

## دراسة تأثير بارامترات التشغيل في فعالية الفلتر الكهروكيميائية للمياه ضمن محطة القوى العاملة في مصفاة بانياس

علي علي \*

ميساء شاش \*\*

هيثم شاهين \*\*\*

بشار زيدان \*\*\*\*

(تاريخ الإيداع ٥ / ٢ / ٢٠٢٠ . قبل للنشر ٢٣ / ٣ / ٢٠٢٠)

### الملخص

استُخدمت تقنية الفلتر الكهروكيميائية في معالجة مياه نهر السن، المغذية للمحطة الحرارية لمصفاة بانياس؛ إذ جرى تنفيذ خلية معالجة كهروكيميائية تتألف من ثلاثة أزواج من الإلكترودات، على شكل صفائح ذات أبعاد (25×4×0.2cm)، استخدم ثلاثة أنواع من المواد (ألنيوم، وفولاذ مقاوم للصدأ، وغرافيت)، موضوعة ضمن صندوق بلاستيك، بحيث يغمر (90%) من مساحة سطوح الإلكترودات في الماء. دُرِس تأثير بارامترات التشغيل (كثافة التيار، وكثافة التيار الكهربائي، و pH مياه التغذية) على فعالية المعالجة الكهروكيميائية في تخفيض تركيز مجموع المواد الصلبة المنحلة، والعاكارة، والناقلية الكهربائية، ومحتوى الأجسام الصلبة الكلية المنحل، وقساوة المياه وتركيز شوارد الحديد، بينت النتائج أن أعلى فعالية للخلية الكهروكيميائية في معالجة المياه كانت باستخدام إلكترودات من الألنيوم عند كثافة تيار (250A/cm<sup>2</sup>)، حيث انخفض تركيز المواد الصلبة المنحلة والناقلية الكهربائية والعاكارة بالنسب (96%) و(96.5%) و (100%) بعد ساعة من عملية الفلتر، وقد تم الحصول على أعلى فعالية لعمل خلية الفلتر الكهروكيميائية في الوسط المعتدل لمياه التغذية (pH=7).

كما أشارت نتائج التحليل باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا الأيونية إلى انخفاض تركيز الشوارد الموجبة والسالبة الموجودة في عينات المياه مع تقدم زمن الفلتر، بحيث تزال تماماً بعد ساعة من عملية الفلتر. **الكلمات المفتاحية:** معالجة كهروكيميائية، إلكترودات معدنية، العاكارة، الناقلية الكهربائية، الكروماتوغرافيا الأيونية.

\*أستاذ في قسم هندسة تقانة الأغذية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.

\*\* أستاذ مساعد في قسم هندسة المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.

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

\*\*\*\* طالب دكتوراه في قسم هندسة المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية

## Study of processing paramteres affected electrochemical Treatment of the water for Baniyas Refinery Thermal Power Plant

Ali Ali\*

Maysaa Shash\*\*

Haitham shaheen\*\*\*

Bashar Ziedan\*\*\*\*

(Received 5 / 2 / 2020 . Accepted 23 / 3 / 2020 )

### ABSTRACT

In this research electrochemical filtration technique was used to treat Al-Sin river water that feed thermal power plant of Baniyas refinery Company, to reduce the effects of corrosion through the production of industrial water. The electrochemical processing cell consists of three pairs of electrode plates with dimensions (25×4×0.2cm), Three types of materials were used as electrodes (aluminum, stainless steel, graphite), the plates were placed in a plastic box where only 90% of the electrode plates surfaces were immersed in water. The effect of the operating parameters (type of electrodes, current density, and pH of feed water) on the effectiveness of electrochemical processing were studied in reducing the concentration of total dissolved solids, turbidity, electrical conductivity, NaCl and Fe concentration and total hardness.

The results showed that the highest efficiency of the electrochemical cell in water treatment was using aluminum electrodes at the highest current density (250A/m<sup>2</sup>). The concentration of electrical conductivity, total dissolved solids, and turbidity reduced by (96%), (96.5%), and (100%) respectively at the end of the treatment process.

The study also showed that the highest efficacy of the water treatment was in neutral medium (pH=7). Results obtained by Ion Chromatography technique revealed that concentrations of cations and anions in water samples decrease as time of process increases.

**Key words:** electrochemical treatment, metal electrodes, Turbidity, conductivity, Ion Chromatography.

---

\* Professor, Department of Food Technical, Faculty of Technical Engineering Tartous University – Syria.

\*\* Associate Professor, Department of Equipments and Vehicles Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartous University – Syria.

\*\*\* Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University – Syria

\*\*\*\* Postgraduate student, Department of Equipments and Vehicles Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartous University – Syria.



- النحاس: والذي قد يترسب ويستقر في العنقات العاملة بضغط عالي، يخفض فعاليتها ويستنزج كلف تنظيف عالية، وقد يتطلب تغيير التجهيزات.
- السيليكا: يمكن أن تشكل قشور، تسبب الانسدادات، والتآكل.
- الكالسيوم: تسبب تشكل القشور ويعتمد ذلك على طبيعة مياه التغذية.
- المغنيزيوم: وهو يتحد مع الفوسفات ويمكن أن يلتصق على الأجزاء الداخلية للمرجل والأنابيب، بحيث يجذب مزيداً من الأجسام الصلبة، وتشكل القشور.
- الألمنيوم: يترسب كقشور على الجدران الداخلية للمرجل، ويتفاعل مع السيليكا ويشكل قشوراً.
- الغازات المنحلة: مثل الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون، وتسبب تآكلاً شديداً لأنابيب المرجل.

