

## إزالة عكارة المياه السطحية بالتخثير الكهربائي (دراسة تجريبية)

الدكتور أحمد قصير \*

الدكتور عبد الحكيم بنود \*\*

تفريد سليمان \*\*\*

(قبل للنشر في 2004/9/21)

### □ الملخص □

استخدمنا في هذا البحث طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة المياه السطحية (مياه سد بللوران). وقمنا بدراسة فعالية هذه الطريقة في إزالة عكارة المياه، حيث تم تعكير المياه المأخوذة من سد بللوران حتى قيم مختلفة ومحددة. ودرسنا تأثير العوامل التجريبية مثل: شدة التيار الكهربائي المطبقة، وزمن المكوث في مفاعل التخثير الكهربائي، ونوعية الصفائح المعدنية المستخدمة (ألنيوم، حديد) في إزالة العكارة. وقد حقق استخدام هذه الطريقة كفاءة عالية جداً في إزالة العكارة تراوحت ضمن المجال (78%-99%)، بالإضافة إلى أنّ كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة كانت ضئيلة جداً وتراوحت ضمن المجال (1.2-11.4) واط ساعي /متر مكعب مياه.

\* أستاذ مساعد في قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

\*\* أستاذ في كلية الهندسة التقنية - جامعة حلب - حلب - سوريا.

\*\*\* طالبة ماجستير في قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

## Laboratory Study of Electro-Coagulation Turbidity Removal of Surface Water

Dr. Ahmad Qasir\*  
Dr. Abdul Hakim Bannoud\*\*  
Taghreed Suleman\*\*\*

(Accepted 21/9/2004)

### □ ABSTRACT □

This study investigates the treatment of surface water in Balloran Dam by electro-coagulation method. We have studied the efficiency of this method by "turbiding" water samples taken from Balloran Dam in different specific water.

The experiments were conducted to examine the effect of the experimental parameters such as the intensity of applied electric current, the retention time in the electro-coagulation, and the kind of electrodes (Aluminum, Iron) on the efficiency of turbidity removal. This process is found to be effective energy consumption was very low in a range of (1.2 – 11.4) Wh/m<sup>3</sup>. H<sub>2</sub>O.

---

\*Assistant Professor , Department Of Environmental Engineering, Faculty Of Civil Engineering,  
Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Professor , Faculty Of Technical Engineering, Aleppo University, Aleppo, Syria.

\*\*\*Master Student , Department Of Environmental Engineering, Faculty Of Civil Engineering,  
Tishreen University, Lattakia, Syria.

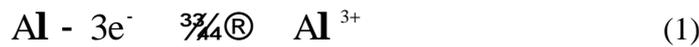
## مقدمة:

تُعتبر المياه السطحية مصدراً رئيسياً لمياه الشرب. ونظراً للحاجة المتزايدة للمياه وأهمية معالجتها، كان لا بد من البحث عن طرائق معالجة ذات كفاءة عالية، وفي الوقت نفسه من الضروري ألا تكون كلفتها عالية. وتشمل الطرائق التقليدية في معالجة المياه: التخثير الكيميائي، والترسيب، والترشيح، والتعقيم [1]. وتمثل طريقة التخثير الكهربائي طريقة معالجة بديلة يمكن اعتمادها في معالجة المياه حيث تحقق كفاءة عالية في إزالة عدد كبير من الملوثات [2,3,4]. وهناك العديد من الأبحاث التي أجريت لدراسة فعالية هذه الطريقة في معالجة المياه السطحية [1]، ومياه الصرف [5]، كما استخدمت بكفاءة في معالجة مياه الصرف الصناعية [6]. ونظراً للميزات العالية التي تتمتع بها هذه الطريقة، فقد بذلت العديد من الجهود البحثية لدراسة كفاءتها في معالجة المياه الطبيعية، فمثلاً حققت هذه الطريقة كفاءة مميزة عند استخدامها لإزالة عكارة مياه النهر [1]، وكذلك حقق استخدام هذه الطريقة كفاءة عالية في إزالة العكارة عند معالجة مياه تركيبيية ذات درجات عكارة مرتفعة ومنخفضة [7]، كما استخدمت بكفاءة في إزالة الفلور من مياه (Sahara) في جنوب الجزائر حيث وصلت نسبة إزالة الفلور للقيمة: (90%) [8]، وكذلك استخدمت لمعالجة مياه العواصف المطرية الجارية على سطح الأرض وحققت نتائج مذهلة في إزالة العكارة وغيرها من الملوثات [9].

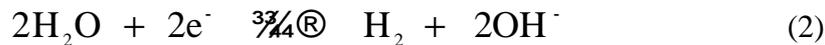
## مبدأ طريقة التخثير الكهربائي:

تعتمد في هذه الطريقة على تمرير تيار كهربائي (مستمر بشكل عام وفي بعض الحالات متناوب [10]) عبر صفائح معدنية ناقلة للكهرباء (ألومنيوم - حديد - ...) مغمورة في المياه المراد معالجتها [1]. فعند تطبيق تيار كهربائي مستمر على الكترودات الألومنيوم في مفاعل التخثير الكهربائي الحاوي على المياه المراد معالجتها، تحدث التفاعلات التالية [11,6]:

تفاعل أكسدة على المصعد:



تفاعل إرجاع على المهبط:



وتتحد شوارد الألومنيوم المتحررة من المصعد مع شوارد الهيدروكسيل الناتجة عن تحلل الماء - نتيجة مرور التيار الكهربائي فيه - فيتشكل لدينا مركب هيدروكسيل الألومنيوم وفقاً للتفاعل:



ويشكّل مركب هيدروكسيل الألومنيوم ندفاً تتميز بمقدرة عالية على ادمصاص (امتزاز) الجسيمات المعلقة (والتي تحمل شحنة سالبة غالباً) في المياه، حيث يقوم بتعديل شحنتها فتتخلص هذه الجسيمات من حالة الاستقرار وبالتالي تسهل عملية إزالتها بطرائق لاحقة (ترسيب - ترشيح) [1,12].

أما على المهبط فتنتطلق فقاعات الهيدروجين وتسبب تطويف قسم من الندف والملوثات المتشكلة إلى السطح.

