

Determination of the Optimum Conditions for Hexavalent Chromium Removal Using Nano-Aluminum Ferrihydrite

Dr. Areej Adra^{*}
Dr. Ibrahem raheb^{**}
Dina Kussa Kahlil^{***}

(Received 13 / 1 / 2022. Accepted 25 / 8 /2022)

□ ABSTRACT □

In this research, aluminum ferrihydrite , Al/Fe=0.3, was prepared in the laboratory, in addition to studying the optimal conditions for removing hexa-chromium from aqueous solutions (contact time, pH, dose, competitor ion effect), the adsorption isotherm and adsorption model were studied.

The results showed that the equilibrium occurred at a contact time of 5 hours and the appropriate pH for adsorption was pH =5-6 where at this value the surface of the ferrihydrite is positively charged and this is suitable for chromate adsorption.the percentage of chromium removal was من 68%، %50.71، 32.8% at concentrations (100,250,500) ppm straight.

The results of the obstructed anion study also showed that the presence of the phosphate moiety hinders the removal of chromates.

The data resulting from the adsorption curves were processed according to Langmuir and Freundlich models, and it was found that the adsorption process occurs in a monolayer according to Langmuir.

Keywords: aluminum ferrihydrite, adsorption, pH, hexachromium, phosphate.

^{*} Assistant Professor - Department of Environmental Chemistry - Higher Institute for Environmental Research - Tishreen University – Lattakia, Syria. Email: areejadra@gmail.com

^{**} Professor - Department of physical Chemistry - faculty of science- Tishreen University – Lattakia, Syria. Email: Raheb6@gmail.com

^{***} Master student - Department of Environmental Chemistry - Higher Institute for Environmental Research - Tishreen University – Lattakia, Syria. khildina8@gmail.com

تحديد الشروط المثلى لإزالة الكروم السداسي باستخدام الفيرهيدريت الألمنيومي النانوي

د. أريج عدرة*

د. إبراهيم راهب**

دينا كوسة خليل***

(تاريخ الإيداع 13 / 1 / 2022. قُبِلَ للنشر في 25 / 8 / 2022)

□ ملخص □

تم في هذا البحث تحضير الفيرهيدريت الألمنيومي مخبرياً $Al/Fe=0.3$ بالإضافة إلى دراسة الشروط المثلى لإزالة الكروم السداسي من المحاليل المائية (زمن التماس - pH الوسط - الجرعة - تأثير أيون منافس) كما تمت دراسة منحنى الامتزاز ونموذج الامتزاز. أوضحت النتائج أن التوازن يحدث عند زمن خمس ساعات وذلك عند قيمة $pH=5-6$ حيث يكون سطح الفيرهيدريت مشحوناً بشحنة موجبة وهذا مناسب لامتزاز الكرومات (CrO_4^{2-})، حيث بلغت نسبة إزالة الكروم 68%، 50.71%، 32.8% من أجل التراكيز المستخدمة للكروم السداسي (500,250,100) ppm على الترتيب وذلك عند إضافة كمية قليلة من الفيرهيدريت الألمنيومي (0.1g)، تمت معالجة البيانات الناتجة عن منحنيات الامتزاز وفق نموذج لانغموير وفرندلش وتبين أن عملية الامتزاز تحدث بشكل أحادي الطبقة وفق نموذج لانغموير. كما دُرِس تأثير الأيون المنافس وتبين أن وجود أيون الفوسفات يعيق امتزاز الكرومات (CrO_4^{2-}) على سطح الفيرهيدريت الألمنيومي النانوي.

الكلمات المفتاحية: الفيرهيدريت الألمنيومي، امتزاز، الكروم السداسي، pH، فوسفات

* مدرس - قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية Email: areejadra@gmail.com

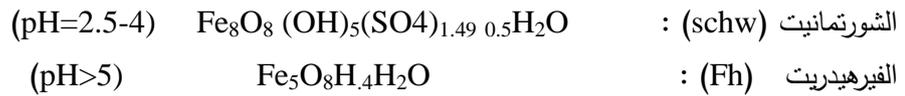
**أستاذ - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية Email: Raheb6@gmail.com

***طالبة ماجستير - قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية. Email: khilidina8@gmail.com

مقدمة:

تتزايد يوماً بعد يوم نسبة العديد من العناصر الثقيلة في المنظومة البيئية مثل الكروم والزرنيخ والانتيموان والرصاص.. الخ، وذلك نتيجة التطور السريع للصناعات المتعددة في السنوات الأخيرة، مثل صناعة البطاريات والدباغة والطباعة والصباعة والأخشاب... الخ (Gohnston et al., 2014). تكمن خطورة هذه العناصر في أثرها التراكمي وعدم قابليتها للتحلل و انتقالها في السلسلة الغذائية للإنسان وما لذلك من تأثير على صحته. يشكل عنصر الكروم أحد العناصر الخطيرة عند وجوده في البيئة لتأثيره السام والمسرطن، وخاصة عند وجوده في حالة الأكسدة العليا (الكروم السداسي) وهو أشد سمية من الكروم الثلاثي بسبب قدرته المؤكسدة وإمكانية انتشاره السريع (Ni et al., 2016). يوجد الكروم السداسي بأشكال كيميائية مختلفة تبعاً لتغير قيمة درجة الحموضة (HCrO_4^-), $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} . وقد طورت طرائق متنوعة لإزالة الكروم السداسي من مياه الشرب والصرف الصناعي والصحي والتي تتضمن الترسيب، التعقيد، التبادل الأيوني، الامتزاز (Wan et al., 2017 ; Zhang et al., 2017)، حيث تعد عملية الإمتزاز من الطرائق الأكثر استخداماً والأقل تكلفة، تساهم بالحد من حركة الكروم في المياه (Liu and huang, 2011 ; Lan et al., 2010)، وتتوقف عملية الامتزاز على مساحة سطح الطور الماز ومدى ألفته للعنصر الملوث.