### أهمية البحث وأهدافه:

يستخدم الماء في محطات توليد الطاقة لإنتاج البخار المحمص اللازم لتدوير عنقاتها، وكوسيط للتبريد والعمليات المختلفة، ووفقاً للمواصفات القياسية العالمية (JIS B8223, 2006) التي تتعلق بالشروط والمعايير المطبقة على مياه تغذية محطات توليد الطاقة الحرارية يجب أن تتمتع هذه المياه بالمواصفات الآتية والجدول (1) يوضح أهم البارامترات التي يجب أن تتصف بها مياه تغذية محطات الطاقة الحرارية:

الجدول (1) مواصفات مياه تغذية محطات الطاقة الحرارية وفق المواصفة القياسية (JIS B8223-2006)

البارامتر	القيم المقبولة
pH	8.5-9.3
تركيز الحديد ( $\mu\text{g/L}$ )	$2 \geq$
الناقلية الكهربائية ( $\mu\text{s/m}$ )	$20 \geq$

وبالتالي يهدف البحث لمعالجة مياه نبع السن المغذية للمحطة الحرارية لمصفاة بانياس بهدف الحصول على ماء عالي النقاء يفي بالشروط والمواصفات العالمية، وذلك لتخفيض التآكل والاهتراء الذي يصيب العنقات، وما يترتب عليه من كلف صيانة واستبدال وتوقف عن العمل، ويمكن أن نجل أهداف البحث بالنقاط الآتية:

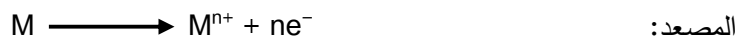
- الوصول بالمياه إلى درجة عالية من النقاء، حيث تكون خالية من الشوارد والعكارة ومأمونة من النواحي الكيميائية والبيئية.
- التقليل من عمليات الصيانة والإصلاح والاستبدال ضمن المجموعات العاملة في المحطة الحرارية، من خلال الحد من الاهتراء والتآكل الناتج عن الشوارد والأملاح الموجودة في مياه التغذية.
- تخفيض كبير في كمية كواشف التنشيط المستخدمة وبالتالي زيادة حمولة الوحدة المعالجة.

### مواد وطرائق البحث:

- مبدأ عمل تقانة الفلتر الكهروكيميائية (Feng, *etal.*, 2016; Dheeravath, *etal.*, 2018)

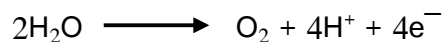
تُعدّ عملية الفلتر الكهروكيميائية معالجة بديلة لأنظمة التخثير الكيميائي التي تستخدم الأملاح المعدنية والبوليميرات، وتتضمن آلية المعالجة الكهروكيميائية التخثير، والامتزاز، والترسيب، والطفو، ويُعدّ اختيار نوع الإلكترود حاسماً في فعالية هذه المعالجة والتي استخدمت في معالجة مياه الصرف الصحي، والأنسجة، ومياه صرف معاصر الزيتون، وصناعة الخميرة، والمياه الملوثة في المداغ، والمياه الملوثة بالمستحضرات الصيدلانية والعقاقير الطبية.

فعند مرور التيار الكهربائي عبر الإلكترود المعدني، يتأكسد المعدن محرراً الشوارد الموجبة  $M^{n+}$  عند



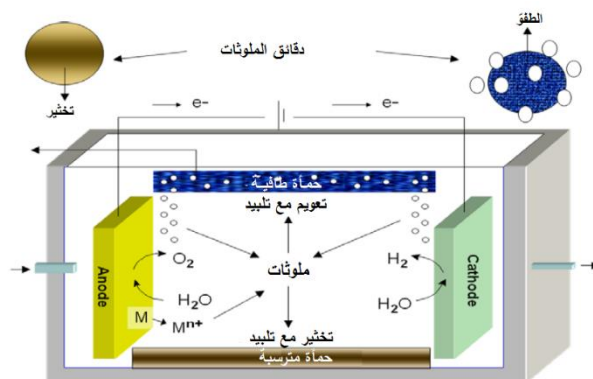
وتعد  $M^{n+}$  مخثرات فعالة لطفو الجسيمات، ويمكن لأيونات المعدن المتحللة أن تشكل شبكات من  $M-O-$

والتي بإمكانها امتزاز الملوثات الموجودة في الماء، كما ينبعث الأوكسجين عند المصعد وفق التفاعل الآتي:



بينما ينطلق غاز الهيدروجين عند المهبط وفق التفاعل الآتي:  $2H_2O + 2e^{-} \longrightarrow H_2 + 2OH^{-}$

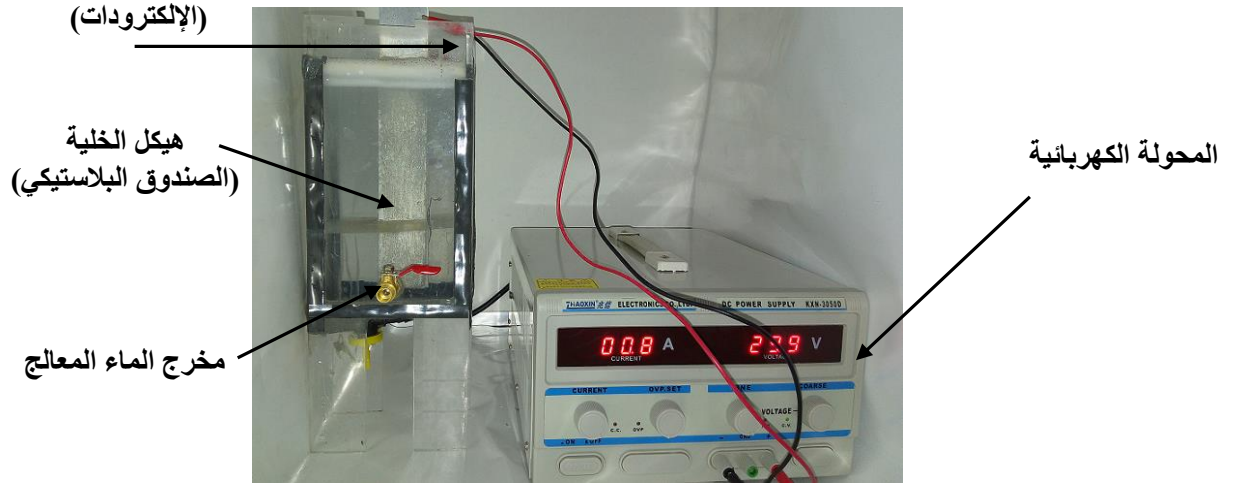
تعمل الفقاعات الغازية المتشكلة (الهيدروجين والأوكسجين) على إزالة الملوثات فيما يسمى بعملية الطفو الكهربائي (electroflotation process)، والتي تحصل بالتزامن مع عملية التخثير الكهربائي (electroagulation process)، ويوضح الشكل (2) مبدأ عمل خلية الفلترة الكهروكيميائية والتفاعلات المختلفة التي تحدث:



الشكل(2) شكل تخطي يمثل خلية الفلترة الكهروكيميائية والتفاعلات المختلفة التي تحصل فيها

#### • خلية المعالجة الكهروكيميائية:

أجريت المعالجات الكهروكيميائية ضمن خلايا المعالجة الكهروكيميائية المكونة من ثلاثة أزواج من الإلكترودات المتقابلة، حيث تم استخدام إلكترودات من عدة مواد: الألمنيوم، والفولاذ غير القابل للصدأ، والغرافيت على شكل صفائح ذات أبعاد (25×4×0.2 cm)، وقد أخذت عينات مياه التغذية للخلية من مياه نهر السن (TDS=265)، بتطبيق جهد كهربائي متواصل باستخدام محولة تيار كهربائي (AC→DC) لفترات زمنية (15-60min)، حيث تملأ الخلية بحجم (2[liter]) من المياه، وبعد انتهاء زمن المكوث المحدد ضمن المفاعل تفرغ المياه من أسفل خلية المعالجة الكهروكيميائية، لتدخل إلى حوض ترسيب تبقى فيه ساكنة لمدة ساعة حتى يتم ترسيب الندف المتشكلة من عملية المعالجة، وبعد انتهاء زمن الترسيب تؤخذ عينة من القسم العلوي من المياه وترشح باستخدام ورقة ترشيح (13906-47ACN) حجم مسامها (0.45μm)، وقد تم إجراء ثلاثة مكررات لكل قياس وأخذ المتوسط الحسابي لها، ويمثل الشكل(3) النموذج التجريبي لخلية الفلترة الكهروكيميائية المستخدمة:

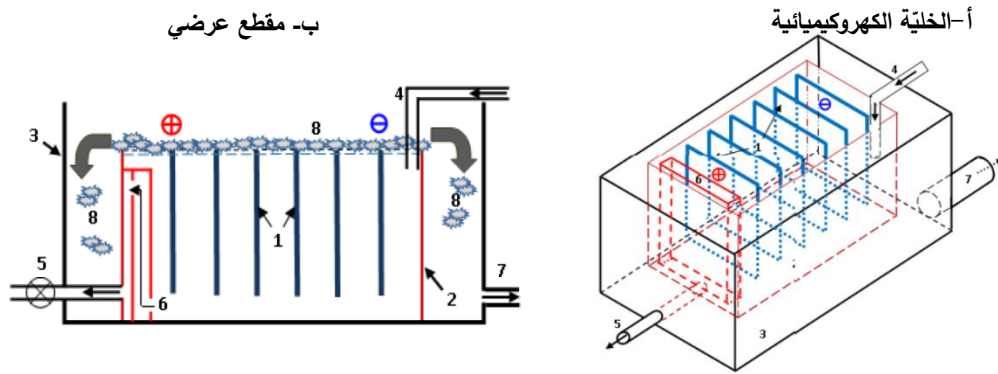


الشكل (3) النموذج التجريبي لخلية الفلتر الكهروكيميائي المستخدم

وقد وضعت الإلكترودات ضمن صندوق بلاستيكي كما هو موضح بالشكل (4) بحيث غُمر (90%) من مساحة سطوح الإلكترودات في الماء، وحسبت كثافة التيار ( $A/m^2$ ) من خلال قسمة شدة التيار (I) على مساحة أحد الأقطاب الموجبة أو السالبة (S):

$$\text{Current Density} = \frac{I}{S}$$

وبعد المعالجة الكهروكيميائية نُظِّفَت الإلكترودات بمحلول ممدد من حمض كلور الماء (HCl 6%) لإزالة البقايا عن سطوح الإلكترودات.



- 1- إلكترود 2- الخلية الكهروكيميائية
- 3- هيكل التجميع 4- مدخل الماء
- 5- مخرج الماء 6- مجمع الندف
- 7- مخرج الحماية 8- الحماية الطافية

الشكل (4) رسم تخطيطي لخلية الفلتر الكهروكيميائية المصممة وشكل المقطع العرضي لها

#### • قياس الناقلية الكهربائية ومحتوى الأجسام الصلبة:

جرى قياس الناقلية الكهربائية ومحتوى الأجسام الصلبة لمختلف عينات المياه باستخدام الجهاز الرقمي الموضح في الشكل (5) المزود من شركة (Milwaukee)، والحاوي على إلكترود يوضع في عينات المياه المختلفة وتقرأ النتيجة على شاشة الجهاز بـ  $[\mu s/cm]$  للناقلية وبـ  $[PPm]$  لـ TDS.



الشكل (5) جهاز قياس الناقلية المستخدم

وتحسب فعالية المعالجة (efficiency) والتي تعبر عن نسبة تخفيض البارامتر المدروس بالعلاقة الآتية:

$$\text{Efficiency}(\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

حيث (A) قيمة البارامتر في مياه التغذية، و B: قيمة البارامتر بعد الفلتر الكهروكيميائية

● قياس عكارة المياه:

قيست عكارة المياه باستخدام جهاز العكارة (HI93703 Portable Turbidity Meter) المزود من شركة

(HANNA)، وتقدر العكارة بوحدة (NTU)، وجهاز العكارة موضح في الشكل (6):



الشكل (6) جهاز العكارة المستخدم

● قياس تركيز الشوارد:

جرى قياس تركيز الشوارد في عينات المياه باستخدام جهاز الكروماتوغرافيا الأيونية من

النوع (Shimadzu GCMS-QP2010 SE) الموضح بالشكل (7) :