## أهداف البحث:

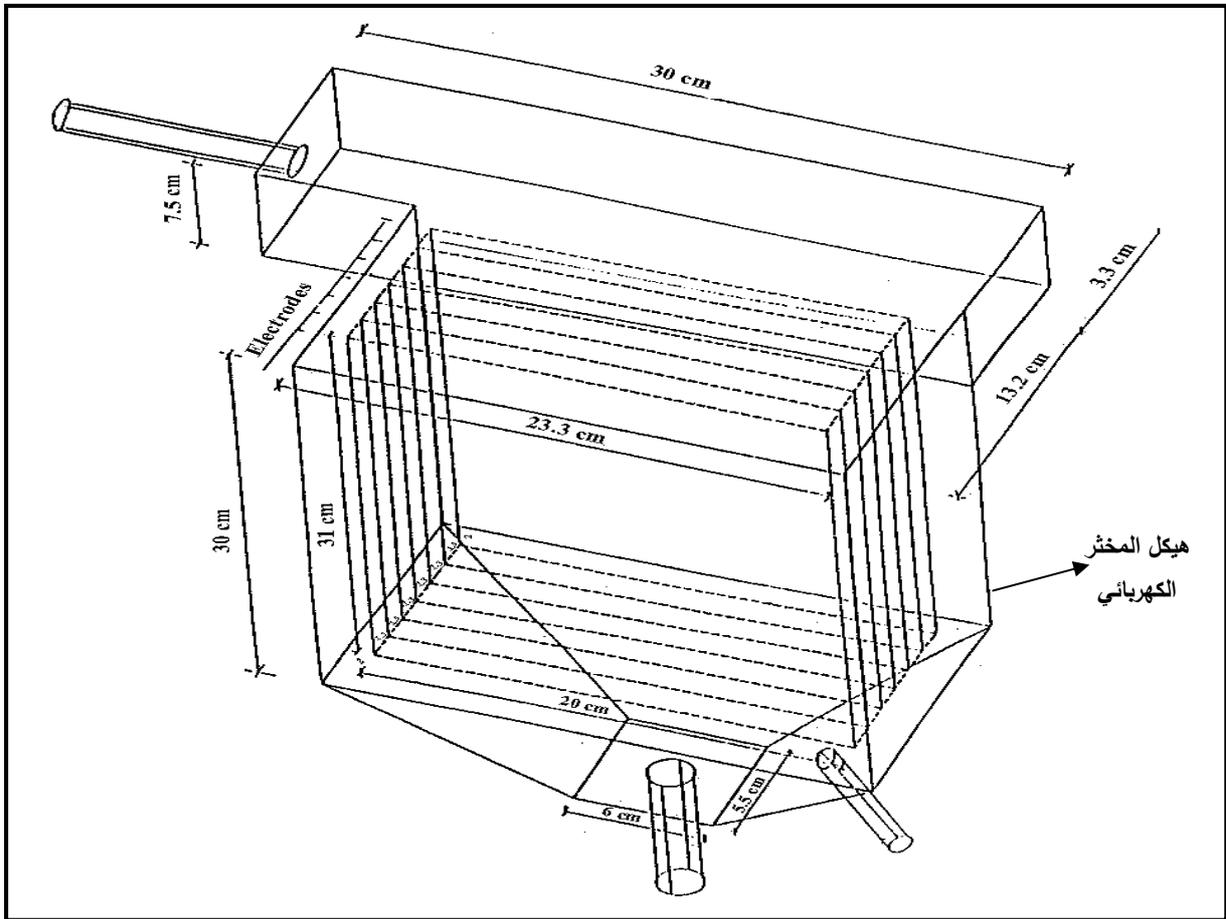
إن الغاية من هذا البحث هي:

- 1- دراسة تأثير العوامل التجريبية التالية: (شدة التيار الكهربائي، وزمن المكوث ضمن المفاعل، ونوعية الصفائح المعدنية المستخدمة) على إزالة عكارة المياه.
- 2- تحديد قيم هذه المتغيرات التي تحقق أعلى كفاءة للإزالة بأقل كلفة ممكنة باستخدام طريقة التخثير الكهربائي في المعالجة.

## التجهيزات والطرائق المستخدمة في البحث:

1- التجهيزات المستخدمة:

- المفاعل المستخدم هو عبارة عن خلية زجاجية، تُوضع فيها سبع صفائح معدنية أبعاد كل صفيحة (30 cm × 20)، والتباعد بين الصفيحة والأخرى (13 mm). يبين الشكل (1) مخططاً تفصيلياً للمفاعل المستخدم في التجارب.



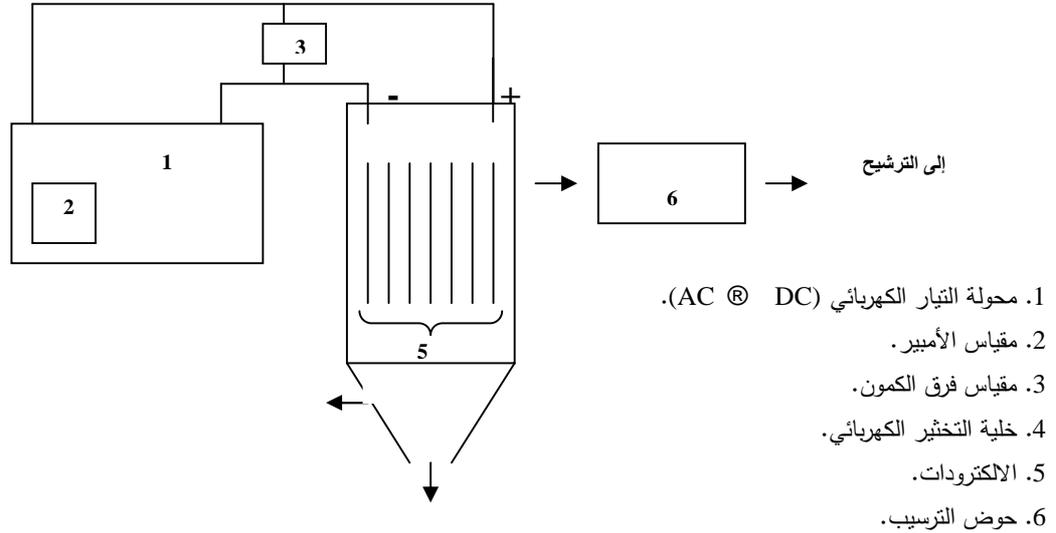
الشكل (1): شكل تفصيلي لخلية التخثير الكهربائي.

والمياه الخامية المستخدمة في التجارب مأخوذة من منطقة المأخذ المائي في سد بللوران، حيث تمّ تعكيرها للدرجة المطلوبة باستخدام محلول معكّر محضّر من الطمي المأخوذ من قاع السد. وقد قمنا بإجراء الدراسة من أجل خمس قيم مختلفة للعكارة، تراوحت ضمن المجال: (20 ~ 90) NTU، وتراوحت قيمة الناقلية الكهربائية لهذه المياه ضمن المجال: (500 ~ 580) mS/cm، وتراوحت قيمة الـ PH ضمن المجال: (7.8 ~ 8).

## 2- طريقة إجراء التجارب:

استخدمنا في دراستنا أسلوب الدفقات في المعالجة (Batch)، حيث نملأ الخلية بحجم = (8) ليتر من المياه المعكرة - بقيمة محددة - ثم نقوم بتطبيق تيار كهربائي مستمر ذي شدة معينة - بواسطة محولة للتيار الكهربائي المتناوب إلى مستمر - على الصفيحتين المعدنيتين الطرفيتين، فتشكّل إحداهما المصعد (anode)، والأخرى المهبط (cathode)، أما باقي الصفائح الموجودة بين الصفيحتين الطرفيتين فتشكّل الكترودات ثنائية القطبية (حيث كان البعد الفعّال للصفحة = (20 × 22)cm وسماكتها = (1.5)mm). وبعد انتهاء زمن المكوث المحدّد ضمن المفاعل، تفرّغ المياه من أسفل خلية التخثير الكهربائي، لتدخل إلى حوض ترسيب تبقى فيه ساكنة لمدة ساعة كاملة حتى يتم ترسيب الندف المتشكلة، وبحيث يتم قياس عكارة القسم العلوي من المياه المعالجة أثناء ترسيبها كل (15) min، وبعد انتهاء زمن الترسيب نأخذ عينة من القسم العلوي من المياه ونرشحها باستخدام ورق ترشيح، ثم نقيس عكارة المياه المرشحة ونحدد فعالية الإزالة كما يتم قياس الناقلية الكهربائية والـ PH للمياه قبل المعالجة وبعدها. تمّ إجراء الدراسة من أجل خمس قيم مختلفة لشدة التيار الكهربائي، تراوحت ضمن المجال (200~600)mA، ومن أجل خمس قيم مختلفة لزمن المكوث ضمن مفاعل التخثير الكهربائي، وتراوحت ضمن المجال: (20~3)min.

