

إسهام في تنقية المياه الصناعية من الزئبق باستخدام البيريت

الدكتور محمد غفر*

ريم محمد**

تاريخ الإيداع 3 / 10 / 2012. قُبل للنشر في 14 / 1 / 2013

▽ ملخص ▽

تقتضي مفاهيم الكيمياء الخضراء والبيئة الصناعية استخدام المنظومات الطبيعية لتخليص دقوق المياه الصناعية من المعادن الثقيلة، ذات التأثيرات الخطيرة في الصحة والبيئة. ولهذا الغرض دُرست تغيرات معامل توزع الزئبق في منظومة ذات طورين سائل (مياه ملوثة بالزئبق)- صلب (فلز البيريت) وذلك بتابعة العوامل التالية: زمن خلط الطورين، الحجم الحبيبي للطور الصلب، تغير قيم الأس الهيدروجيني الـ (pH)، تركيز عنصر الزئبق، تركيز عنصر الكالسيوم بوصفه عنصراً منافساً لاحتلال المواقع المتاحة على الطور الصلب، النسبة V/M تمثل حجم الطور المائي على كتلة الطور، ودلالة على زمن مكوث الطور المائي في الطور الصلب. تظهر النتائج بأنه يمكن اقتراح البيريت بوصفه يمثل حلاً بيئياً آمناً لتنقية الأطوار المائية من الزئبق وذلك بعد ضبط بعض المعاملات التشغيلية.

الكلمات المفتاحية: الزئبق - البيريت، تنقية المياه - سلفيدات - معامل التوزع.

* مدرس - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Contribution to the purification of industrial water of mercury by pyrite

Dr. Mohamed Ghafar*
Reem Mohamed**

(Received 3 / 10 / 2012. Accepted 14 / 1 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

Green chemistry requires concepts and industrial ecology using natural systems to rid industrial water flow from heavy metals, which effects badly on health and environment.

For this purpose, the changes in coefficient of distribution of mercury has been studied in system with two phases, liquid (water contaminated with mercury) - solid (metal pyrite) correlation of the following factors: Time of mixing phases, size of the developed steel, change the values of pH, concentration of elemental mercury, the concentration of calcium as a competitor to the occupation of sites available on the solid phase, the ratio V / M presents the water phase size on the mass of phase, which reflects the remaining time of water phase in the solid phase. The results show that pyrite can be proposed as safe environmental solution for purification of water phase of mercury, after controlling for some operation transactions.

Key words: mercury, pyrite, water purification, sulfate, distribution coefficient.

* Assistant Professor, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Master's student, Higher Institute for Environmental Researches, Tishreen University, Lattakia, Syria.(reemaa1986@hotmail.com)

مقدمة:

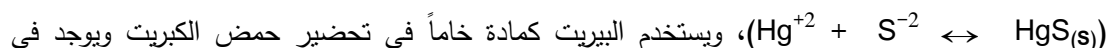
أدى التطور السريع للصناعات المختلفة، بما فيها تعدين الحديد وصهره، وصناعة صقل السطوح وإنتاج الطاقة والنفط وصناعة الأسمدة والطلاء الكهربائي وصناعة الجلد والتطبيقات الكهربائية، وغيرها إلى طرح النفايات في البيئة وتحرر المعادن السامة بشكل مباشر أو غير مباشر وهذا أدى إلى تلوث مكونات البيئة المختلفة.[1].

ويعد عنصر الزئبق من أكثر الملوثات تعقيداً وتراكماً في البيئة إذ إن صفاته الفيزيائية النوعية (الكثافة العالية، قابلية التطاير المرتفعة، الناقلية الحرارية العالية، قوامه السائل في درجة حرارة الغرفة)، أدت إلى استخدامه في كثير من التطبيقات الصناعية.[10]، وإن تلك الخصائص النوعية قد أسهمت أيضاً في عدم تعافي البيئة تماماً من الزئبق بعد استخدامه. وتعتمد درجة سمية الزئبق في المرتبة الأولى على الصيغة الكيميائية التي يوجد بها هذا العنصر، حيث تتمتع بعض صيغته الكيميائية، مقارنةً بغيرها من الصيغ الكيميائية الأخرى، بفعالية امتصاص مختلفة مرتفعة جداً من قبل أجسام الكائنات الحية، فالزئبق العضوي يشكل تهديداً أكبر لقدرته على الدخول إلى الخلايا الحية إضافةً إلى ارتفاع حساسية النظام العصبي المركزي لأبخرة الزئبق.[13].