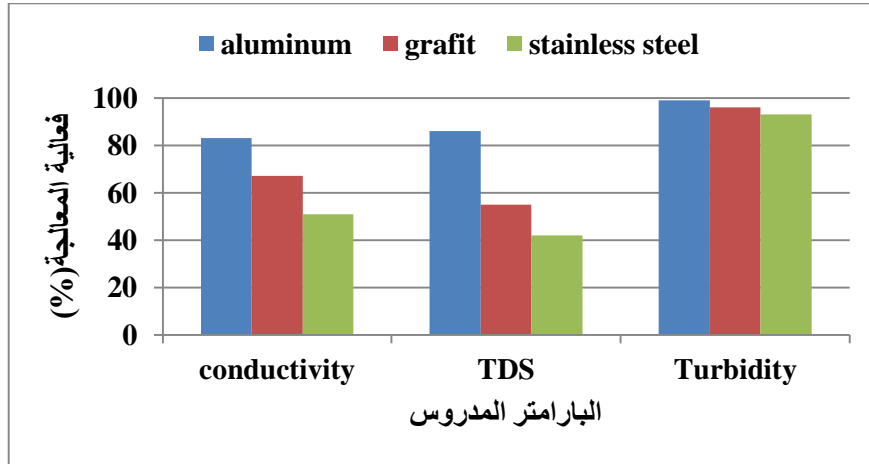
الشكل (7) جهاز الكروماتوغرافيا الأيونية من النوع (Shimadzu GCMS-QP2010 SE)

وتعتمد كروماتوغرافيا التبادل الشاردي (IC) على التفاعل الكيميائي التمثيلي بين الشوارد في المحلول والطور الثابت الحامل للزمر الوظيفية، والتي يمكنها تثبيت الشوارد كنتيجة للقوى الكهربائية المتبادلة بينها، وبالتالي في حال فصل الشوارد السالبة يجب أن تكون الزمر الوظيفية الموجودة على الطور الثابت موجبة الشحنة ومن الزمر الوظيفية المستخدمة: في حال الشوارد السالبة (زمرة الأمونيوم الرباعي  $(R_3N^+ - \text{quaternary ammonium group})$ ). وفي حال الشوارد الموجبة: زمرة السلفونيك أسيد ( $(SO_3^- - \text{Sulfonic acid group})$ ). وبالتالي فإن الشوارد المتماثلة بالشحنة يمكن أن تتبادل بشكل تام وعكسي بين الأطوار، وتؤدي عملية التبادل الشاردي إلى حالة التوازن للشوارد المراد تحليلها بين الطورين الثابت والمتحرك، وهذا يعتمد على ألفة تلك الشوارد للزمر الوظيفية الموجودة على الطور الثابت.

### النتائج والمناقشة:

#### 1- تأثير نوع القطب على كفاءة الخلية الكهروكيميائية (type of electrode):

تُعدّ الإلكترودات بمثابة قلب الخلية الكهروكيميائية، وبالتالي فالاختيار الأمثل لمادة الإلكترود يرفع فعالية المعالجة (Oke, *etal.*, 2014; Demirci, *etal.*, 2015). وقد استخدمت ثلاثة أنواع من الإلكترودات: الفولاذ المقاوم للصدأ والجرافيت والألمنيوم، حيث أجريت الدراسة أولاً عند كثافة تيار  $(150A/m^2)$  لمدة ساعة؛ وذلك لمعرفة نوع الإلكترود الأفضل في معالجة المياه، بحيث تتم مقارنة فعالية الإلكترودات في إزالة العكارة و(TDS) وفي تخفيض الناقلية الكهربائية للمياه: وقد بينت النتائج الموضحة بالشكل (9) أن الإلكترودات المصنعة من الألمنيوم هي الأكثر فعالية في معالجة المياه، حيث تخفض كلاً من الناقلية الكهربائية والمواد الصلبة والعكارة بالنسب الآتية: (83%) و(86%) و(99%) على الترتيب، ويرجع ذلك إلى أن الألمنيوم يميل أكثر من الستانلس ستيل والجرافيت لتشكيل الهيدروكسيد المعدني، والذي يقوم بامتزاز الأجسام الغروانية المعقدة، والشوارد الموجودة في المياه الخام، كما أنه يُعدّ عامل تخثير يقوم بتشكيل معقدات مع الشوارد والأجسام الصلبة المنحلة وترسيبها (Mahmada, *etal.*, 2016).

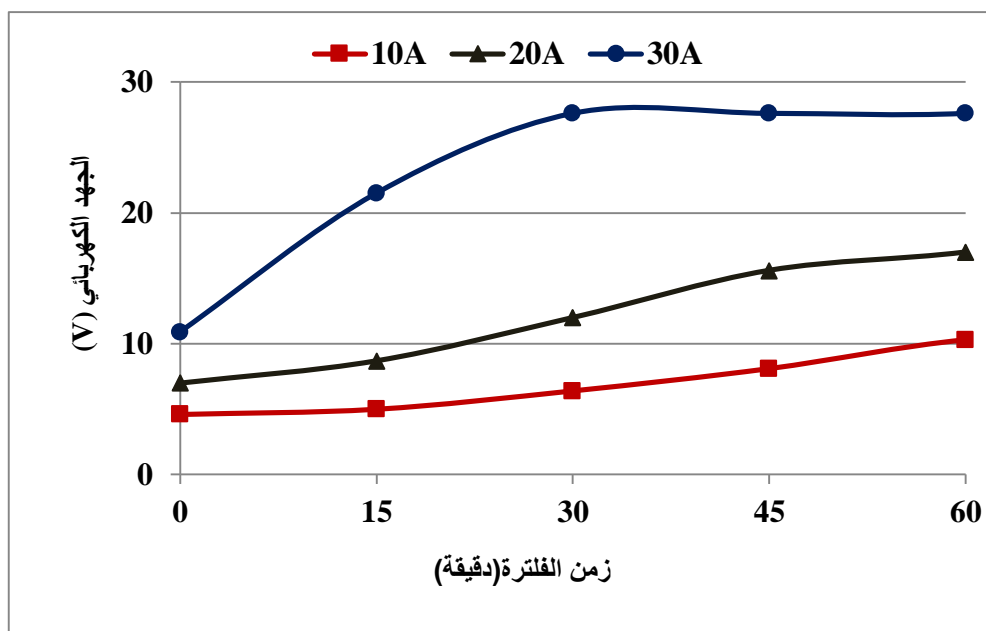


الشكل (9) مقارنة بين فعالية الفلتر الكهروكيميائية باستخدام إلكترودات من مواد مختلفة بعد ساعة من عملية الفلتر وبما أن فعالية المعالجة باستخدام إلكترودات الألمنيوم هي الأعلى، ولذا فقد جرى استخدامها في جميع التجارب اللاحقة.