ويبين الشكل (2) مراحل المعالجة المتبعة في هذا البحث.



الشكل (2): شكل توضيحي لأسلوب المعالجة المتبعة

### 3- العلاقات الحسابية المستخدمة: Arithmetic Relations

· تحديد كمية المعدن المنحل Dissolved Metal:

تمّ تحديد كمية المعدن المنحل انطلاقاً من قانون فاراداي [6]:

- إن علاقة حساب كمية المعدن المنحل بالنسبة لالكترودات الألمنيوم هي:

$$C = 0.336 \cdot I \cdot (P - 1) \cdot t / V$$

- وبالنسبة لالكترودات الحديد هي:

$$C = 1.040 \cdot I \cdot (P - 1) \cdot t / V$$

حيث يتم التمثيل كما يلي: C: كمية المعدن المنحل (mg/l).

I: شدة التيار الكهربائي المطبقة (A).

P: عدد الصفائح المعدنية المستخدمة.

t: زمن المكوث ضمن المفاعل (h).

V: حجم المياه المعالجة (m<sup>3</sup>).

· تحديد فعالية إزالة العكارة Turbidity

$$f = (T_0 - T_e) / T_0$$

Removal Efficiency

حيث: f: فعالية الإزالة وتؤخذ كنسبة مئوية.

T<sub>0</sub>: العكارة الأولية للمياه الداخلة للمعالجة (NTU).

T<sub>e</sub>: العكارة النهائية للمياه بعد المعالجة (NTU).

· تحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة Electrical Energy Consumption

$$E = (I \cdot U \cdot t) / V \quad [6]$$

حيث: E: كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة وتحسب لمعالجة (1m<sup>3</sup>) من المياه خلال الساعة (Wh/m<sup>3</sup>. H<sub>2</sub>O).

I: شدة التيار الكهربائي المطبقة (A).

U: فرق الكمون (V).

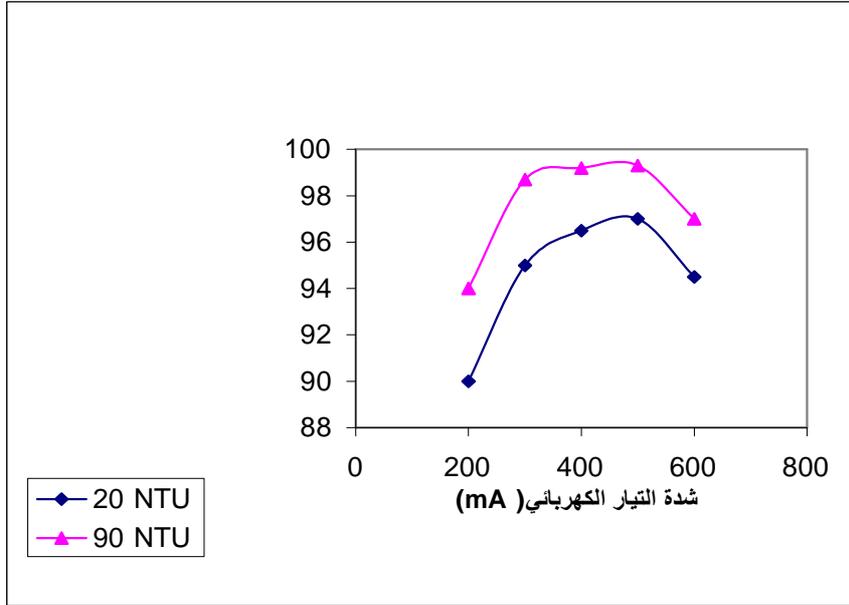
t: زمن المكوث ضمن المفاعل (h).

V: حجم المياه المعالجة (m<sup>3</sup>).

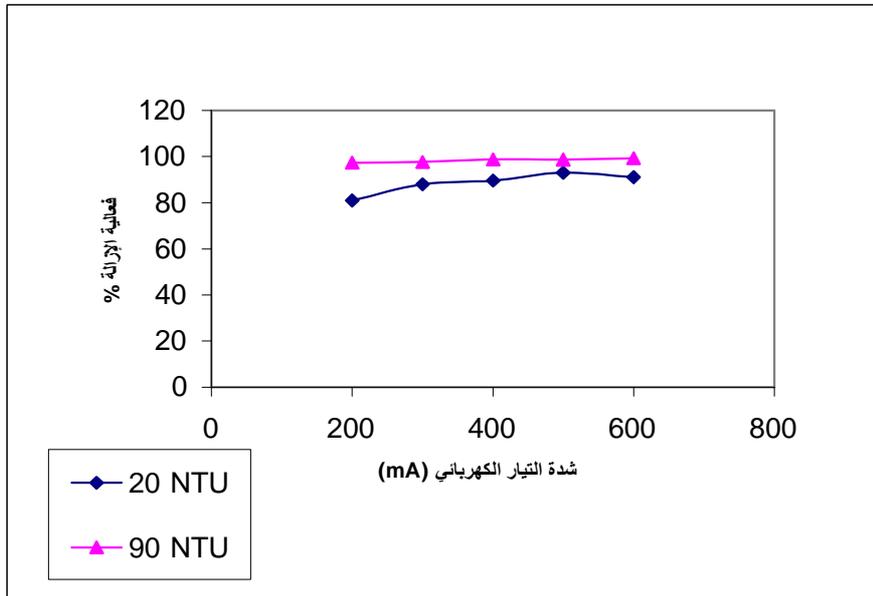
## النتائج والمناقشة:

1- دراسة تأثير شدة التيار الكهربائي المطبقة على فعالية إزالة العكارة:

يبين الشكلان (3 و 4) فعالية إزالة العكارة بالعلاقة مع شدة التيار الكهربائي وذلك من أجل قيمتين أوليتين للعكارة NTU (20 و 90)، وعند زمن مكوث بالمفاعل = 10min، وباستخدام صفائح من الألمنيوم، و صفائح من الحديد، على التسلسل.