أجريت دراسات عالمية مفصلة حول إزالة الزئبق من مياه الصرف الصناعي بطرائق عديدة كالترسيب الكيميائي، والتبادل الأيوني، والمعالجة الكهروكيميائية، وتقنيات الأغشية والامتزاز على الكربون الفعال المستخلص من مواد عديدة كبنور المشمش والمخلفات الزراعية، وقد بينت هذه النتائج أن هذه الطرائق مكلفة جداً وبالأخص عندما يراد معالجة كمية كبيرة من المياه، فضلاً عن إنتاج كمية كبيرة من النفايات والتي تكون معالجتها أكثر صعوبة. ولهذا سعى الباحثون إلى إيجاد طرائق عملية كامتزاز الزئبق على الكتل الحيوية (Biomass) المتمثلة بكائنات حية دقيقة تتمتع بنشاط حيوي كبير ضمن ظروف ملائمة و تتميز بشكل فعال بخاصية احتجاز الأيونات من محاليل معقدة التركيب وذات التمديد العالي والحجم الكبيرة.[3].

فضلاً عن ذلك تم استخدام المواد الطبيعية (Natural Materials) في إزالة الزئبق من الأطوار المائية التي يوجد فيها.[1,2,9]. كالسلفيدات التي تملك قدرة عالية لتثبيت الزئبق، ومن أكثر السلفيدات شيوعاً سلفيدات الحديد مثل: البيريت FeS_2 المغناتيت FeS ، والبيرهنتيت $Fe_{1-x}S_x$ ، ويعد فلز البيريت الأكثر توافراً في الطبيعة والأقل تكلفة من صف الكباريت الناتجة عن اتحاد العناصر المعدنية مع الكبريت [4,10].

يحتوي البيريت على عنصري الحديد والكبريت بشكل أساسي، وعلى شوائب من عناصر الكوبالت والنيكل والكاميوم وغيرها، ويتبلور فلز البيريت في الفئة المكعبة ويتشكل في مختلف الظروف الجيولوجية.[7,14]، ولديه قدرة على إزالة الكثير من المعادن السامة مثل الزئبق، الرصاص، النحاس، الكاديوم، الكروم، والزرنيخ، في مجال واسع من درجات ال pH، وقد أجريت دراسات كثيرة حول ذلك استخدم فيها البيريت الطبيعي من أماكن مختلفة من العالم بنجاح وبكفاءة عالية وحددت الشروط المثلى لتنقية المياه من تلك المعادن بواسطة البيريت [8,5,6,12]. حيث تبدي جميع المعادن الثقيلة ألفة كبيرة للكبريت الموجود في البيريت وتميل للاتحاد به:



مناطق مختلفة من العالم وخاصة روسيا، القوقاز، أفريقيا، إسبانيا والولايات المتحدة الأمريكية. ويوجد مكامن مهمة من البيريت في سورية نذكر منها السويداء وصافيتا.[15].

أهمية البحث وأهدافه:

يتجسد الهدف الأساسي من هذا البحث في دراسة إمكانية استخدام فلز البيريت FeS_2 المتوافر طبيعياً بكميات كبيرة في سورية والعالم، بوصفه يمثل منظومةً طبيعية قادرة على إحداث تنقية ملموسة وفعالة للزئبق من الأطوار المائية التي يتواجد فيها، إضافة إلى الإسهام في حماية البيئة والإنسان من تأثيراته السامة، وإمكانية الاستغناء عن طرائق تنقية مرتفعة الكلفة كالمبادلات الأيونية الصناعية.

طرائق البحث ومواده:**1. المواد المستخدمة:**

• بيريت طبيعي: تم الحصول على ما يقارب 1Kg من البيريت الطبيعي من المؤسسة العامة للجيولوجيا من موقع حصن سليمان الكائن في طرطوس، لونه نحاسي أصفر مخدشه أسود مخضر إذ إن الصخور الحاملة لتمعدن البيريت ذات انتشار واسع في المنطقة الممتدة بين الكفارين وحصن سليمان وموجود في المنطقة ضمن طبقات المارل الأخضر، وقد اخترقت التشكيلة الصخرية من خلال آبار يدوية على أعماق متفاوتة تتراوح بين (5-10) m، وأحياناً تتكشف على السطح.

الجدول (1): المواد الكيميائية المستخدمة.

المادة	الشركة المصنعة
محلول قياسي لشوارد الزئبق	Merk
حمض الساليسيليك	Merk
كلور الأمونيوم	Merk
نترات الكالسيوم المائية	BDH
حمض الخل	Merk
ماءات الليتيوم	BDH
حمض كلور الماء	Merk
فوق الكلورات	Merk
ماء مقطر	كلية الهندسة المدنية

2. التجهيزات المستخدمة:

جهاز امتصاص ذري من نوع Varian موديل (220)، جهاز قياس السطح النوعي نوع Gemini 2375، جهاز قياس الحموضة، خلاط ميكانيكي، ميزان حساس، مناخل حبيبية قياسية، مطحنة.