تم استخدام كثير من المواد المازة لإزالة الكروم السداسي من المياه مثل خامات الزيوليت (Mthombeni et al., 2015)، البنتونايت (Shi et al., 2011)، الكربون الفعال وأكاسيد المعادن كالحديد والالمنيوم (Ni et al., 2016). ويعد الفيريهيدريت ($\text{Fe}_5\text{O}_8\text{H}_4\text{H}_2\text{O}$) Ferrhydrite (Jambor and dutrizac, 1998) أحد أهم أوكسي هيدروكسيدات الحديد النانوية المستخدمة لامتزاز العناصر الثقيلة بما فيها الكروم وذلك نظراً لمساحة سطحه النوعية الكبيرة $(200-600)\text{m}^2/\text{g}$. يتميز الفيريهيدريت ببنيته الأمورفية وبأنه ذو حبيبات دقيقة جداً من رتبة النانومتر (2-6) nm، وهو يتوافر بكثرة في الطبيعة و يترسب في الوسط المائي عند الأكسدة السريعة للحديد الثنائي Fe^{+2} إلى الحديد الثلاثي Fe^{+3} ، أو في حال التعادل السريع للوسط الحامضي. ولكن عند قيم $(\text{pH} < 2)$ يكون الحديد الثنائي منحللاً و يتأكسد الى الحديد الثلاثي و يترسب على هيئة فلزات، منها:



ونادراً ما يوجد الفيريهيدريت بشكله النقي في الأوساط الطبيعية حيث غالباً ما يكون مشوباً ببعض الشوائب والتي يمكن أن تؤثر على بنيته واستقراره وكذلك على خواصه السطحية؛ مما يؤثر على قابليته لإزالة الملوثات (Adra et al., 2013; 2016). وقد بينت الأبحاث أن الاستبدال الأيوني للحديد Fe^{3+} بالألمنيوم Al^{3+} في بنية الفيريهيدريت له تأثير ملحوظ على خصائصه؛ حيث إن وجود الألمنيوم يزيد من استقرار الفيريهيدريت ويؤخر تحوله إلى أطوار بلورية أكثر استقراراً (غوتايت-هيماتيت) كما يزيد من مراكز الامتزاز الفعالة لامتزاز العناصر الثقيلة كالزرنيخ والكروم (Ni et al., 2016; Adra et al., 2016; 2013).

أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في استخدام الفيريهيدريت الألمنيومي النانوي كطور ماز لإزالة الكروم السداسي ومن هنا أنت أهداف الدراسة في:

- 1- تحضير الفيريهيدريت الألمنيومي.
- 2- تحديد الشروط المثلى لإزالة الكروم السداسي (درجة pH - الزمن - الجرعة - التركيز الابتدائي).
- 3- تحديد نموذج الامتزاز

طرائق البحث ومواده:

1. تحضير عينات الفيريهيدريت الألمنيومي:

تم تحضير الفيريهيدريت وفق الطريقة المقترحة من قبل (Adra et al., 2013) بطريقة الترسيب من المحلول المائي لنترات الحديد $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ و نترات الألمنيوم $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ وذلك بعد مزج المحلول المائي لكل من الألمنيوم والحديد بحيث كانت النسبة $Al/Fe = 0.3$ ومن ثم إضافة العامل المرسب (KOH , 1M) حتى تصل قيمة pH الوسط إلى 7-8 مع التحريك المستمر لمدة 30/ ثلاثين دقيقة ثم فصل الراسب الناتج بطريقة الطرد المركزي ومن ثم غسله بالماء المقطر و التجفيف عند درجة حرارة الغرفة (25C). أجريت عملية طحن الراسب وحفظه في أوعية محكمة الإغلاق لإجراء التجارب اللاحقة، علماً أن الفيريهيدريت الألمنيومي تم توصيفه سابقاً من قبل (Adra et al., 2013).

2. دراسة الشروط المثلى لامتزاز الكروم السداسي:

تم تحضير محاليل مختلفة التركيز (100-250-500) ppm للكروم السداسي بطريقة التمديد انطلاقاً من المحلول الأم المحضر ذي التركيز 2000 ppm باستخدام ماء منزوع الشوارد . دُرس تأثير كل من العوامل الآتية على عملية امتزاز الفيريهيدريت الألمنيومي النانوي للكروم السداسي:

زمن التماس : تمت دراسة تغيرات نسبة إزالة الكروم السداسي و كمية الامتزاز وذلك عند أزمنة مختلفة

$$\text{Time}=(1-2-3-4-5-6-18-24)\text{hours}$$

تأثير (pH): تمت دراسة تغيرات نسبة إزالة الكروم السداسي كتابع ل pH الوسط وذلك عند قيم pH مختلفة

$$\text{pH}=(5.5-8-10-12-14)$$

تأثير شاردة منافسة : تمت دراسة تغيرات نسبة الإزالة للكروم السداسي كتابع لتركيز الشاردة المنافسة (شاردة الفوسفات) عند قيم مختلفة للتركيز

$$C=(10-20-30-40-50)\text{ppm}$$

تأثير جرعة الفيريهيدريت الألمنيومي النانوي: تمت دراسة تغيرات نسبة إزالة الكروم السداسي وكمية الامتزاز كتابع لكمية الفيريهيدريت الألمنيومي وذلك باستخدام كميات مختلفة من الفيريهيدريت الألمنيومي