#### 2- تغير الجهد الكهربائي مع تغير زمن الفلتر للخلية الكهروكيميائية:

يوضح الشكل (10) تغير الجهد الكهربائي مع تقدم زمن الفلتر عند شدّات مختلفة من التيار، حيث يلاحظ زيادة فرق الكمون الكهربائي مع زيادة زمن الفلتر وكذلك مع زيادة شدة التيار الكهربائي:





الشكل (10) تغير الجهد الكهربائي مع تقدم زمن الفلتره عند شدات مختلفة من التيار

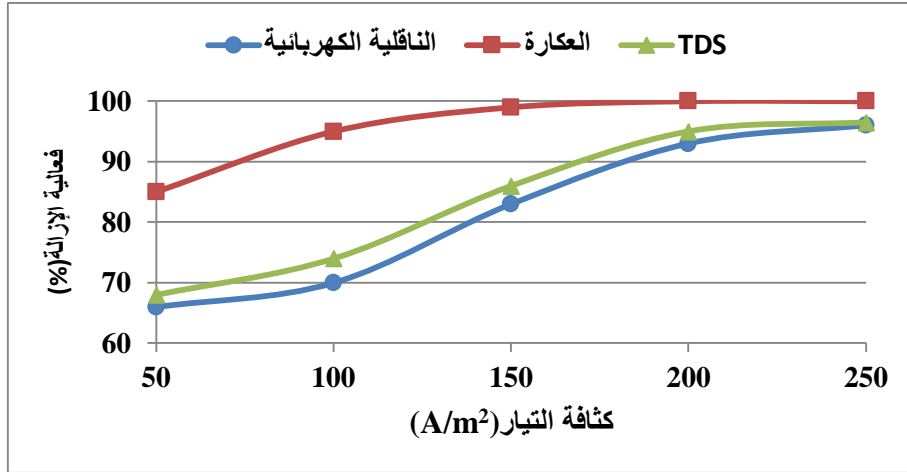
وقد أشار الباحثان Yang و Tang (٢٠١٨) أنه مع تقدم زمن الفلتره تتسارع عمليات أكسدة المواد العضوية الموجودة ضمن الماء الخام ويتشكل نتيجة لذلك غاز الأوكسجين وهو ما يؤدي لزيادة الجهد الكهربائي للخلية، كما لوحظ تشكل عوامل مؤكسدة مثل:  $(H_2O_2)$ ،  $(Cl_2)$ ، و  $(ClO^-)$  مع زيادة تركيز  $O_2$  في المياه المعالجة، ومع زيادة تشكل فقاعات الغاز  $O_2$  يزداد الجهد الكهربائي للخلية، وتتعرض عملية طفو الملوثات ويتشكل ما يسمى الحمأة الطافية.

### 3- تأثير كثافة التيار الكهربائي (Current Density):

تُعدّ كثافة التيار الكهربائي من أهم البارامترات التي لها تأثير حاسم في فعالية المعالجة الكهروكيميائية، لكونه يؤثر بكثافة تشكل الهيدروكسيدات المعدنية (metal hydroxide) خلال عملية الفلتره.

تسبب كثافة التيار العالية تحلل مادة الإلكتروود، وزيادة مردود إزالة الشوارد والملوثات الموجودة في الماء، ويرجع ذلك إلى زيادة تركيز الشوارد المتشكلة على سطح الإلكتروودات، والتي تحفز وتنشط زعزعة استقرار الجزيئات والملوثات، وزيادة تشكل تجمعات الحمأة وكذلك زيادة انبعاث غاز الهيدروجين.

كما تؤدي زيادة كثافة التيار الكهربائي إلى زيادة استهلاك مادة المصعد كما هو موضح بالشكل (11)، ويؤدي إلى حدوث الأكسدة المصعدية (anodic oxidation)، وتسارع عمليات الأكسدة مع زيادة كثافة التيار، وهو ما يؤدي لتشكل هيدروكسيدات معدنية غير متبلورة (amorphous metal hydroxides) في جوار الإلكتروود، وفي كتلته الداخلية كذلك (Kuokkanen, *etal.*, 2013).



الشكل (11) تأثير كثافة التيار في فعالية الفلترة الكهروكيميائية باستخدام إلكترودين من الألمنيوم، بعد ساعة من عملية الفلترة، pH=7، والمسافة بين الإلكترودين 10mm

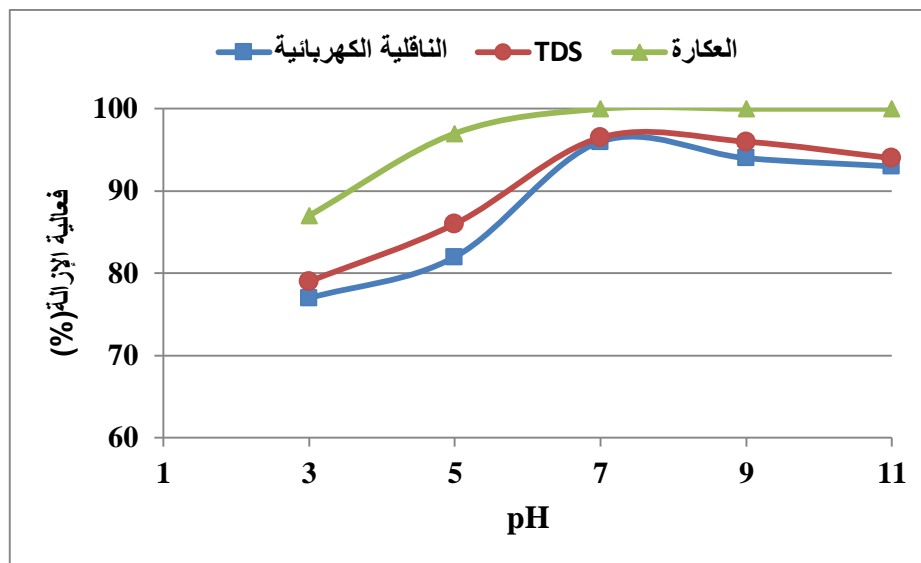
وتعد الأيونات  $M^{n+}$  مخثرات فعالة لطفو الجسيمات، ويمكن لأيونات المعدن المتحللة أن تشكل شبكات من M-O-M-OH والتي بإمكانها امتزاز الملوثات الموجودة في الماء، تتضمن آلية المعالجة الكهروكيميائية التخثير، والامتزاز، والترسيب، والطفو، ويُعد اختيار نوع الإلكتروود حاسماً في فعالية هذه المعالجة والتي استخدمت في معالجة مياه المجاري، والأنسجة، ومياه صرف معاصر الزيتون، وصناعة الخميرة، والمياه الملوثة في المدابغ، والمياه الملوثة بالمستحضرات الصيدلانية (Choi, *etal.*, 2009).