تحضير العينات:**• التحضير الأولي للبيريت:**

طحنت العينات لتتبعيها بالمطحنة والهاون، ثم مررت العينة عبر مناخل بقياسات حبيبية مختلفة μm (2000 , 1000 , 500 , 250 , 100 , 53)، و خزنت العينات في عبوات محكمة الإغلاق لحمايتها من الرطوبة.

i. تحليل عينات البيريت الخام: أجريت مجموعة من التحاليل على البيريت الخام لتحديد خواصه تتلخص بما يلي:

1. دراسة انحلالية البيريت: الهدف من هذه التجربة تحديد درجة الـ pH التي يبدأ عندها انحلال البيريت، والذي يتوافق بانطلاق غاز كبريتيد الهيدروجين السام وذلك باستخدام محاليل حمضية مختلفة ومتدرجة في قيم الـ pH محضرة من حمض الخل 10M وحمض كلور الماء 10 M و مزائج منهما.

2. حساب السطح النوعي للبيريت الطبيعي المستخدم:

باستخدام جهاز قياس السطح النوعي نوع Gemini 2375.

3. تحديد النسبة المئوية لكل من الحديد والكبريت وكبريتيد الحديد (FeS_2) في عينة البيريت الطبيعي عن طريق

معايرتها بمحلول قياسي (0,02 M) EDTA.

ii. تحضير عينات (الزئبق - بيريت):

تم خلط 3 g من البيريت الطبيعي مع 30 ml من محلول الزئبق ذي التركيز 2.5 ppm في عبوات زجاجية سعة 100 ml، وتمت عملية الخلط باستخدام هزاز آلي وضبطت قيم درجات الحموضة باستخدام محاليل مائية من LiOH و HClO_4 ، وفصلت الأطوار بالترشيح، ثم تم قياس التركيز المتبقي للزئبق باستخدام جهاز الامتصاص الذري (تقانة البخار البارد). وحُسب معامل التوزع اعتماداً على العلاقة التالية.[16]:

$$K_d = \frac{C_i - C_f}{C_f} \times \frac{V}{m}$$

حيث:

C_i : التركيز البدئي للعنصر الملوّث؛

C_f : التركيز النهائي للعنصر الملوّث؛

V : حجم الطور المائي مقدراً بالميليلتر؛

m : كتلة الطور الصلب مقدرة بالغرام.

والعوامل التي تمت دراستها تدرج وفق التالي:

1. تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية زمن خلط الطورين؛
2. تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية الحجم الحبيبي للطور الصلب؛
3. تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية تغير قيم شوارد الهيدروجين الـ pH؛
4. تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية تركيز الملوّث ذاته؛
5. تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية تركيز عنصر الكالسيوم بوصفه عنصراً منافساً لاحتلال المواقع المتاحة على الطور الصلب؛

6. تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة النسبة بين حجم الطور المائي وكتلة الطور الصلب V/m دلالة على نمذجة العلاقة بين معدل الدفوق المائية وكمية الطور الصلب اللازمة لإحداث التنقية المرجوة.

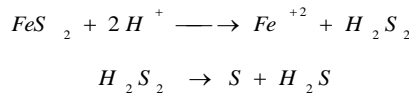
النتائج والمناقشة:

1. دراسة انحلالية البيريت:

الجدول (2): نتائج تجربة انحلالية البيريت.

التأثير	PH	نسبة مزيج حمض الخل 10M وحمض كلور الماء 10 M
-	4,1	1:10
-	3,8	2:10
بداية ظهور لون أخضر خفيف	3,4	4:10
وضوح اللون الأخضر	3	6:10
وضوح اللون الأخضر	2,5	8:10

يلحظ من الجدول (2) أن فلز البيريت يتفكك عند درجات الـ pH أقل من (3.4) أي في الأوساط شديدة الحموضة حيث تتحرر شاردة الحديد الثنائي خضراء اللون، وينطلق غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S السام وفق التفاعل التالي [10]:



لذلك تم تحضير محاليل شوارد الزئبق عند قيم درجات حموضة أعلى من (3.4) وتم ضبط قيم الـ pH باستخدام مزيج يحضر من المركبين $HClO_4$ و $LiOH$.