$$m=(0.05-0.1-0.2-0.25-0.3)\text{g}$$

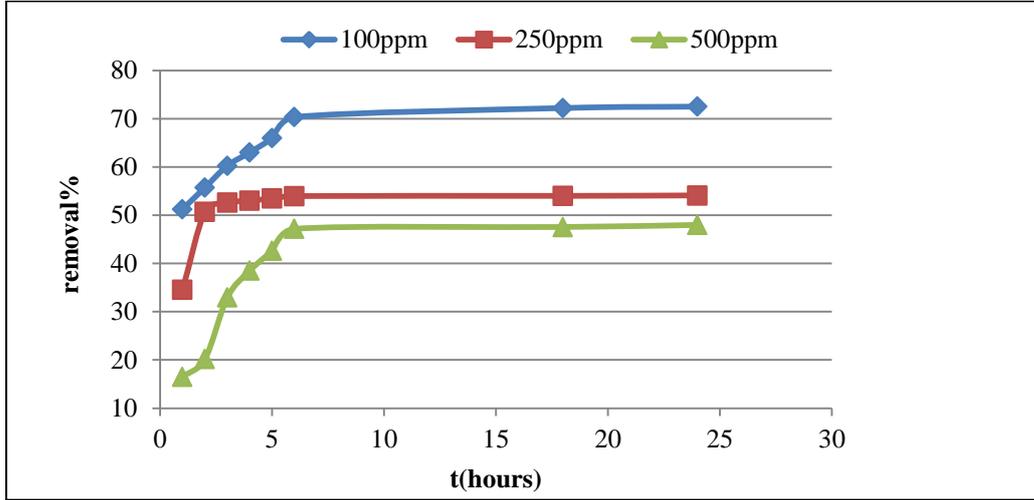
3. توصيف عملية الامتزاز:

منحني الامتزاز: تمت دراسة تغيرات كمية الامتزاز كتابع للتركيز الابتدائي للكروم السداسي وذلك عند قيم مختلفة للتركيز الابتدائي (C_i) للكروم السداسي : $C_i=(100-250-500-750-1000)$ ppm، وتمت معالجة بيانات الامتزاز وفق نموذجي لانغمير وفرندلش لتحديد نوع الامتزاز.

النتائج والمناقشة:

1. تحديد زمن التماس:

يعد زمن التماس (t) من العوامل المهمة في دراسة عمليات الإزالة للعناصر والمركبات من المحاليل، تم تحديد زمن التماس لإزالة الكروم السداسي باستخدام الفيرهيديريت الألمنيومي النانوي وفق الشروط الموضحة في الشكل (1)

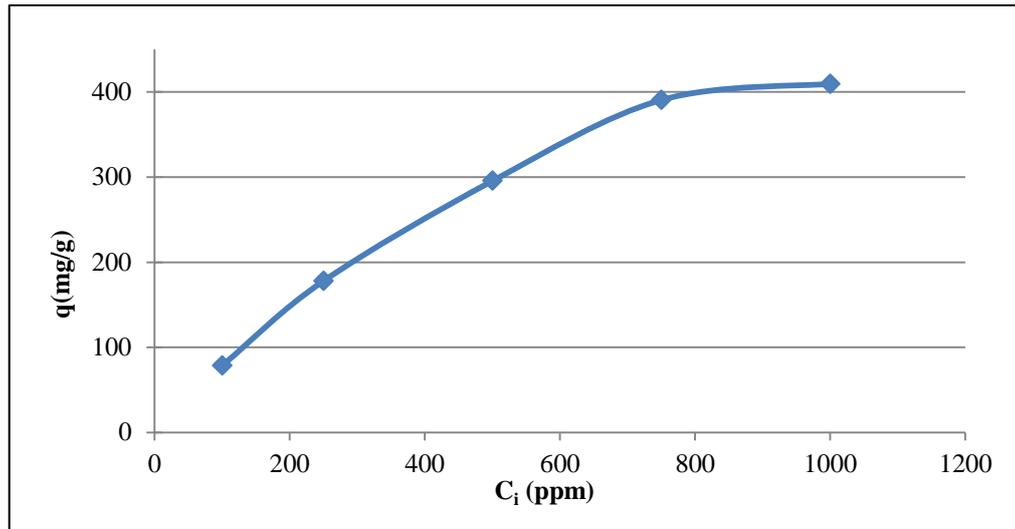


الشكل (1): يوضح تغير نسبة إزالة الكروم السداسي (%) كتابع للزمن (m=0.1g, V=100ml, pH=5.5, T=298k.)

يبين الشكل (1) ازدياد نسبة الإزالة Removal(%) بتابعية الزمن (t) عند جميع قيم التراكيز المستخدمة للكروم السداسي، ويظهر من الشكل (1) ازدياد واضح لعملية الإزالة في بداية الزمن ثم يصل المنحني إلى عتبة تتباطأ بعدها عملية الإزالة. تصل نسبة الإزالة للكروم السداسي من أجل كل قيم التراكيز المستخدمة إلى قيمة عظمى وذلك بعد خمس ساعات من عملية التماس بين الماز والممتز، وسيستخدم هذا الزمن في جميع التجارب اللاحقة. يعزى الازدياد في نسبة الإزالة مع تغير الزمن إلى أن المواقع الامتزازية تكون فارغة وبالتالي تستطيع استقطاب أيونات الكروم السداسي بسرعة ومن ثم يتناقص عدد هذه المراكز الفارغة وتتباطأ عملية الإزالة. كما نلاحظ أن نسبة الإزالة تكون أعلى عند قيمة التركيز المنخفضة للكروم السداسي ثم تتناقص بازدياد التركيز، ويعزى ذلك إلى حرية حركة أيونات الكروم في المحلول منخفض التركيز بالإضافة إلى أن نسبة المراكز الفعالة إلى عدد الأيونات المزالة تكون أكبر في حالة التركيز المنخفض.