الشكل (3): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وفعالية إزالة العكارة عند زمن مكوث = 10 min باستخدام الكترودات الألمنيوم



الشكل (4): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وفعالية إزالة العكارة عند زمن مكوث = 10 min باستخدام الكترودات الحديد

نلاحظ من هذين الشكلين أن كفاءة إزالة العكارة تتزايد مع تزايد شدة التيار الكهربائي المطبقة حيث تزايدت من القيمة (90%) عند شدة تيار كهربائي مطبقة = 200mA، لتصل للقيمة: (97%) من أجل الشدة (500) mA، وذلك من أجل قيمة عكارة أولية للمياه = 20 NTU، ولكنها تناقصت للقيمة (94.5%) عند الشدة (600) mA، الشكل (3). كما تزايدت من القيمة (94%) - عند الشدة (200) mA - لتصل للقيمة (99.3%) من أجل الشدة (500) mA وذلك من أجل عكارة أولية للمياه تساوي 90 NTU، ولكنها تناقصت ثانية عند تطبيق شدة تيار قيمته (600) mA حيث بلغت (97%)، الشكل (3). وكفاءة إزالة العكارة هذه قريبة من قيمة كفاءة إزالة العكارة التي حصل عليها الباحثان: [13] Y.K. JUNG and M.Y. HAN، حيث استخدمت وحدة تطويف كهربائي تحوي الكترودات الألمنيوم ودرست كفاءة معالجة مياه معكرة وملوثة بالكاديوم وتمّ التوصل لنسبة إزالة للعكارة تساوي (95.7%).

كما نلاحظ أن كفاءة الإزالة المحققة من أجل قيمة العكارة الأولية (90) NTU هي أكبر مقارنةً مع الكفاءة المحققة من أجل قيمة العكارة الأولية (20) NTU، وذلك بالنسبة لنفس قيم زمن المكوث وشدة التيار الكهربائي المطبقة، الشكلين (3 و 4)، وهذه النتائج تتوافق مع النتائج التي تمّ التوصل إليها عند معالجة مياه تركيبيّة ذات درجات عكارة مرتفعة ومنخفضة [7].

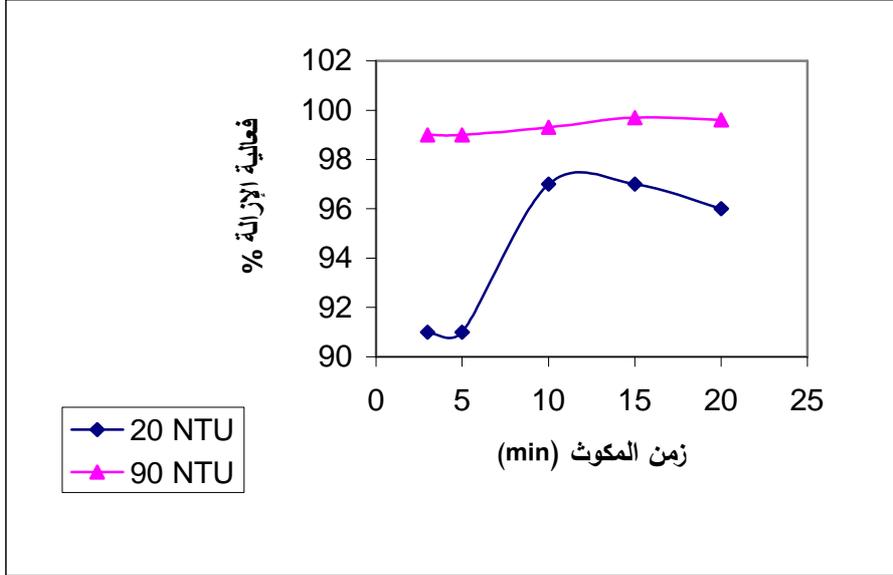
## 2- دراسة تأثير زمن المكوث في المفاعل على فعالية إزالة عكارة المياه:

يبين الشكلان (5 و 6) فعالية إزالة العكارة بالعلاقة مع زمن المكوث ضمن مفاعل التخثير الكهربائي وذلك من أجل القيمتين الأوليتين للعكارة: (20 و 90) NTU، وعند شدة تيار كهربائي مطبقة = 500 mA، مع استخدام الكترودات من الألمنيوم، ومن الحديد، على التسلسل.

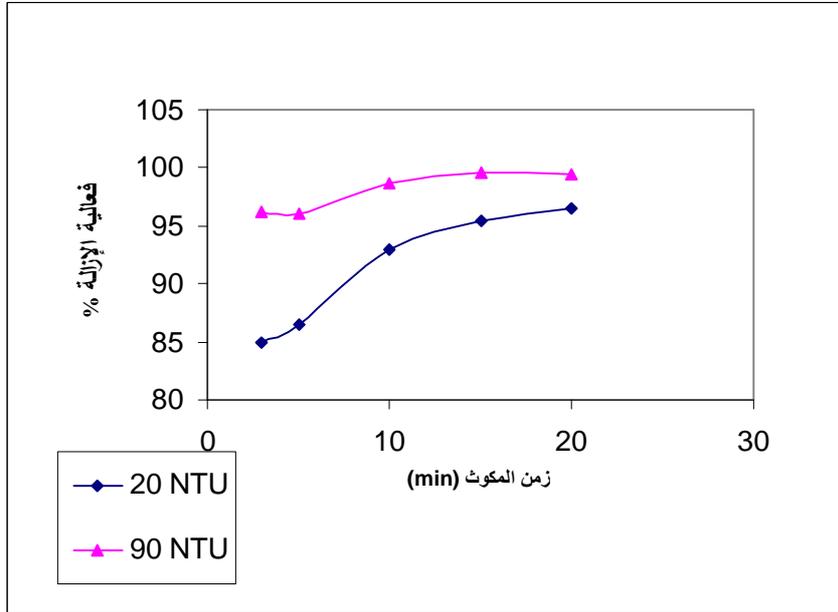
نلاحظ من هذين الشكلين أن كفاءة إزالة العكارة تتزايد مع تزايد زمن المكوث في المفاعل، حيث تزايدت من القيمة (91%) عند زمن مكوث = 3 min، لتصل للقيمة (97%) عند زمن مكوث = 10 min وذلك من أجل قيمة عكارة أولية للمياه = 20 NTU، ولكنها تناقصت للقيمة (96%) عند زمن مكوث = 20 min، (الشكل 5). كذلك تزايدت كفاءة إزالة العكارة من القيمة (99%) عند زمن مكوث = 3 min لتصل للقيمة (99.7%) عند زمن مكوث = 15 min وذلك من أجل عكارة أولية للمياه = 90 NTU، ولكنها تناقصت ثانيةً عند زمن مكوث = 20 min حيث بلغت القيمة (99.6%)، (الشكل 5).

