل البدروسية والقريتين.

بالنسبة لرمل البدروسية و القريتين على التوالي ثم رُسمت العلاقة بين  $\frac{1}{X}$  و  $\frac{1}{a}$  بالشكل (7). يلاحظ من الشكل (7) أنّ منحنى الإمتزاز خطي لكل من رمل البدروسية و القريتين، و هذا يدل على تطابق معادلة المنحني مع معادلة لانغموير Langmuire، و يؤكد ذلك قيمة معامل الإرتباط المقاربة للواحد R=0.999 لرمل البدروسية و R=0.988 لرمل القريتين المستنتجة من الشكل (7). كما تمّ استنتاج قيمة كل من ثابت الإمتزاز K و التركيز الأعظمي الحدّي am من ميل الخط و التقاطع و المبينة بالجدول (3).

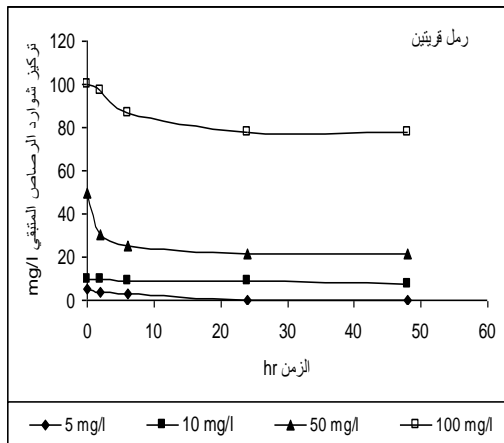
#### تحديد منحنيات الإمتزاز لشوارد الكروم على الأوساط الرملية المدروسة

لتحديد منحنيات الإمتزاز الحاصل و معرفة مدى تطابق هذه المنحنيات مع معادلة لانغموير Langmuire ، حُسبت كتلة شوارد الكروم الممتازة عند زمن التوازن البالغ 24 ساعة، و ذلك عند التراكيز الأربعة المدروسة (5 و 10 و 50 و 100) ملغ/لتر، ثم حُسبت a كتلة المادة الممتازة عند التوازن لكل غرام من الرمل. . نظمت النتائج في الجدولين (4) (5) بالنسبة لرمل البدروسية و القريتين، ثمّ رُسمت العلاقة بين  $\frac{1}{X}$  و  $\frac{1}{a}$  بالشكل (8) حيث يلاحظ من الشكل ان منحنى الإمتزاز خطي لشوارد الكروم على كل من رمل البدروسية و القريتين، و هذا يدل على تطابق معادلة المنحني مع معادلة لانغموير Langmuire، و يؤكد ذلك قيمة معامل الإرتباط العالية R=0.998 لرمل البدروسية و R=0.990 لرمل القريتين المستنتجة من الشكل (8)، كما تمّ استنتاج قيمة كل من ثابت الإمتزاز K و التركيز السطحي الأعظمي من ميل الخط و التقاطع و هي مبينة في الجدول

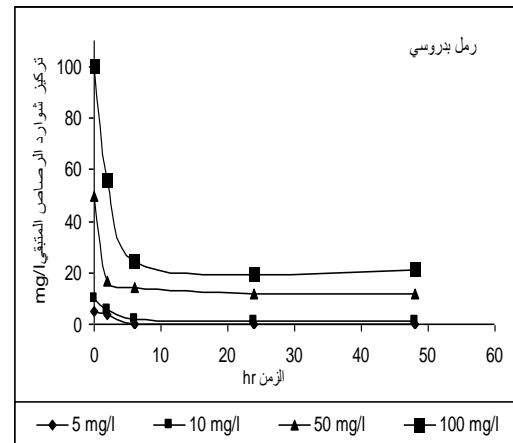
8. أ.د. شاهين هيثم ، د. غفر محمد " دراسة  
معامل توزع بعض الملوثات في منظومة  
ذات طورين : صلب ( رمال الساحل  
السوري )- سائل (مياه الشرب و الصرف  
الصحي)" المعهد العالي لبحوث البيئة -  
جامعة تشرين -2006.