كما تؤدي زيادة كثافة التيار لزيادة سرعة تشكل الفقاعات الغازية، وزيادة حجم الندف والحماة المتشكلة على سطح الماء.

#### 4- تأثير درجة حموضة مياه التغذية (pH):

تُعدّ درجة الحموضة عاملاً مهماً يؤثر في فعالية المعالجة الكهروكيميائية للمياه الخام، وتعتمد فعالية الإزالة على امتزاز الملوثات على هيدروكسيد الألمنيوم  $Al(OH)_3$ ، وبالتالي على استقرار هذه الهيدروكسيدات والذي يتأثر تأثيراً مباشراً بدرجة حموضة المياه وتركيز الشوارد  $Al^{3+}$  في الماء (Jiang, *etal.*, 2002; Mouedhen, *etal.*, 2008)

يؤدي انخفاض (pH) إلى زيادة معدل التآكل كما يؤدي إلى انحلال متسارع لطبقة الحماية المغنيتيتية magnetite protective layer، وبالتالي يجب ضبط التسربات في المكثف، وكذلك الإزالة غير الكافية لثاني أكسيد الكربون بوساطة نازع الهواء (deaerator)، وتلعب درجة حموضة مياه التغذية (pH) دوراً أساسياً في التأثير على فعالية المعالجة الكهروكيميائية، فمع زيادة (pH) مياه التغذية الداخلة إلى المحللة الكهروكيميائية يزداد انحلال إلكترودات الألمنيوم ويزداد تشكل الهيدروكسيدات المعدنية التي تمتص الجزيئات العضوية مسببة زيادة في فعالية الإزالة كما يتضح من خلال الشكل (12):

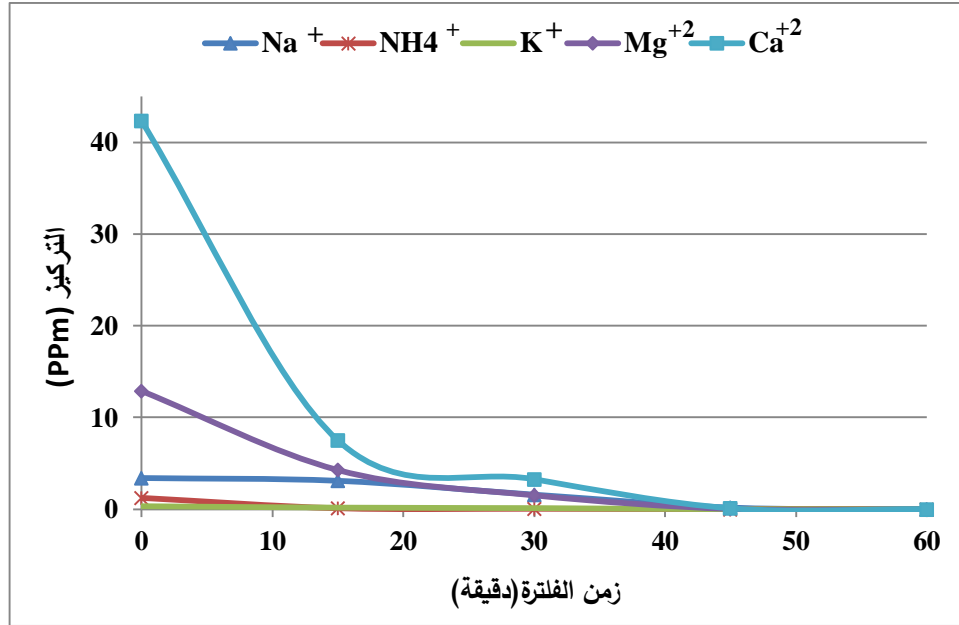


الشكل (12) تأثير درجة حموضة مياه التغذية (pH) على فعالية المعالجة، كثافة التيار  $250A/m^2$  ، زمن الفلتره [60min]، المسافة بين الإلكتروودات [10mm]

وبالتالي فكلما ازداد تركيز شوارد الهيدروكسيل ( $OH^-$ ) يزداد تشكل هيدروكسيد الألمنيوم، والتي تقوم بامتزاز الجزيئات والملوثات الموجودة في الماء، والتي تشكل معقدات تترسب بما يسمى الحمأة الراسبية. وعند قيم (pH) المنخفضة تتأين مجموعات الهيدروكسيل، وترتفع القوة الشارديّة للشوارد ( $H^+$ )، ويحصل تنافر بينها وبين الشوارد المعدنية الموجبة في محلول التغذية مما يؤدي لتخفيض فعالية الفلتره الكهروكيميائية (Alejandra, *etal.*, 2019).

#### 5- إزالة الشوارد:

يتبين من خلال الشكل (13) انخفاض تركيز الشوارد الموجبة مع تقدم زمن الفلتره الكهروكيميائية، حيث ينخفض تركيزا شوارد الكالسيوم والمغنيزيوم من (42PPm) و (12PPm) قبل الفلتره إلى (3.36PPm) و (1.5) على الترتيب بعد نصف ساعة من عملية الفلتره، ولتنزل تماماً بعد ساعة من عملية الفلتره، ويمثل تركيز هاتين الشارديتين القساوة الكلية للمياه، وبالتالي تؤدي المعالجة الكهروكيميائية للمياه الخام إلى إزالة عسر المياه بالكامل.