2. منحني الامتزاز وتأثير التركيز الابتدائي:

يعبر منحني الامتزاز عن تغير كمية الامتزاز q(mg/g) بتابعية التركيز للأيونات في المحلول. نلاحظ من الشكل (2) ازدياد الكمية الممتزة بازدياد تركيز الكروم السداسي عند الدرجة (298K). تزداد كمية الامتزاز تدريجياً بازدياد التركيز لتصل إلى قيمة عظمى عند التركيز (1000ppm) ويعزى ذلك إلى أنه في حالة التركيز المنخفض للكروم السداسي لا يتم إشباع جميع المراكز الامتزازية حيث يكون عدد من هذه المراكز غير مشغول، ومع ازدياد التركيز يتم إشغال هذه المراكز و تزداد كمية الامتزاز.



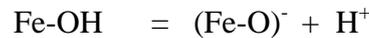
الشكل (2): يوضح منحنى الامتزاز (m=0.1g, V=100ml, pH=5.5, t=5h, T=298K)

3 . دراسة تأثير قيمة pH الوسط:

تؤثر قيمة pH الوسط على عملية الامتزاز من خلال تأثيرها على الشحنة السطحية للمادة الصلبة المازة. ففي الأوساط المائية، يتغطى سطح الفيروكسيدات الألومنيومي بمجموعة الهيدروكسيل الناتجة عن تفكك جزيئات الماء، فشحنة السطح تنتج من تبادل البروتونات بين سطح الفيروكسيدات والماء وذلك اعتماداً على درجة الـ pH حيث تسلك مجموعه الهيدروكسيل سلوكاً متذبذباً، فعندما تتناقص قيمة الـ pH (الوسط حامضي) فإن مجموعة OH⁻ يكون لها القدرة على النقاط بروتون (H⁺) واكتساب شحنة موجبة فيصبح السطح موجب الشحنة:



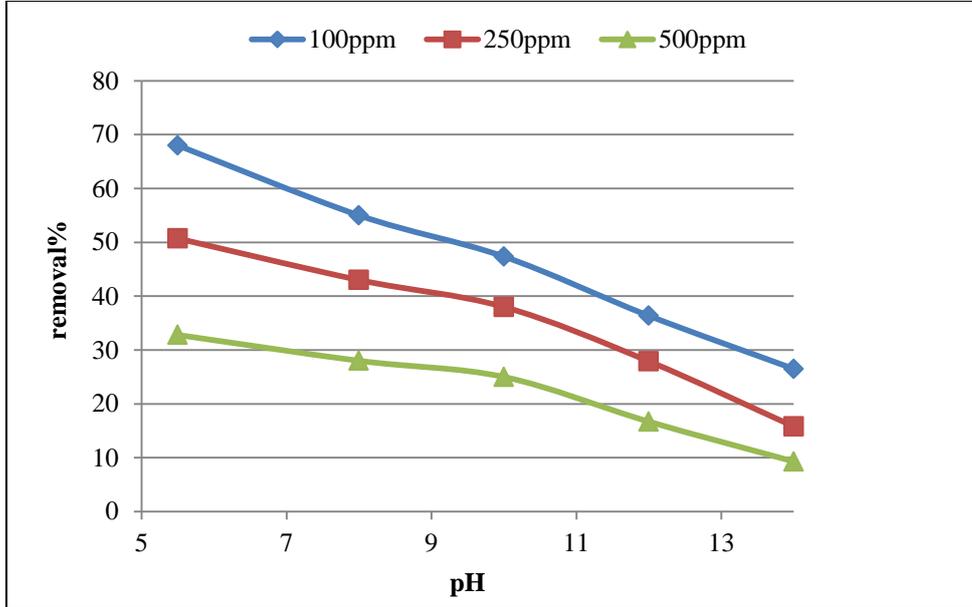
ومع ازدياد قيمة الـ pH فإن مجموعة OH⁻ تفقد بروتوناً وتكتسب شحنة سالبة، فيصبح السطح سالب الشحنة:



وقد يكون السطح متعادل الشحنة (الشحنة مساوية الصفر) وهذا يتوافق مع درجة pH معينة لكل مركب ويُرمز حينئذٍ لـ pH الوسط بـ pH_{pzc} (نقطة الشحنة الصفرية pzc). حُدثت قيمه الـ pH للفيروكسيدات التي يكون عندها سطحه متعادل الشحنة بين 7.2-8.5 (Masue et al., 2007)، من ناحية ثانية، تؤثر قيمة pH الوسط على شكل الكروم السداسي في المحلول حيث إنه عند قيمة (pH>5.5) الذي سَجُرَى عندها تجارب الامتزاز يوجد الكروم السداسي على هيئة شاردة الكرومات (CrO₄²⁻). نلاحظ من الشكل (3) انخفاض نسبة الإزالة للكروم السداسي (Removal%) من 68%، 50.71%، 32.8% من أجل التراكيز المستخدمة للكروم السداسي (100,250,500) ppm على الترتيب إلى 26.5%، 15.8%، 9.3% وذلك مع ارتفاع قيمة pH الوسط من 5.5 حتى 14. ويمكن تفسير انخفاض نسبة إزالة الكروم السداسي مع ارتفاع قيمة pH الوسط على النحو الآتي :

آ- في الوسط الحمضي (pH<7): تكون قيمة pH الوسط أقل من قيمة pH_{pzc} (التي تبلغ 7.3 للفيروكسيدات) يكون السطح الماز مشحوناً بشحنة موجبة، الأمر الذي يؤدي إلى ازدياد عدد المراكز الفعالة المتاحة لامتزاز أيونات الكرومات السالبة (CrO₄²⁻).