## المصادر

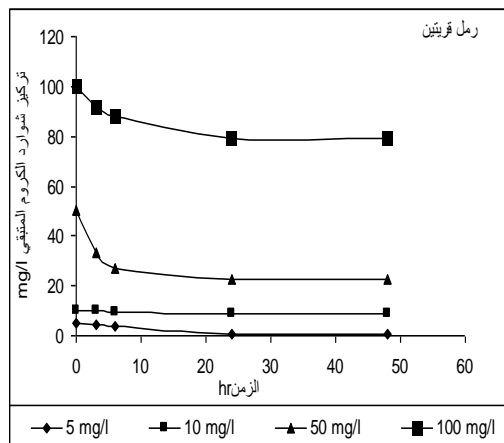
1. Gelsenconsult:G.M.B.H,German y Company "sand preparation plant feasibility study" Syrian Arab Republic Ministry of Petroleum and Mineral Resources the General Establishment of Geology and Mineral Resources,1985.
2. SMITH,PARR,J.MICHAEL,D. MUHAMMAD,N And ANDRREW "Adsorption of Heavy Metals in Slow Sand Filters "J. Sanitation and water for all,24th WEDC, conferences (346-349), 1998.
3. MUSTAFA.K ,FAWWAZ.J and NASER.A "Speciation and Removal of Chromium from Aqueous Solution by White, Yellow and Red UAE Sand" Journal of Hazardous Materials 169 ,page :948-952, 2009.
4. MENG.X and KORFIATIS,G. P ."Removal of Arsenic from Bangladesh Well Water Using a Household Filtration System" Center for Environ. Engg. Stevens Institute of Technology, Hoboken NJ 07030, USA,2002.
5. SHARMAY.C.,H. WENG, C..H "Removal of chromium(VI) from water and wastewater by using riverbed sand: Kinetic and equilibrium studies" Journal of Hazardous Materials 142,pag( 449-454). 2007 .
6. BAIG. A.; MEHMOOD.B and Matin, A." Removal of Chromium from Industrial Effluents by Sand Filtration" Electron. J. of Environ. Agric. Food Chem., 2, 3,pag: 347-379,2003.
7. MCKAVENY ; J.P, "Environmental Science Technology" 1972 .



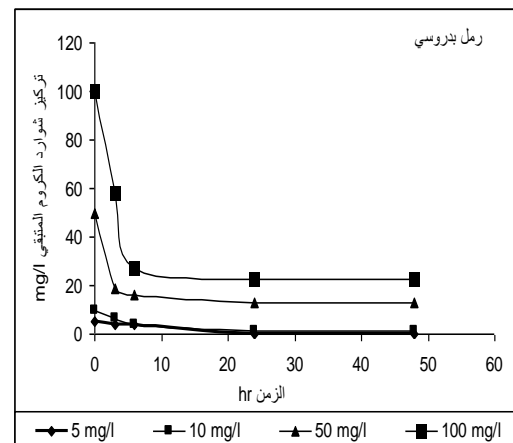
الشكل (4) تأثير تغير زمن التماس على تركيز شوارد الرصاص المتبقية في المحلول عند الإمتزاز على رمل القريتين



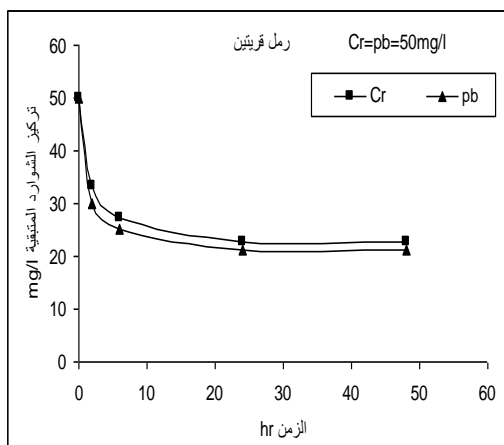
الشكل (1) تأثير تغير زمن التماس على تركيز شوارد الرصاص المتبقية في المحلول عند الإمتزاز على رمل البدروسية



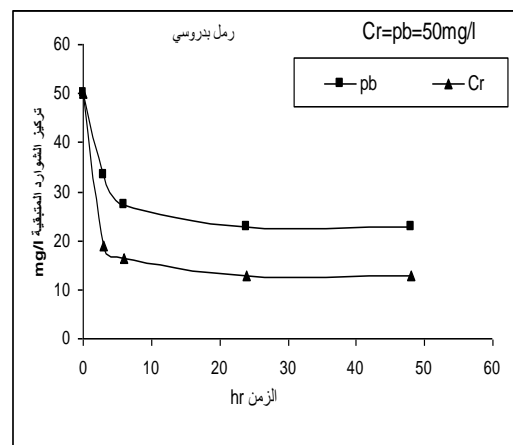
الشكل (5) تأثير تغير زمن التماس على تركيز شوارد الكروم المتبقية في المحلول عند الإمتزاز على رمل القريتين