## 3- كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة:

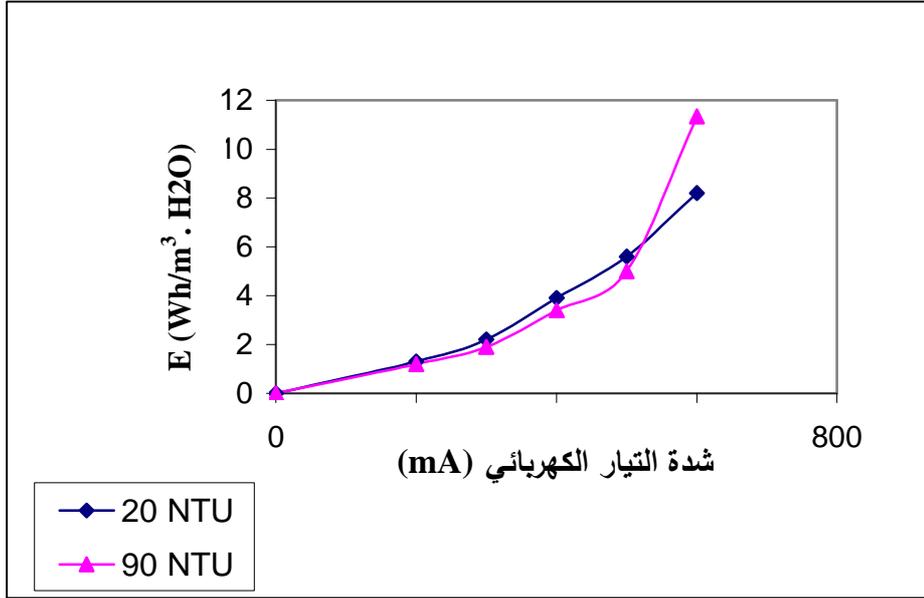
يبين الشكلان (7 و 8) العلاقة بين شدة التيار الكهربائي المطبقة، وكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لمعالجة متر مكعب واحد من المياه، وذلك من أجل القيمتين الأوليتين للعكارة (20 و 90)، وعند زمن مكوث بالمفاعل = 10 min وباستخدام الكترودات من الألمنيوم، ومن الحديد، على التسلسل.



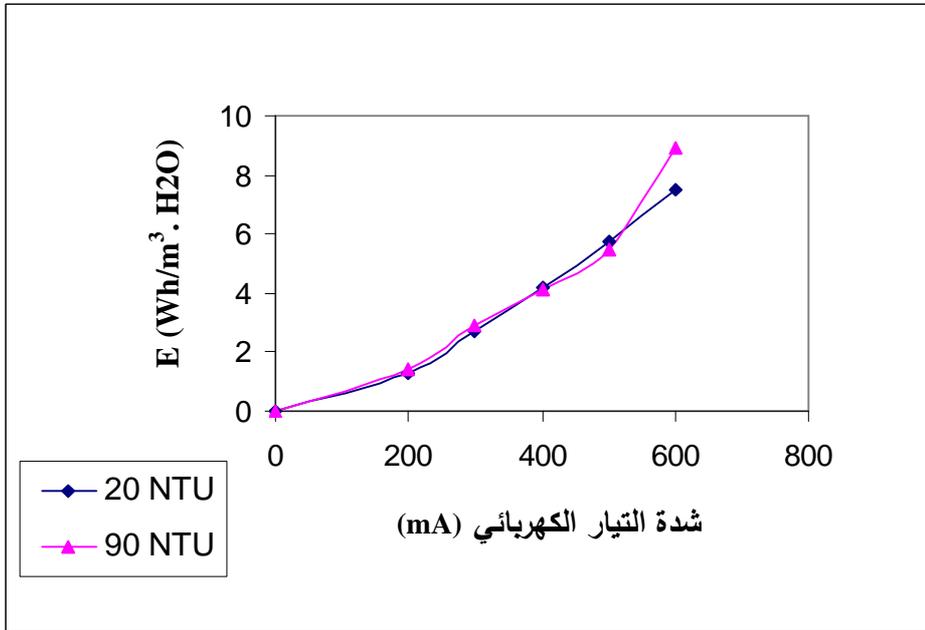
الشكل (5): العلاقة بين زمن المكوث وفعالية إزالة العكارة عند شدة تيار كهربائي = 500 mA باستخدام الكترودات الألمنيوم



الشكل (6): العلاقة بين زمن المكوث وفعالية إزالة العكارة عند شدة تيار كهربائي = 500 mA باستخدام الكترودات الحديد



الشكل (7): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة عند زمن مكوث = 10 min باستخدام الكترولادات الألمنيوم

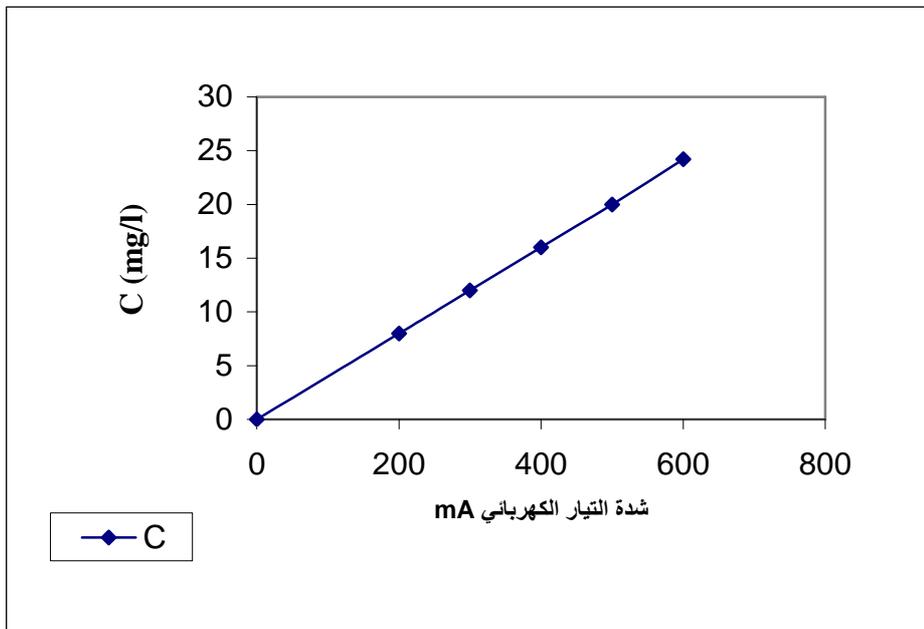


الشكل (8): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وكمية الطاقة الكهربائية المستهلكة عند زمن مكوث = 10 min باستخدام الكترولادات الحديد