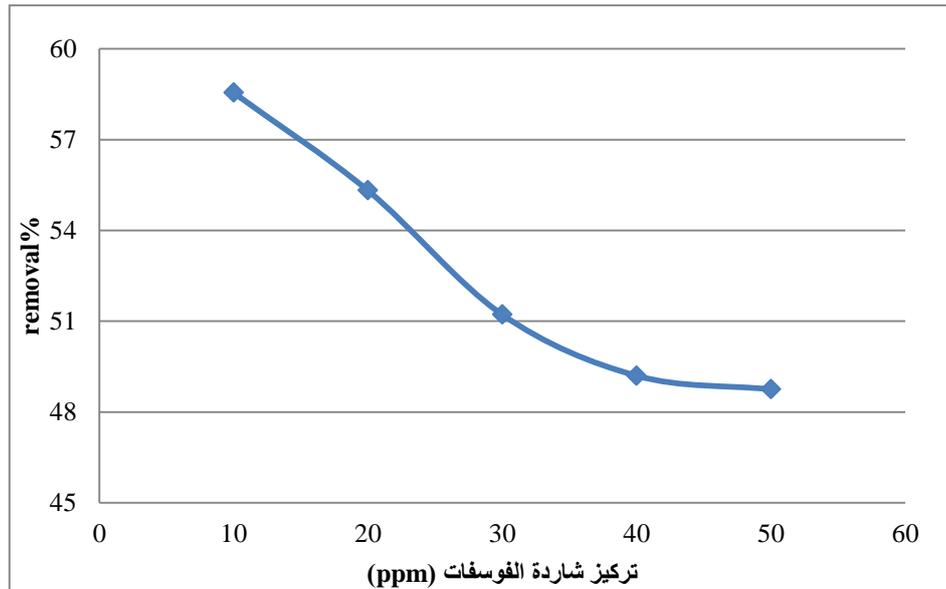
ب- في الوسط القلوي ($pH > 7$): تكون قيمة pH الوسط أكبر من قيمة pH_{pzc} ، ويكون السطح المازّ مشحوناً بشحنة سالبة، الأمر الذي يؤدي إلى تنافر أيونات الكرومات (CrO_4^{2-}) مع السطح وبالتالي تناقص عدد المراكز الفعالة لامتناز أيونات الكرومات (CrO_4^{2-})، وهذه النتيجة تتطابق مع الدراسات السابقة؛ (Zhu *et al.*, 2018 ; Cismasu *et al.*, 2013 ; Ajoued *et al.*, 2010)



الشكل (3): تغير نسبة إزالة الكروم السداسي (%) كتابع لـ pH الوسط ($V=100ml$, $t=5h$, $m=0.1g$, $T=298k$)

4. دراسة تأثير شاردة منافسة (شاردة الفوسفات):

تمت دراسة تأثير أيونات الفوسفات على تغير نسبة إزالة الكروم السداسي حيث تبين أن وجود أيون الفوسفات (PO_4^{2-}) يؤثر سلباً على عملية إزالة الكروم السداسي حيث لوحظ كما في الشكل (4) انخفاض في نسبة إزالة الكروم السداسي من 58.55% وحتى 48.75% وذلك عند إضافة الفوسفات بتركيز متدرجة من (10-50 ppm). ويعزى ذلك إلى أن أيونات الفوسفات تنافس الكرومات على المواقع الامتزازية الفعالة على سطح الفيرهيدريت، وهذه النتيجة تتطابق مع دراسة سابقة (Zhu *et al.*, 2018) .

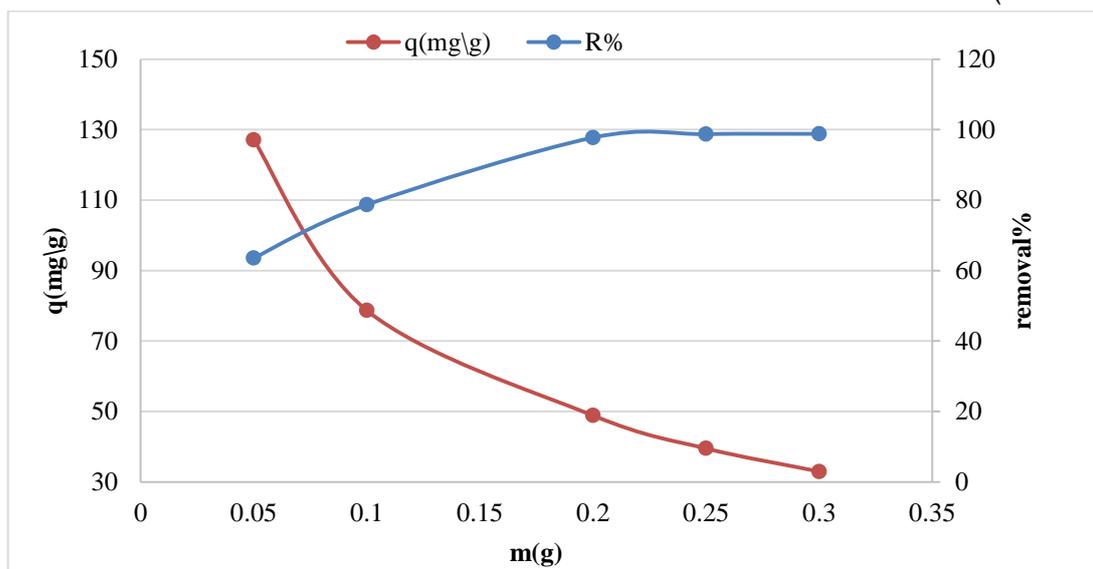


الشكل (4) : تأثير وجود شاردة الفوسفات على نسبة إزالة الكروم السداسي (%)