2. حساب السطح النوعي للبيريت الطبيعي المستخدم:

تم حساب السطح النوعي باستخدام جهاز قياس السطح النوعي نوع (Gemini 2375) (السطح النوعي: $4,2735 \text{ m}^2/\text{g}$)

3. تحديد النسبة المئوية لكل من الحديد والكبريت وكبريتيد الحديد (FeS_2) في عينة البيريت الطبيعي عن طريق معايرتها بمحلول قياسي EDTA (0,02M) بعد إضافة حمض الساليسيليك حيث تم ضبط درجة حموضة الوسط باستخدام محلول موقى (كلوريد الأمونيوم) عند قيمة $PH= 2,1$ لمنع ترسيب شاردة الحديد المراد معايرتها فكانت النتائج كما يلي :

▪ متوسط حجم الـ EDTA المستهلك لمعايرة الحديد في 0,1g من البيريت الطبيعي

$$36 \text{ ml} = \frac{36,1 + 35,9 + 36}{3} =$$

▪ وزن الحديد في 0,1 g من البيريت = $\frac{36 \times 0,02 \times 56}{1000}$

▪ النسبة المئوية للحديد في العينة المدروسة = 40,32 %

- النسبة المئوية للكبريت في العينة المدروسة = 59,68 %
- النسبة المئوية لكبريتيد الحديد في العينة المدروسة = 86,4 %

• تغير قيم معامل التوزع

1. تغيرات معامل التوزع بتابعية زمن خلط الطورين:

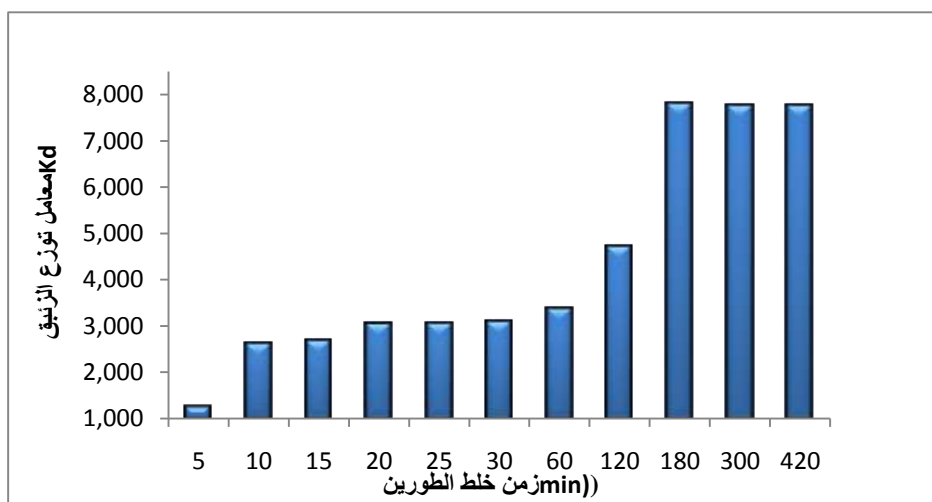
يوضح الشكل (1) تغيرات قيم معامل توزع الزئبق بتابعية زمن خلط الطورين. يلحظ من الشكل (1)، أنه يمكن الوصول إلى الزمن التوازني الموافق لقيم أعظمية لمعامل التوزع بعد خلط الأطوار لمدة زمنية (180 دقيقة) حيث حسبت النسبة المئوية للزئبق المزال عند تلك المدة من العلاقة التالية:

$$q \% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad \text{حيث}$$

C_i : التركيز البدئي للعنصر الملوّث؛

C_f : التركيز النهائي للعنصر الملوّث؛

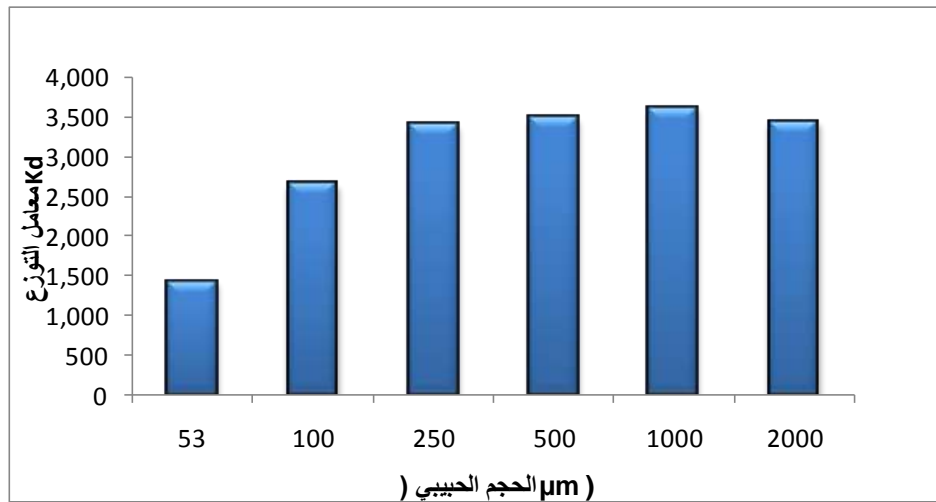
وقد بلغت نسبة إزالة الزئبق 99,9 %، ولهذا تأثير إيجابي واضح في زمن مكوث المياه الملوثة مع البيريت.