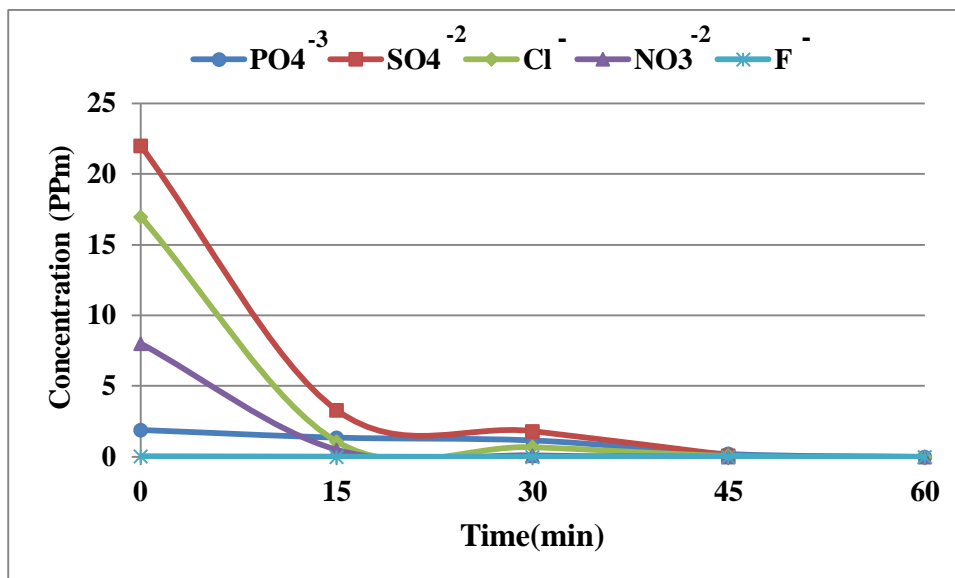
الشكل (13) نتائج تحليل الشوارد الموجبة باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا الأيونية عند أزمنة فلترة مختلفة، كثافة التيار (250A/m<sup>2</sup>) والمسافة بين الإلكترودين 10mm ودرجة الحموضة: ، pH=7.

كما تؤدي الفلترة الكهروكيميائية إلى إزالة تامة لشوارد الأمونيوم والبوتاسيوم والصوديوم بعد ساعة من عملية الفلترة .

وتتوافق هذه النتائج مع ما توصل له الباحثين *Khairi, et al.* (٢٠١٥) والذي قام بدراسة إزالة قساوة الماء من عينة مأخوذة من ماء الإسالة في منطقة الجادرية في بغداد، من خلال خلية كهروكيميائية باستخدام أقطاب من مادة الغرافيت (كقطب موجب) والمصعد وثلاثة أقطاب من مادة الألمنيوم كقطب (سالب) المهبط، وتم ربط الأقطاب بشكل أحادي إلى مصدر تيار مستمر، حيث أظهرت نتائج البحث أنه يمكن الوصول إلى فعالية إزالة (85%) عند درجة حموضة 7.5 وجهد كهربائي 28.5 فولت مع زمن استبقاء الماء مدة 60 دقيقة، وقد خلصت نتائج البحث لإمكانية استخدام التقنية الكهروكيميائية كطريقة فعالة لإزالة عسر الماء .

كما يؤدي وجود شوارد سالبة في مياه تغذية المرجل في محطات توليد الطاقة إلى تسارع التشقق الإجهادي والتآكل لشفرات العنف، وأنابيب نقل البخار، ولذلك لابد من إزالتها من مياه التغذية الداخلة لمحطات توليد الطاقة الحرارية.

ويتبين من خلال الشكل (14) أن عملية الفلترة تؤدي إلى إزالة تامة للأيونات السالبة الموجودة في الماء الخام، فمثلاً تؤدي لإزالة شاردتي الكبريتات والكلوريد الموجودتين بالتراكيز الأولية (22PPm) و(17ppm) في المياه الخام بعد (45دقيقة) من عملية الفلترة، وهي شوارد مؤذية جداً تؤدي لتآكل شفرات العنف وأنابيب التوصيل؛ كما تؤدي الفلترة الكهروكيميائية إلى إزالة شوارد النترات والفلووريد والفوسفات بشكل كامل بعد ساعة من عملية الفلترة.



الشكل (14) نتائج تحليل الشوارد السالبة باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا الأيونية عند أزمنة فلترة مختلفة، كثافة التيار (250A/m<sup>2</sup>) والمسافة بين الإلكترودين 10mm ودرجة الحموضة pH=7 .

ويمكن تفسير انخفاض تركيز الأيونات الموجودة في الماء بشكل متسارع مع تقدم زمن الفلترة بزيادة معدل تأكل معدن المصعد مع الزمن، وزيادة تحرير الأيونات المعدنية التي تعمل كمخثرات، ترتبط بالشوارد الموجودة في الماء، بحيث تشكل مخثرات ومعقدات تقوم بتحطيم استقرار الدقائق والشوارد وترسيبها من خلال آلية الامتزاز، وهو ما يؤدي لزيادة فعالية الفلترة الكهروكيميائية (Van, and Yeonghee, 2018).

وبالتالي يمكن تخمين كتلة المعدن المنحل من إلكترودات المصعد وكذلك غاز الهيدروجين المتشكل نتيجة إرجاع الماء عند المهبط خلال زمن (t) عند شدة تيار (I) وفق قانون فاراداي (Chopra, *etal.*, 2011):

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F}$$

حيث (m) كتلة المعدن المنحل أو كتلة الغاز المتشكل (g)، و I : شدة التيار (A) ، و (M) : الكتلة المولية للمعدن المستخدم (g.mol<sup>-1</sup>) و (F) : هو ثابت فاراداي (96500mol<sup>-1</sup>) و n : عدد الإلكترونات ضمن التفاعل، و t : زمن الفلترة (s) .

#### الاستنتاجات والتوصيات:

##### الاستنتاجات:

- نسبة إزالة عكارة المياه باستخدام خلية الفلترة الكهروكيميائية وصلت إلى (100%).
- المعالجة الكهروكيميائية باستخدام إلكترودات من الألمنيوم هي الأعلى مقارنة بالخلية التي تستخدم الفولاذ غير القابل للصدأ أو الغرافيت.
- يزداد فرق الكمون الكهربائي مع زيادة زمن الفلترة وكذلك مع زيادة شدة التيار الكهربائي؛ مما يرفع كفاءة عملية المعالجة.