($m=0.1g$, $V=100ml$, $pH=5.5$, $t=5h$, $ci=100ppm$, $T=298k$)

5. دراسة تأثير كمية المادة المازة:

تعد كمية المادة الصلبة المازة ($m(g)$) من العوامل المؤثرة في عملية الامتزاز من المحاليل وينبغي أن تكون كمية المادة المازة مناسبة لإزالة الملوثات. يوضح الشكل (5) ازدياد نسبة إزالة الكروم السداسي بشكل خطي تقريباً مع ازدياد كمية الفيريهيدريت لتصل إلى 97.73% عند القيمة 0.2g و بعد ذلك يصبح الازدياد في نسبة إزالة الكروم السداسي طفيفاً. يعزى الازدياد الملحوظ في نسبة إزالة الكروم السداسي مع ازدياد الفيريهيدريت إلى ازدياد عدد المواقع الامتزازية على السطح بازدياد كمية المادة المازة، مما يسمح بامتزاز كميات أكبر من (CrO_4^{2-}). (Hamed *et al.*, 2016 ; Yousef *et al.*, 2011).



الشكل (5) : تغير نسبة إزالة الكروم السداسي (%) و كمية الامتزاز (mg/g) بتابعية كمية الفيريهيدريت المضاف (g)

($V=100ml$, $pH=5.5$, $t=5h$, $ci=100ppm$, $T=298k$)

أما التغيير الطفيف في نسبة الإزالة للكروم السداسي بعد القيمة 0.2g فيعزى إلى إشباع مراكز الارتباط وعدم قدرتها على امتزاز مزيد من أيونات (CrO_4^{2-}) بالسرعة السابقة. ويكلام آخر، عند ازدياد كمية المادة المازة يزداد عدد المراكز الامتزازية الفعالة المتاحة بالنسبة لتركيز أيونات الكرومات في المحلول ، وهذا ما يؤدي إلى تناقص كمية المادة الممتزة (منسوبة إلى كتلة المادة الصلبة المازة، وهي الفيرهيديريت الألمنيومي في دراستنا هذه).

6. دراسة منحنى الامتزاز:

يعبر منحنى الامتزاز عن تغير كمية الامتزاز بتابعة التركيز عند درجة حرارة ثابتة ويعد منحنى الامتزاز مهم جداً لفهم عملية الامتزاز حيث يعطي معلومات فيزيوكيميائية ضرورية. ومن أجل الحصول على معلومات لفهم عملية الامتزاز تتم معالجة بيانات الامتزاز التي تم الحصول عليها وفق نماذج رياضية أهمها لانغموير وفرندلش كما بالشكلين (6) و (7).

1.6. نموذج لانغموير:

تستخدم معادلة لانغموير لوصف الامتزاز على السطوح المتجانسة.

يعبر عن نموذج لانغموير الموضح بالشكل (6) بمعادلة خطية على النحو الآتي:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max}} * \frac{1}{kl} * \frac{1}{ce}$$

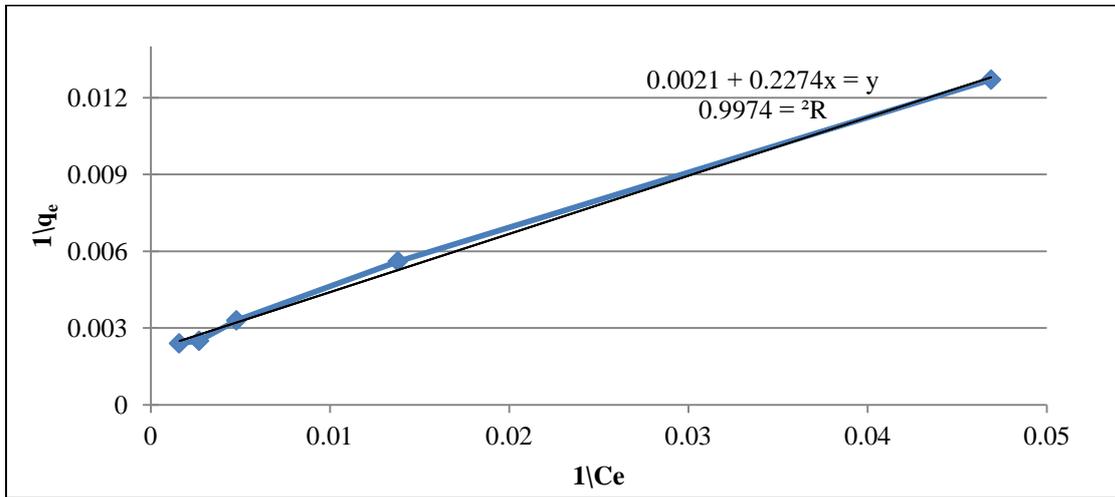
q(mg/g) كمية الامتزاز التوازنية

q_{max} (mg/g) السعة الامتزازية العظمى

C_e (ppm) التركيز التوازني للكروم بعد الامتزاز

KI(L/g) ثابت التوازن الامتزازي (ثابت لانغموير) وهو يعبر عن الالفة بين الماز والممتز

وبرسم تغيرات $\frac{1}{q}$ بتابعة $\frac{1}{ce}$ يمكن تعيين قيمة الامتزاز العظمى q_{max} وثابت لانغموير kl .