الشكل (1): تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية زمن خلط الطورين.

2. تغيرات معامل التوزع بتابعية الحجم الحبيبي:

يوضح الشكل (2) تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية الحجم الحبيبي مقدراً بالميكرومتر.

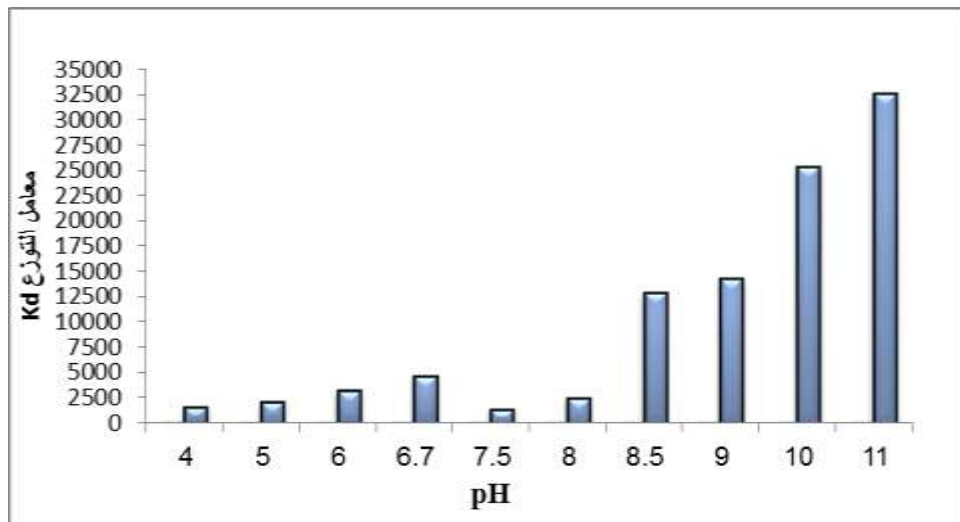


الشكل (2): تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة الحجم الحبيبي للبيريت

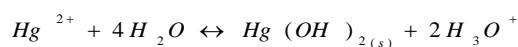
لقد تم حساب النسبة المئوية للزئبق المزال عند الحجمين الحبيبيين $53 \mu\text{m}$ و $1000 \mu\text{m}$ فكانت نسبة إزالة الزئبق 99.3% عند الحجم الحبيبي $53 \mu\text{m}$ ، وعند الحجم الحبيبي $1000 \mu\text{m}$ كانت 99.7% ، نلاحظ بأنه لا يوجد أثر واضح لاختلاف حجم حبيبات البيريت في فعالية إزالة الزئبق من المحلول، وربما تشير هذه النتيجة بشكل مبدئي إلى أن إزالة الزئبق من المحلول بواسطة البيريت لا تتم عن طريق الامتزاز فقط الذي يتأثر بالسطح النوعي للبيريت، والذي تم حسابه وكانت قيمته صغيرة جداً $4,2735 \text{ m}^2/\text{g}$ إذاً يحتمل أن تكون الظاهرة أيضاً تجاذب الكروستاتي أو ترسيبه .

3. تغيرات معامل التوزع بتابعة درجة الحموضة:

يوضح الشكل (3) تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة الـ pH.

الشكل (3): تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة الـ pH، وذلك عند تركيز ثابت من الزئبق 0.0000125 mol/l .