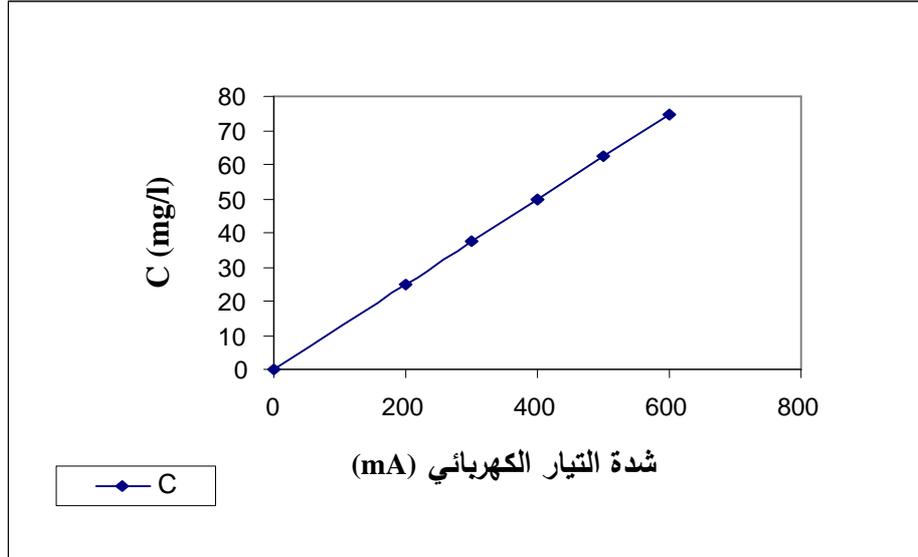
نلاحظ من هذين الشكلين تزايد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مع تزايد شدة التيار الكهربائي المطبقة، حيث تزايدت قيمة الطاقة الكهربائية المستهلكة من القيمة  $1.3 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، عند شدة التيار الكهربائي = (200) mA ، إلى القيمة  $8.2 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  عند شدة التيار الكهربائي = (600) mA ، وذلك من أجل عكارة أولية للمياه = (20) NTU ، وباستخدام الكترودات الألمنيوم، الشكل (7). أما في الشكل (8) فنلاحظ أن كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة عند تطبيق الشدة (600) mA هي  $8.9 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  حيث كانت فعالية الإزالة (99.3%) (العكارة الأولية = (90) NTU)، في حين بلغت قيمة الطاقة الكهربائية المستهلكة عند تطبيق الشدة (500) mA القيمة  $5.5 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  وكانت فعالية الإزالة (98.6%) (العكارة الأولية = (90) NTU) إذاً نلاحظ أن قيمتي الفعالية المحققتين متقاربتان جداً.

#### 4- كمية المعدن المنحل:

يبين الشكلان (9 و 10) العلاقة بين شدة التيار الكهربائي المطبقة، وكمية المعدن المنحلة، عند زمن مكوث بالمفاعل = (10) min ، وباستخدام الكترودات من الألمنيوم، والكترودات من الحديد، على التسلسل.



الشكل (9): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وكمية المعدن المنحل عند زمن مكوث = (10) min باستخدام الكترودات الألمنيوم

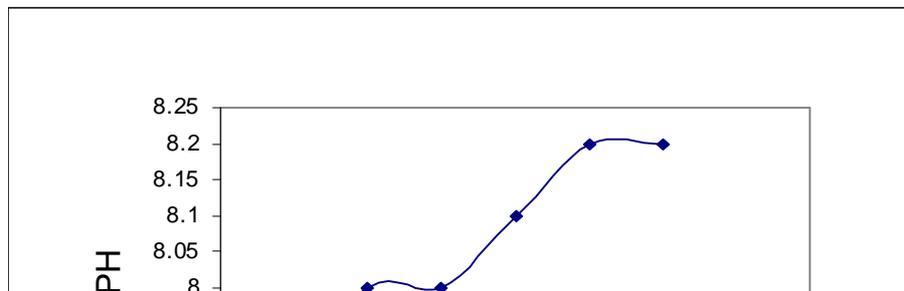


الشكل (10): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وكمية المعدن المنحل عند زمن مكوث = 10 min باستخدام الكترودات الحديد

نلاحظ من هذين الشكلين، تزايد كمية المعدن المنحل مع تزايد شدة التيار الكهربائي المطبقة. لقد تزايدت كمية الألمنيوم المنحلة من القيمة 8 mg/l عند تطبيق شدة تيار كهربائي = 200 mA، إلى القيمة 24.2 mg/l عند تطبيق شدة تيار كهربائي = 600 mA، الشكل (9). وتزايدت كمية الحديد المنحلة من القيمة 25 mg/l عند تطبيق شدة تيار كهربائي = 200 mA، إلى القيمة 75 mg/l عند تطبيق شدة تيار كهربائي = 600 mA، الشكل (10). إذاً فكمية الحديد المنحلة أكبر بكثير من تلك الموافقة لها من الألمنيوم من أجل نفس شدة التيار الكهربائي المطبقة، ونفس زمن المكوث بالمفاعل.

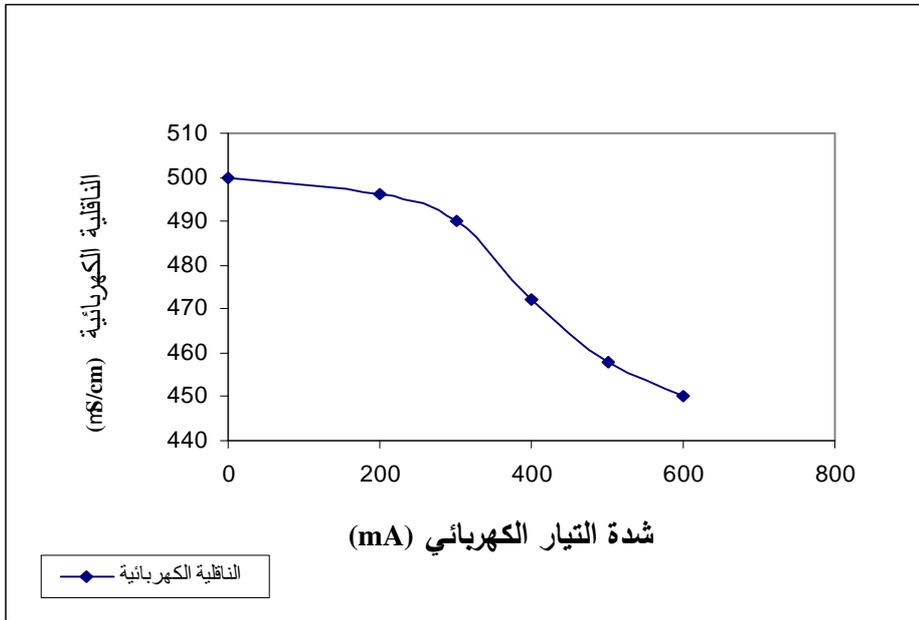
##### 5- تغير قيمة الـ PH والناقلية الكهربائية للمياه:

يبين الشكلان (11 و 12) العلاقة بين شدة التيار الكهربائي المطبقة وقيمة الـ PH والناقلية الكهربائية للمياه، بالترتيب، وذلك باستخدام الكترودات من الألمنيوم ومن أجل عكارة أولية = 20 NTU وزمن مكوث = 10 min.



الشكل (11): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي ودرجة الـ pH عند عكارة أولية  
 = NTU (20) وزمن مكوث = 10 min باستخدام الكترودات الألمنيوم