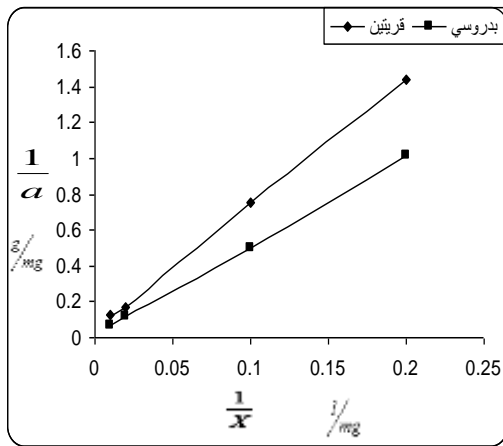
الشكل (2) تأثير تغير زمن التماس على تركيز شوارد الكروم المتبقية في المحلول عند الإمتزاز على رمل البدروسية



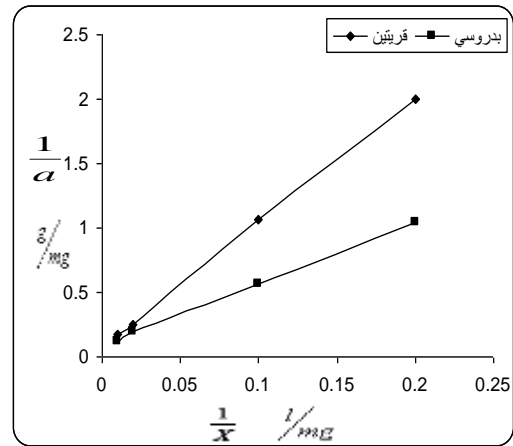
الشكل (6) انتقائية رمل القريتين لكل من شوارد الكروم و الرصاص عند التركيز 50mg/l للشوارد



الشكل (3) انتقائية رمل البدروسية لكل من شوارد الكروم و الرصاص عند التركيز 50mg/l للشوارد



الشكل (8) منحنى إمتزاز شوارد الرصاص لكل من رملي البدرسية و القريتين



الشكل (7) منحنى إمتزاز شوارد الكروم لكل من رملي البدرسية و القريتين

الجدول (1) إحدائيات منحنى الإمتزاز لأجل عدة تراكيز لشوارد الرصاص على رمل البدرسية

التركيز التوازني لشوارد الرصاص في المحلول X $\frac{mg}{l}$	الكتلة الممتزة من شوارد الرصاص في المحلول mg	كتلة شوارد الرصاص المتتزة عند التوازن لكل غرام من الرمل a $\left[ \frac{mg}{g} \right]$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{X}$
5	4.88	0.98	1.02	0.2
10	9.00	1.80	0.50	0.1
50	38.5	7.70	0.12	0.02
100	70.10	14.02	0.07	0.01

الجدول (2) إحدائيات منحنى الإمتزاز لأجل عدة تراكيز لشوارد الرصاص على رمل القريتين

التركيز التوازني لشوارد الرصاص في المحلول X $\frac{mg}{l}$	الكتلة الممتزة من شوارد الرصاص في المحلول mg	كتلة شوارد الرصاص المتتزة عند التوازن لكل غرام من الرمل a $\left[ \frac{mg}{g} \right]$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{X}$
5	4.79	0.96	1.44	0.2
10	5.67	1.13	0.88	0.1
50	28.85	5.77	0.17	0.02
100	38.75	7.75	0.13	0.01



الجدول (3) ثوابت منحني إمتزاز شوارد الرصاص على كل من رملي البدروسية و القريتين k

رمل قريتين	رمل بدروسية	ثوابت منحني الإمتزاز
0.990	80.99	معامل الإرتباط
0.005	0.006	ثابت الإمتزاز K
13.88	33.33	التركيز السطحي am الأعظمي [ mg/g ]

الجدول (4) إحداثيات منحني الإمتزاز لأجل عدة تراكيز لشوارد الكروم على رمل البدروسية

التركيز التوازني لشوارد الكروم في المحلول X $\frac{mg}{l}$	الكتلة الممتزة من شوارد الكروم في المحلول mg	كتلة شوارد الكروم الممتزة عند التوازن لكل غرام من الرمل a $\left[ \frac{mg}{g} \right]$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{X}$
5	4.79	0.96	1.04	0.2
10	8.79	1.76	0.57	0.1
50	37.13	7.43	0.13	0.02
100	77.70	15.54	0.06	0.01

الجدول (5) إحداثيات منحني الإمتزاز لأجل عدة تراكيز لشوارد الكروم على رمل القريتين

التركيز التوازني لشوارد الكروم في المحلول X $\frac{mg}{l}$	الكتلة الممتزة من شوارد الكروم في المحلول mg	كتلة شوارد الكروم الممتزة عند التوازن لكل غرام من الرمل a $\left[ \frac{mg}{g} \right]$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{X}$
5	2.50	0.50	2.00	0.2
10	4.25	0.85	1.17	0.1
50	27.35	5.74	0.17	0.02
100	31.78	6.36	0.16	0.01

الجدول (6) ثوابت منحني إمتزاز شوارد الكروم على كل من رملي البدروسية و القريتين