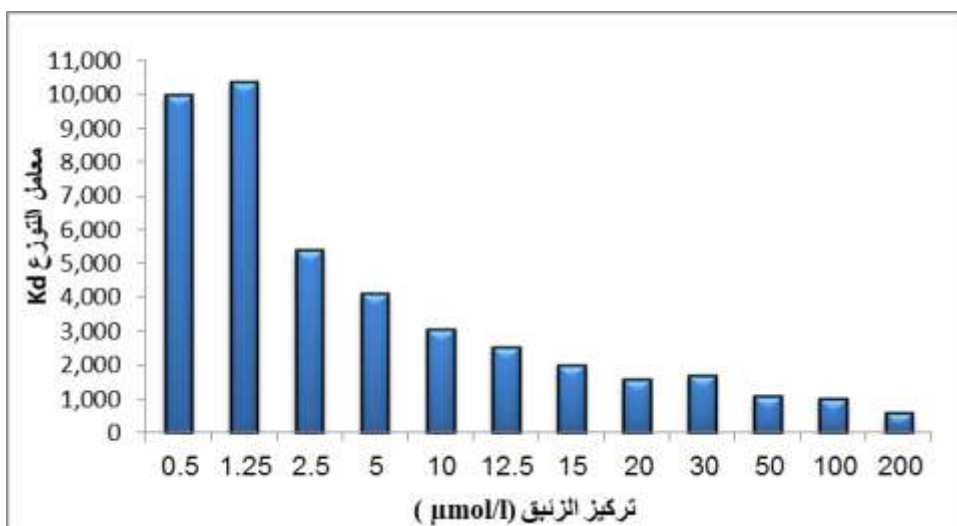
يلحظ من الشكل (3) بأن قيمة الـ pH تؤثر تأثيراً كبيراً على قيمة معامل التوزع، حيث تزداد بازدياد قيمة الـ pH ويعود السبب إلى ترسيب شوارد الزئبق على شكل هيدروكسيدات وفق المعادلة:



إذ إنه، وفي درجات الـ pH القلوية، يرتبط الزئبق بالكبريت ويتوضع على السطح على شكل مركب هيدروكسيدي بالشكل $(Hg - OH)$ ، ويلحظ من الشكل أيضاً تطابق لبداية تزايد معامل التوزع للزئبق مع بداية حد الترسيب ضمن المجال (6.7-9) وتزداد النسبة المئوية للزئبق المزال لتصل إلى % (99.9) عند درجة حموضة تتراوح ضمن المجال (10-11).

تغيرات معامل التوزع بتابعية تركيز الزئبق:

يوضح الشكل (4) تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية تركيز العنصر الملوث نفسه.

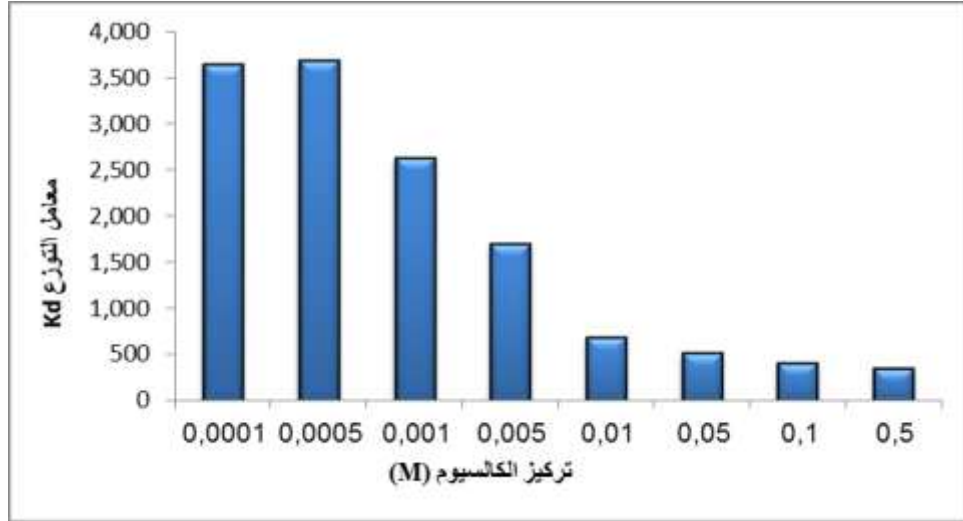


الشكل (4): تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية تركيز العنصر الملوث ذاته.

يلحظ من الشكل (4) بأن كفاءة إزالة الزئبق تزداد كلما مددنا الطور المائي الملوث، وقد حصلنا على أعلى قيم لمعامل التوزع عند $1.25 \mu\text{mol/l}$ مما يؤكد على أهمية ضبط تركيز العنصر الملوث قبل البدء بعملية التنقية والترشيح.

5. تغيرات معامل التوزع بتابعية تركيز عنصر منافس (الكالسيوم):

يوضح الشكل (5) تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعية تركيز عنصر منافس (الكالسيوم)، حيث أستخدمت نترات الكالسيوم من أجل تحضير التراكيز المطلوبة من الكالسيوم بوصفه عنصراً منافساً.