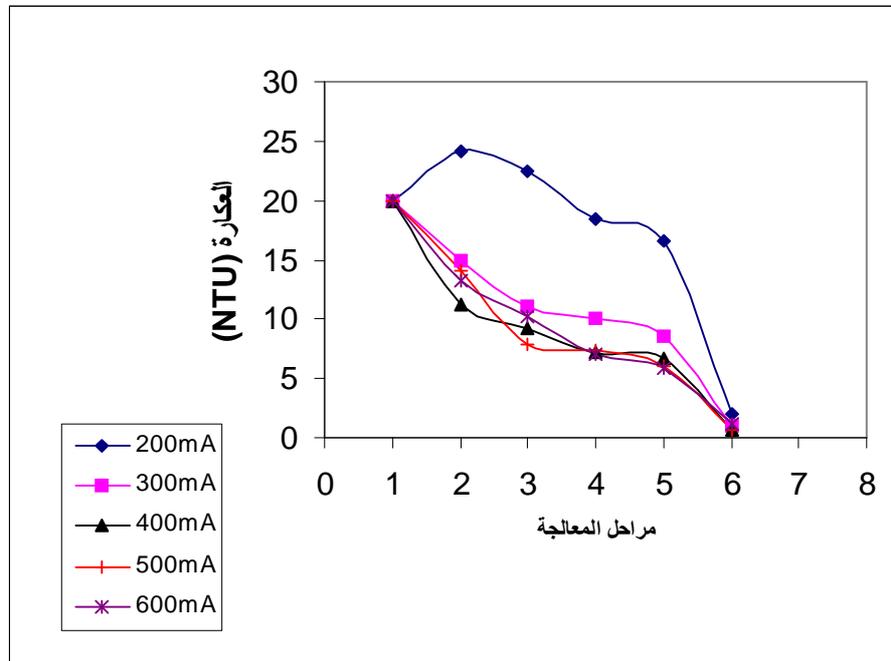
لم نلاحظ حدوث تغير كبير في قيمة الـ PH للمياه قبل المعالجة وبعدها، حيث تزايدت قيمة الـ PH من قيمتها الأولية (7.8) إلى القيمة النهائية (8.2)، الشكل (11).  
 بالنسبة لقيمة الناقلية الكهربائية للمياه، فقد لاحظنا أن قيمتها تناقصت بعد المعالجة. فمثلاً تناقصت قيمة الناقلية الكهربائية للمياه من قيمتها الأولية  $500 \text{ mS/cm}$  إلى القيمة  $450 \text{ mS/cm}$  بعد المعالجة، الشكل (12).



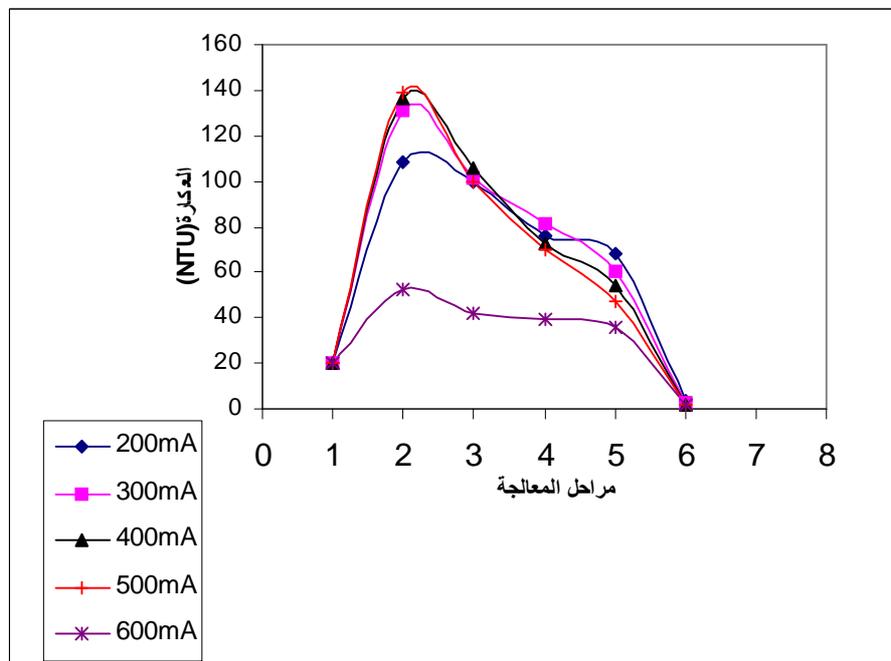
الشكل (12): العلاقة بين شدة التيار الكهربائي وقيمة الناقلية الكهربائية للمياه عند عكارة أولية  
 = NTU (20) وزمن مكوث = 10 min باستخدام الكترودات الألمنيوم

6- تغير عكارة المياه وفقاً لمراحل المعالجة:

يبين الشكلان (13 و14) تغير قيمة عكارة المياه قبل المعالجة وبعدها وذلك من أجل عكارة أولية للمياه = (20)NTU وعند زمن مكوث بالمفاعل = 10 min وباستخدام الكترودات من الألمنيوم، والكترودات من الحديد، على التسلسل.



الشكل (13): تغير قيم عكارة المياه وفقاً لمراحل المعالجة من أجل عكارة أولية= (20)NTU وعند زمن مكوث = 10min باستخدام الكترودات من الألمنيوم



الشكل (14): تغير قيم عكارة المياه وفقاً لمراحل المعالجة من أجل عكارة أولية = (20)NTU و عند زمن مكوث = 10min باستخدام الكترودات من الحديد

نلاحظ من الشكل (13) أنه عند تطبيق الشدة (500) mA مثلاً، تناقصت عكارة المياه من قيمتها الأولية NTU (20) إلى القيمة NTU (14) بعد معالجتها بالمخثر لمدة (10) min وترسيبها لمدة (15) min ، ثم تناقصت للقيمة NTU (7.8) بعد الترسيب لمدة (30) min، ثم تناقصت للقيمة NTU (7.3) بعد الترسيب لمدة (45) min، ووصلت للقيمة NTU (6) بعد الترسيب لمدة (60) min، ووصلت قيمة عكارتها النهائية بعد الترشيح للقيمة NTU (0.6) حيث كانت كفاءة إزالة العكارة المحققة هي (97%).

## الاستنتاجات:

بينت النتائج التجريبية لدراسة فعالية إزالة عكارة المياه السطحية (مياه سد بلوران) باستخدام طريقة التخثير الكهربائي ما يلي:

1- يمكن الحصول على كفاءة جيدة في إزالة عكارة المياه، حيث تراوحت نسبة الإزالة ضمن المجال (78% ~ 99%) من أجل قيم شدات تيار كهربائي مطبقة ضمن المجال (200 ~ 600) mA الشكلان (3 و 4) وقيم أزمنة مكوث بالمفاعل ضمن المجال (3 ~ 20) min الشكلان (5 و 6). حيث لاحظنا تزايد فعالية إزالة العكارة مع تزايد كلاً من شدة التيار الكهربائي وزمن المكوث المطبقين في المفاعل، ولكن لاحظنا أنه ليس بالضرورة أن تؤدي -دوماً- زيادة شدة التيار الكهربائي وزمن المكوث المطبقين، لتزايد كفاءة إزالة العكارة، ويمكن تفسير ذلك بأنه مع زيادة شدة التيار الكهربائي وزمن المكوث المطبقين، تزداد كتلة المعدن المنحل وبالتالي تزداد كمية الغروانيات الموجبة الشحنة المتشكلة وتصبح أكبر من كمية الغروانيات السالبة الشحنة الموجودة أصلاً في الماء والمسيبة لعكارتته، وهذا يؤدي لتناقص كفاءة إزالة عكارة المياه (مثلاً: تناقصت كفاءة إزالة العكارة بتطبيق الشدة (600) mA، الشكل (3)، كما تناقصت كفاءة إزالة العكارة من أجل زمن المكوث (20) min، (الشكل 5)).