- انخفض محتوى المياه من الأجسام الصلبة المنحلّة بنسبة (96.5%) عند الشروط المثلى للمعالجة.
  - انخفضت الناقلية الكهربائية للمياه بنسبة (96%) بعد (60min) من عملية الفلتر، مما يشير إلى تخفيض كبير في مجموع الشوارد ضمن المياه المعالجة.
  - فعالية المعالجة الكهروكيميائية للمياه في الوسط المعتدل (pH=7) كانت الأعلى.
  - بينت نتائج التحليل الكروماتوغرافي الأيوني أن المعالجة الكهروكيميائية أدت إلى إزالة الشوارد الموجبة والسالبة من عينات المياه بعد ساعة من عملية الفلتر.
- التوصيات:**

- يوصى بدراسة أنواع أخرى من الإلكترودات تكون مسامية لأجل زيادة السطح الفعال للتلامس مع الماء، وبالتالي زيادة فعالية المعالجة الكهروكيميائية.
- يوصى بدراسة فعالية خلية الفلتر الكهروكيميائية في معالجة أنواع مختلفة من مياه الصرف الصناعي، وكذلك في تحلية المياه.

## المراجع

- [1] ALEJANDRA, D., MARTINEZ, F., LOPEZ-ARAIZA, M. H., JAIME, S.F., and MONJE, A.M. 2019, *Pollutant Removal from Wastewater at Different Stages of the Tanning Process by Electrocoagulation. Journal of Chemistry Article ID 8162931, P1-9.*
- [2] CHOI, Y. G., KIM, S.H., AND KIM, H. J., 2009, *Effects of Current Density and Electrode Material on the Dewaterability of the Thickened Activated Sludge by Electro-Flotation. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 84(10):1493 – 1498.*
- [3] CHOPRA, A.K., SHARMA, A.K., AND KUMAR, V. 2011, *Overview of Electrolytic Treatment: An Alternative Technology for Purification of Wastewater. Archives of Applied Science Research, Vol. 3(5), 191-206.*
- [4] CHOSHNOVA, D, 2018, *Improving of the Water Preparation Systems in the Industry Thermal Power Plants. MATEC Web of Conferences, Vol. 145, 05016, 1-7.*
- [5] DEMIRCI, Y., PEKEL, L.C., and ALPBAZ, M, 2015, *Investigation of Different Electrode Connections in Electrocoagulation of Textile Wastewater Treatment. Int. J. Electrochem. Sci, Vol. 10, 2685 – 2693.*
- [6] DHEERAVATH, B., CHANDAN, V., SRILATHA, K., SHANKAR, G., RANI, Y., and VURIMINDI, H. 2018, *Industrial Wastewater Treatment Using Electrochemical Process. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 191,012022, 1-9.*
- [7] EL-HOSINY, F.I., SELIM, K.A., ABDEL KHALEK, M., and OSAMA, I, 2017, *Produced Water Treatment Using a New Designed Electroflotatin. Cell Int. J. Res. Ind. Eng, Vol. 6, No. 4, 823–883.*
- [8] Emerson Process Management, 2016. *Monitoring Steam Purity in Power Plants Part 1: Using Conductivity "Emerson Process Management 2400 Barranca Parkway Irvine, CA 92606 USA Liquid. CSC@Emerson.com©All rights reserved.*
- [9] FENG, Y., YANG, L., LIU, J., and LOGAN, B. 2016, *Electrochemical Technologies for Wastewater Treatment and Resource Reclamation, Environ. Sci: Water Res.Technol, Vol. 2, 800.*
- [10] GABRIELLI, P., GAZZANI, M., and MAZZOTTI, M 2018, *Electrochemical Conversion Technologies for Optimal Design of Decentralized Multi-Energy Systems:*

*Modeling Framework and Technology Assessment. Applied Energy*, Vol.221, 1July, pp. 557-575.

[11]JIANG, J. Q., GRAHAM, N., ANDRÉ, C., KELSALL, G. H., & BRANDON, N. 2002, *Laboratory Study of Electro-Coagulation–Flotation for Water Treatment. Water research*, 36(16), 4064-4078.

[12] KHAIRI, R. K., INMAR, N. and MOHAMMED A. M. 2015, *Hardness Removal from Drinking Water Using Electrochemical Cell. EEng. &Tech.Journal*, Vol.33, Part (A), No.1.

[13] KUOKKANEN, V., KUOKKANEN, T., RÄMÖ, J., and LASSI, U. 2013, *Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater-A Review. Green and Sustainable Chemistry*, 3: pp. 89-121

[14] MAHMADA, M.K.N., MOHD REMY ROZAINY, M.A.Z.M.R., ABUSTANB, I., AND BAHARUNA, N, 2016, *Electrocoagulation Process by Using Aluminium and Stainless Steel Electrodes to Treat Total Chromium, Colour and Turbidity. Procedia Chemistry*, Vol. 19, 681 – 686.

[15]MOUEDHEN, G., FEKI, M., WERY, M. D. P., & AYEDI, H. F. 2008, *Behavior of Aluminum Electrodes in Electrocoagulation Process. Journal of hazardous materials*, 150(1), 124-135.

[16] OKE, I.A., FEHINTOLA, E.O., OBIJOLE, O.A., FASUYI- ENANG, O., ADEKUNBI, E.A., and OLOYEDE, H.O, 2014, *Assessment and Optimization of Electrochemical Treatment of Typical Raw Water. Igdir Üni. Fen Bilimleri Enst. Derİgdir Univ. J. Inst. Sci. & Tech*, Vol. 4(1), 55-66

[17] PAN, H.Y., SNYDER, W.S., PACKMAN, A.I., LIN, Y.J., and CHIANG, P.C 2018, *Cooling Water Use in Thermoelectric Power Generation and its Associated Challenges for Addressing Water-Energy Nexus. Water-Energy Nexus*, Vol.Z, 26–41

[18] Van, K., N., Yeonghee, A., 2018, *Electrochemical Removal and Recovery of Iron From Groundwater Using Non-Corrosive Electrodes. Journal of Environmental Management*, V, 211, 1, P: 36-41.

[19]Water conditioning for Boiler feed Water and Boiler Water. JIS B8223-2006.

[20] YANG, B., and TANG, J. 2018, *Electrochemical Oxidation Treatment of Wastewater Using Activated Carbon Electrode. Int. J. Electrochem. Sci.*, 13, 1096 – 1104.