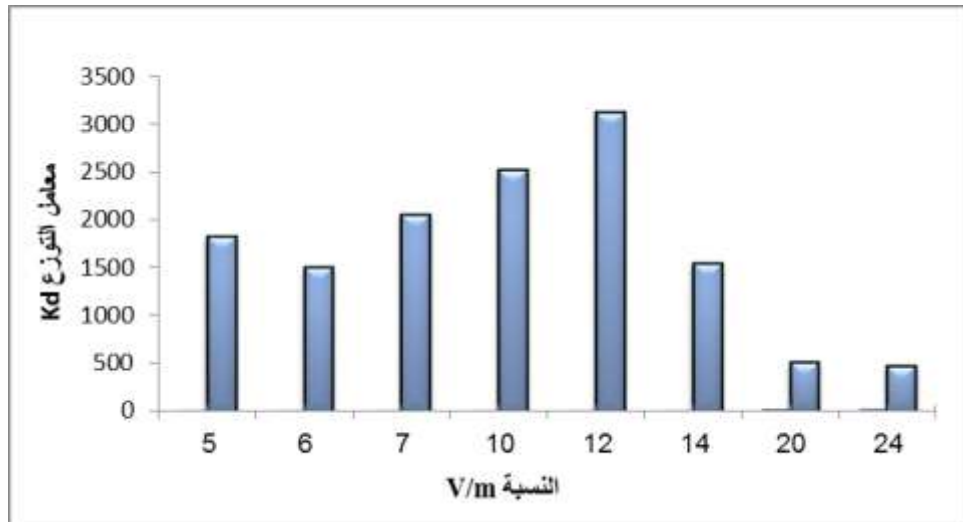


الشكل (5): تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة تركيز عنصر منافس.

يلحظ من الشكل (5) أن الزيادة في تركيز العنصر المنافس تؤدي إلى زيادة في نسبة العنصر الملوث في الطور المائي وانخفاض معامل التوزيع، وذلك بسبب أن المواقع الفعالة من سطح الطور الصلب تُحتل من قبل العنصر المنافس، كما يُلاحظ من الشكل (5) أن أعلى قيم لمعامل توزع الزئبق تم الحصول عليها عند تركيز $M (0,0005)$ من الكالسيوم، وهذا يؤكد على أهمية إزالة قساوة المياه المراد معالجتها بالبيريت.

6. تغيرات معامل التوزيع بتابعة النسبة V/m :

يوضح الشكل (6) تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة النسبة V/m .

الشكل (6): تغيرات معامل توزع الزئبق بتابعة النسبة V/m .

يلحظ من الشكل (6) أن قيمة معامل التوزيع تزداد بازدياد النسبة V/m ، فالزيادة في كمية الطور الصلب ستؤدي إلى زيادة إمكانية تفاعلات الجسيمات بعضها مع بعضها الآخر، مؤدياً ذلك إلى "انسداد" فيزيائي لبعض مواقع الارتباط المتاحة للتفاعل على سطح الطور الصلب وهذا ينعكس سلباً على قيم معامل التوزيع. من جهة ثانية، يمكن أن تؤدي

زيادة كمية الطور الصلب إلى حدوث تفاعلات الكترولستاتيكية كالفعل الذي تمارسه الشحنات السطحية الكهربائية للجسيمات المتجاورة، والمتمثل في إنقاص التجاذب بين الأيون المعدني والمواقع المتاحة على سطح الطور الصلب. نرى من خلال النتائج السابقة أن العينات المستخدمة من البيريت السوري مقارنةً مع عينات بيريت طبيعي من أماكن مختلفة من العالم (كما مر سابقاً) تعطي نتائج مهمة وفعالة في عملية تنقية الأطوار المائية من الزئبق.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تعد الطريقة المقترحة ناجحة لإزالة الزئبق من المحاليل المائية وتعدّ حلاً بيئياً آمناً لمشكلة تواجد الزئبق في الأطوار المائية إذ قد بلغت نسبة الإزالة % 99,9 وإن أفضل الشروط للحصول على أكبر نسبة لإزالة الزئبق من المحاليل المائية بواسطة البيريت تتلخص بما يلي:
2. درجة الحموضة $pH = 8,5 - 11$ ، حجم حبيبي للبيريت $0,0\mu 100m$ ، زمن خلط للطورين 180 دقيقة والنسبة $V/m=12$.
3. إن عملية إزالة الزئبق من المحاليل المائية بواسطة البيريت تعكس ظاهرتين هما: التجاذب الالكترولستاتي، الترسيب.
4. إن الزيادة في تركيز الكالسيوم تؤدي إلى انخفاض معامل التوزع وهذا يؤكد على أهمية إزالة قساوة المياه المراد معالجتها بالبيريت.
5. البيريت ينحل عند درجات حموضة أقل من (3.4) أي في الأوساط شديدة الحموضة يتفكك بسرعة وينطلق غاز كبريت الهيدروجين H_2S الضار بالبيئة والإنسان لذلك يجب ضبط درجة حموضة مياه الدخول بحيث تكون أكبر من الحد الذي يسبب تفكك البيريت.
6. الإشارة إلى أهمية الاستخدام الفعال للبيريت بوصفه يمثل منظومةً طبيعيةً (فلزاً طبيعياً) في تنقية الدفوق المائية الملوثة من الزئبق واستخدامه قالب توضيب ليصار إلى الخزن الآمن لهذه النفاية المصنفة وفق اتفاقية بازل الدولية كنفاية خطيرة وخاصةً أن البيريت له اكتشافات جيولوجية في عدة مناطق من القطر السوري.