كما نفسر تفوق قيم كفاءة إزالة العكارة العالية للمياه مقارنةً بالكفاءة المحققة للمياه منخفضة العكارة (الشكل 3 و 4) من أجل نفس قيم شدات التيار الكهربائي وأزمنة المكوث المطبقة، بأن نسبة تشكيل الندف هي من الدرجة الثانية بالنسبة لتركيز عدد الجسيمات، وهذا يعني أن نسبة تشكيل الندف للمياه عالية العكارة هي أكبر منها بالنسبة للمياه منخفضة العكارة .

2- لاحظنا تزايد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة مع تزايد كلاً من شدة التيار الكهربائي وزمن المكوث في المفاعل، حيث تراوحت كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة ضمن المجال (1.2~11.4) Wh/m<sup>3</sup>.H<sub>2</sub>O وذلك من أجل زمن مكوث في المفاعل = (10) min. نفضّل دوماً اختيار قيمة الشدة الكهربائية التي تحقق استهلاك أقل للطاقة الكهربائية حتى ولو كانت الفعالية أقل بقليل من تلك المحققة عند تطبيق شدة تيار كهربائي أكبر (مثلاً تطبيق الشدتين (500، 600) mA في الشكل (8)). علماً بأن كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في كافة التجارب كانت قليلة جداً بالنسبة لمجال دراستنا هذا.

3- لاحظنا تزايد كمية المعدن المنحلة مع تزايد كلاً من شدة التيار الكهربائي المطبقة، وزمن المكوث في المفاعل (الشكلان 9 و 10)، وكانت كمية الحديد المنحلة أكبر بكثير من تلك الموافقة لها من الألمنيوم من أجل نفس شدة التيار الكهربائي وزمن المكوث المطبقين في المفاعل، مع ملاحظة أن قيم فعالية إزالة العكارة المحققة مقارنة نوعاً ما (علماً بأنها كانت أفضل بقليل في معظم التجارب باستخدام الكترودات الألمنيوم).

ونظراً لارتفاع كمية الحديد المنحلة مقارنةً مع كمية الألمنيوم المنحلة، ننصح باستخدام الكترودات الألمنيوم لمعالجة المياه الطبيعية وذلك للإقلال من كمية المعدن المنحل (حيث تعتبر مسألة خمولية الالكترودات - نتيجة العمل الطويل - هي أهم المسائل عند استخدام هذه الطريقة في المعالجة) وبالتالي للإقلال من كلفة المعالجة باستخدام طريقة التخثير الكهربائي. كما يمكن الإقلال من ثمن الكترودات باستخدام علب المشروبات المدورة في صناعة الصفائح اللازمة للمعالجة. ونؤكد على أنه من الضروري اختيار قيم شدات تيار كهربائي وأزمنة مكوث تحقق أقل استهلاك ممكن للطاقة الكهربائية وللمعدن المنحل، مع الأخذ بعين الاعتبار كفاءة الإزالة المحققة فمثلاً لاحظنا أن تطبيق الشدة (500) mA من أجل زمن مكوث = 10 min، يحقق نتائج جيدة مقارنةً مع تطبيق باقي القيم في مجال دراستنا هذا .

ونتوصل بالنتيجة إلى أنه يمكن اعتبار طريقة التخثير الكهربائي طريقة فعالة في معالجة المياه السطحية، بالإضافة لكونها تقلل كلفة معالجة المياه السطحية مقارنةً مع كلفة الطرق الكيميائية التقليدية المتبعة [13,14]. وننصح باستخدام طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة المياه السطحية، ولكن مع ضرورة التحديد الدقيق لمتغيرات التشغيل، حتى تكون كلفة المعالجة بهذه الطريقة أقل ما يمكن.

## المراجع:

.....

- [1] PAUL. AB, 1996 - Electrolytic treatment of turbid water in Package Plant. 22 nd WEDC Conference, New Delhi, India.
- [2] HOLT. P, BARTON. G, MITCHELL. C, 1999 - Electrocoagulation As a wastewater treatment. The third annual Environmental Engineering research Event - 23 - 26 November castlemaine, Victoria.  
[WWW.isf.uts.edu.au/publications/EERE-paper.pdf](http://WWW.isf.uts.edu.au/publications/EERE-paper.pdf)
- [3] SAKAKIBARA. Y, NAKAYAMA. T, 2001 - A Novel multi - Electrode system for Electrolytic And Biological water treatment: Electric charge Transfer and application to Denitrification. Wat Res. UK, vol. 35, No. 3, PP. 768 - 778.
- [4] YEH. R. S, WANG. Y. Y, WAN. C. C, 1995 - Removal of CU - EDTA compounds Via Electrochemical Process with Coagulation. Wat Res. UK, Vol. 29, No. 2, PP. 597 - 599.
- [5] LIN. SH, SHYU. CT, SUN. MC, 1998 - Saline wastewater treatment by electrochemical Method. Wat Res UK, Vol. 32, No. 4, PP. 1059 - 1066.
- [6] بنود، عبد الحكيم ، 2001 - "معالجة مياه صرف صناعة الجلود ودباغتها بالتخثير الكهروكيميائي". بحث علمي قدم إلى مؤتمر دور التوعية البيئية في إدارة المخلفات ، الكويت.
- [7] SONG. J, HAN.M, CHUNG.T, CHOI. S, 2000- The Effect of coagulation Time on the Turbidity Removal efficiency in electrocoagulation. Seoul - Korea.
- [8] MAMERI.N, YEDDOU.A.R, LOUNICI.H, BELHOCINE.D, GRIB.H, BARIOU.B, 1998-Deflouridation of Septentrional Sahara Water Of North Africa By Electrocoagulation process using Bipolar Aluminium electrodes .Wat Res .UK, Vol.32, No.5, pp.1604-1612.
- [9] STEPHENS .T, July 25, 2002 - New Stormwater Rules Looming For contractors.  
[WWW.djc.com/news/en/11135659.html](http://WWW.djc.com/news/en/11135659.html) .
- [10] BARKLEY.P.N, FARREL.C, WILLIAMS.T, 1993 - Electro-Pure Alternating current Electrocoagulation – Environmental protection Agency .
- [11] JIANG. JQ, GRAHAM. N.J.D, ANDRÉ. C.M, KELSALL. G H, BRANDON. N. P, Chipps. M. J, 2002 - Comparative performance of an electrocoagulation / flotation system with chemical coagulation / dissolved air flotation: a Pilot - Scale trial. Water science & Technology: water supply. UK, Vol. 02, No. 1, PP. 289 - 297.

- [12]ROBINSON.V,2003-Electrofloculation in the treatment of polluted Water .Australia .[WWW.rotaloo.com/electorfloc.pdf](http://WWW.rotaloo.com/electorfloc.pdf) .
- [13] JUNG. Y. K, HAN. M.Y, 2001 - Simultaneous Removal of cadmium and Turbidity in contaminated soil - washing water By Electrocoagulation  
School of civil, urban & Geosystem Engineering seoul national University, seoul, Korea.
- [14] JIANG. JQ, GRAHAM. N, ANDRÉ. C, KELSALL. G H, BRANDON. N, 2002 - Laboratory study of electrocoagulation- flotation for water treatment. Wat Res UK, vol. 36, No.16, PP. 4064 - 4078.