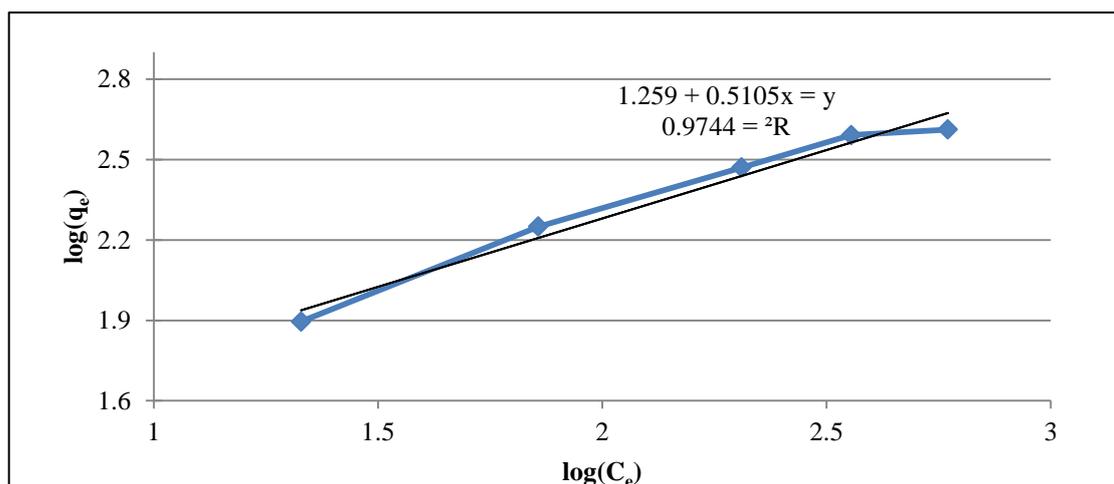
الشكل (6) : منحنى الامتزاز وفق نموذج لانغموير

2.6. نموذج فرندلش:

يفترض فرندلش عدم تجانس المراكز الامتزازية من الناحية الطاقية (تمتلك المراكز الامتزازية قيم طاقية مختلفة) وبناءً عليه فإن المراكز ذات الطاقة الأعلى سوف تشغل أولاً من قبل الجزيئات الممتزة. ويعبر عن نموذج فرندلش، المبين في الشكل (7)، بعلاقة خطية، على النحو الآتي:

$$\text{Log } q_e = \text{Log}K_f + 1/n \text{Log}C_e$$

$K_f(\text{mg}\backslash\text{g}(\text{l}\backslash\text{mg}))^{1/n}$ ويرتبط بالسعة الامتزازية للمادة المازة
ويرسم تغيرات $\text{Log}(q_e)$ بتابعية $\text{Log}(C_e)$ يمكن تعيين قيمة (k,n) وذلك من خلال التقاطع والميل.
 $n=1$ يكون توزع الأيونات الممتزة بين الطورين السطحي والحجمي مستقلا عن التركيز
 $n>1$ يشير ذلك إلى حدوث الامتزاز العكسي على المراكز مختلفة القدرة الامتزازية
 $n<1$ فيعبر ذلك عن حدوث الامتزاز بشكل طبيعي



الشكل (7) : منحنى الامتزاز وفق نموذج فرنديش

يتضح من الجدول (1) ومن خلال قيم معاملات الارتباط أنها أقرب إلى الواحد في حالة نموذج لانغموير، وعليه يمكن القول إن عملية امتزاز الكروم السداسي على الفيروهيديريت النانوي المُصنع تحدث وفق تغطية أحادية الجزيئة لسطح الامتزاز كما يفترض نموذج لانغموير، وهذه النتيجة تتوافق مع الدراسات السابقة (Ni et al., 2016).

الجدول(1):قيم ثوابت لانغموير وفرنديش لامتزاز الكروم السداسي من المحاليل المائية على الفيروهيديريت الألمنيومي النانوي

نموذج لانغموير Langmuir			نموذج فرنديش Freundlich		
q_{\max} (mg\g)	K_l (l\g)	R^2	K_f (l\g)	n	R^2
476.190	0.00923	0.99	18.15	1.9	0.9744

نلاحظ من الشكل (6) أن علاقة لانغموير الخطية يمكن تطبيقها في هذه الحالة كما يظهر من قيمة معامل الارتباط حيث يفترض نموذج لانغموير أن عملية الامتزاز تحدث بارتباط الجزيئات الممتزة بمواقع محددة على السطح الصلب حيث يستطيع كل موقع الارتباط بجزيئة واحدة فقط، وتكون طاقة جميع المواقع الامتزازية متكافئة، وتوجد تأثيرات متبادلة بين جزيئات المادة الممتزة فتحصل عملية إشباع للمواقع الامتزازية وتتوقف عملية الامتزاز بتشكيل طبقة ممتزة أحادية الطبقة.وتشير قيمة $n>1$ أن عملية الامتزاز عكوسة.