المراجع:

1. وهبة، هند؛ المصري، محمد؛ عباسي، سونيا. إزالة الكروم من مياه الصرف الناتجة عن دباغة الجلود باستخدام البيلون الحلبي، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، العدد الثاني، (2009)، 51-53.
2. Yardim,M; Budinova,T; Ekinia,E; Petrov,N; Razvigorova,M; Minkovab,V. Removal Of Mercury (Ii) From Aqueous Solution By Activated Carbon Obtained From Furfural. Chemosphere. Vol.152,(2003), 835-841.
3. Sari,A; Tuzen,M. Removal Of Mercury(Ii) From Aqueous Solution Using Moss (Drepanocladus Revolvens) Biomass: Equilibrium, Thermodynamic And Kinetic Studies. Journal Of Hazardous Materials, 171, (2009), 500-507.
4. Liu,J; Valsaraj,K; Devia,S; Delaune,R. Immobilization Of Aqueous Hg(Ii) By Mackinawite (Fes). Journal Of Hazardous Materials,157,(2008), 432-440.
5. Ozverdi,A; Erdem,M. Cu^{2+} , Cd^{2+} And Pb^{2+} Adsorption From Aqueous Solutions By Pyrite And Synthetic Iron Sulphide , Journal Of Hazardous Materials,137 (2006), 626-632.

6. Muller,B; Axelsson.M; Ohlande,B. Adsorption Of Trace Elements On Pyrite Surfaces In Sulfidic Mine Tailings From Kristineberg (Sweden) A Few Years After Remediation , The Science Of The Total Environment,298, (2002), 1-16 .
7. Murphy,R;Strongin,D. Surface Reactivity Of Pyrite And Related Sulfides , Surface Science Reports, 64, (2009), 1-45.
8. Lin, Y; Huang,Ch. Reduction Of Chromium(Vi) By Pyrite In Dilute Aqueous Solutions. Separation And Purification Technology, 63, (2008), 191-199.
9. Rao,M; Reddy,D; Venkateswarlu,P; Seshaiiah,K. Removal Of Mercury From Aqueous Solutions Using Activated Carbon Prepared From Agricultural By-Product/Waste , Journal Of Environmental Management,90, (2009), 634-643.
10. Bower, J; Savage,K; Weinman,B; Bamett,M; Hamilton; Harper,W. Immobilization Of Mercury By Pyrite (Fes₂). Environmental Pollution .Vol. 156,(2008), 504-514.
11. Rickard, D; Luther, G. Chemistry Of Iron Sulfides. Chem. Rev. 107,(2007), 514-562.
12. Bower, J. Immobilization Of Mercury Using Iron Sulfide Minerals. (2007), 3-54.
13. صالح، فؤاد؛ محمد، عصام. الكيمياء البيئية، جامعة تشرين، 2005-2006، الصفحات 341-345.
14. مصطفى، محمود؛ قوجة، محمد. المينرالوجيا، جامعة تشرين، الطبعة الأولى، (1998-1999)، الصفحات 87-85، 68.
15. مصطفى، محمود؛ قوجة، محمد. الجيولوجيا الاقتصادية البحرية، جامعة تشرين، (2009-2010)، الصفحة 349.
16. غفر، محمد؛ شاهين، هيثم. دراسة معامل توزع بعض الملوثات في منظومة ذات طورين: صلب (رمال الساحل السوري) - سائل (مياه الشرب والصرف الصحي)، جامعة تشرين، المعهد العالي لبحوث البيئة، (2006)، 14-56.