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

- تبين من خلال هذا البحث كفاءة استخدام الفيهريدريت الألمنيومي النانوي للتخلص من التراكيز المرتفعة للكروم السداسي حيث بلغت نسبة إزالة الكروم 68%، 50.71%، 32.8% من أجل التراكيز المستخدمة للكروم السداسي (100- 250-500) ppm على الترتيب.
- كانت الشروط المثلى لإزالة الكروم السداسي (pH=5.5 الوسط ، جرعة الفيهريدريت المستخدمة 0.1g ، زمن التماس t =5h)
- امتزاز الكروم السداسي على سطح الفيهريدريت الألمنيومي النانوي يتم وفق نموذج لانغمير (أحادي الطبقة).
- تبين أن أيونات الفوسفات (PO_4^{3-}) تتنافس الكرومات على مواقع الامتزاز الفعالة للفيهريدريت الألمنيومي النانوي حيث انخفضت نسبة الازالة للكرومات بحدود 20%.

التوصيات:

- دراسة تأثير القوة الأيونية على امتزاز الكروم السداسي.
- إجراء دراسة ترموديناميكية لعملية امتزاز الكروم السداسي على الفيهريدريت النانوي.
- تطبيق استخدام الفيهريدريت في ازالة الكروم السداسي من مياه الصناعية او مياه دباغة الجلود.
- استخدام الفيهريدريت النانوي في التخلص من ملوثات أخرى كالفوسفات والكبريتات والزرنيخ وغيرها.

References:

- Adra, A ; Morin, G ; Ona-Nguema, G ; Menguy, N ; Maillot, F ; Casiot, C ; Bruneel, O; Lebrun, S; Juillot, F; Brest, J. (2013) Arsenic Scavenging by Aluminum-Substituted Ferrihydrites in a Circumneutral pH River Impacted by Acid Mine Drainage. *Environ. Sci. Technol.*, 47, 12784–12792.
- Adra, A., Ona-Nguema, G. and Brest, J. (2016) Arsenate and Arsenite Adsorption onto Alcontaining ferrihydrites. Implications for Arsenic Immobilization After Neutralization of Acid Mine Drainage. *Applied Geochemistry*, volume 64 : 2-9.
- Ajouyed O., Hurel C., Ammari M., Allal L.B., Marmier N., (2010), Sorption of Cr(VI) onto natural iron and Aluminum (oxy)hydroxides: Effects of pH, ionic Strength and initial concentration, *Journal of Hazardous Materials*, 174, 616-622.
- Cismasu, A.C., Levard, C., Michel, F.M., Brown Jr., G.E., 2013. Properties of impurity Bearing ferrihydrite II: insights into the surface structure and composition of Pure, Al- and Si-bearing ferrihydrite from Zn(II) sorption experiments and Zn K-Edge X-ray absorption spectroscopy. *Geochem. Cosmochim. Acta* 119, 46-60.
- Johnston C.P., Chrysochoou M. Mechanisms of chromate adsorption on hematite, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 138 (2014) 146–157.
- Hamed, Bikari. Mojtaba Afsharnia; Nasibeh. Javan. Seyed Ali Sajaadi. Phenol removal from aqueous solutions by adsorption on activated carbon of miswak's roots treated with $KMnO_4$. *Iranian journal of Health Science*, 2016,4,20-30.
- Jambor, John L.; Dutrizac, John E. (1998). *Occurrence and Constitution of Natural and Synthetic Ferrihydrite, a Widespread Iron Oxyhydroxide.* , 98(7), 2549–2586.

Liu, B., Huang, Y., 2011. Polyethyleneimine modified eggshell membrane as a novel Biosorbent for adsorption and detoxification of Cr(VI) from water. *J. Mater.Chem.* 21, 17413-17418.

Masue, Yoko; Loeppert, Richard H.; Kramer, Tim A. (2007). Arsenate and Arsenite Adsorption and Desorption Behavior on Coprecipitated Aluminum:Iron Hydroxides. *Environmental Science & Technology*, 41(3), 837–842.

Mthombeni, Nomcebo H.; Onyango, Maurice S.; Aoyi, Ochieng (2015). Adsorption of hexavalent chromium onto magnetic natural zeolite-polymer composite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50(), 242–251.

Ni, C ; Liu, S; Cui, L ; Han,S; Wang, L; Chenab, R;Liu, H. (2016) Adsorption performance of Cr(VI) onto Al-free and Al-substituted ferrihydrites. *This journal is The Royal Society of Chemistry.* 66412–66419.

Wan, Z., Zhang, G., Wu, X., Yin, S., 2017. Novel visible-light-driven scheme Bi₁₂GeO₂₀/g-C₃N₄ photocatalyst: oxygen-induced pathway of organic pollutants Degradation and proton assisted electron transfer mechanism of Cr(VI) reduction. *Appl. Catal. B Environ.* 207, 17e26.

Yan, L., Xu, Y., Yu, H., Xin, X., Wei, Q., Du, B., 2010. Adsorption of phosphate from Aqueous solution by hydroxy-aluminum, hydroxy-iron and hydroxy-iron-Aluminum pillared bentonites. *J. Hazard. Mater.* 179, 244e250.

Yousefri, El-eswed B. Al-Muhtaseb A. H. Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbent for phenol removal from aqueous solutions :Kinetics, mechanism and thermodynamics studies. *Chem. Ebg. J.* 2011,171(3),1143-1149.

Zhu, L; Fenglian;Tang, B. Coexistence or aggression? Insight into the influence of phosphate on Cr(VI) adsorption onto aluminum-substituted ferrihydrite. *Journal of Chemosphere* 212 (2018) 408e417.

Zhang, J., Chen, S., Zhang, H., Wang, X., 2017. Removal behaviors and mechanisms of Hexavalent chromium from aqueous solution by cephalosporin residue and Derived chars. *Bioresour. Technol.* 238, 484e491.