



الفلتر الكهروكيميائية للماء الخام ودورها في محطات توليد الطاقة الحرارية

علي علي¹، هيثم شاهين²، ميساء شاش³، بشار زيدان⁴*

¹ كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سوريا، aalimali1968@gmail.com

² كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا، shahinher@gmail.com

³ كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سوريا، mayssashash@tartous_university.education.sy

⁴ كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سوريا، basharzedan@gmail.com

* الباحث الممثل: بشار زيدان ، basharzedan@gmail.com

نشر في: 30 حزيران 2020

الخلاصة – تم في هذا البحث استخدام تقنية الفلتر الكهروكيميائية في معالجة مياه نبع السن المغذية للمحطة الحرارية في مدينة بانباس، وذلك لاستخدام المياه المعالجة في المراحل التابعة لهذه المحطة بهدف تدوير عفتاتها لتوليد الكهرباء، أجريت التجارب باستخدام كثافة تيار (100-500 A/m²)، واستخدم لذلك نموذج الدفعة (batch mode)، وتمت المعالجة عند أزمنة مكوث مختلفة، وتم دراسة تأثير (pH) مياه التغذية، ونوع الإلكترود، والمسافة بين الإلكترودين على فعالية المعالجة. وقد بينت نتائج الدراسة انخفاض تركيز الأجسام الصلبة الكلية المنحلة (TDS)، والناقلية الكهربائية للمياه وتركيز الملح (NaCl) في الظروف المثلى لعملية الفلتر (كثافة تيار = 500 A/m²)، والمسافة بين الإلكترودات = 10 mm) بالنسب (97%)، (94%) و (92%) على الترتيب عند استخدام إلكترودات من الألمنيوم بعد ساعة من عملية المعالجة.

الكلمات الرئيسية — معالجة كهروكيميائية، إلكترودات معدنية، كثافة التيار، ناقلية كهربائية.

1. المقدمة

ويستخدم ماء المرجل النقي لامتناس الطاقة الكيميائية الناتجة عن احتراق الوقود على شكل طاقة حرارية. وبالتالي فإن ماء المرجل يمر بدورة ويتم فقدان قسم منه من خلال التبخر، وكما تصريف، ويتم استهلاك نسبة 80% من الماء في محطات الطاقة الحرارية في نظام التبريد، ويتم فقدان حوالي 1.7% في عمليات التبخر [19].

وقد قام عدد كبير من الباحثين بتقييم وتحديد الشروط اللازم توفرها بنوعية المياه الداخلة إلى مراحل وعنفات محطات توليد الطاقة الحرارية، وقد تم تعديلها بانتظام بناء على نتائج عمليات التشغيل والصيانة، وقد ازداد في السنوات الأخيرة الاهتمام بمعالجة المياه الداخلة لمحطات توليد الطاقة، بهدف رفع كفاءة عمليات تشغيلها، ووقايتها من العوامل المسببة للصدأ والتآكل، بحيث تم التركيز على منع تشكل القشور المترسبة والمتشكلة من الأكاسيد المعدنية والملوثات، وكذلك الصدأ المسرع نتيجة جريان الماء (flow-accelerated corrosion) أو نتيجة استخدام الهيدرازين (hydrazine)، وكذلك نتيجة تلوث التوربينات الناتج عن تسرب المياح [15] [20].

ولبلوغ هذا الهدف يجب اختيار نظام فعال لمعالجة المياه بكفاءة عالية ورقابة دقيقة ومنتظمة، وتستخدم المبادلات الشارديّة على نطاق واسع في معالجة المياه الداخلة إلى محطات الطاقة الحرارية، حيث يتم الحصول من خلالها على ماء منزوع الشوارد، إلا أنها تتطلب عمليات تنشيط بشكل دائم ومستمر بعد أن تستنزف المواقع النشطة فيها، وتستخدم لهذه الغاية كميات كبيرة من الكواشف الكيميائية (حموض وأسس)، وبالتالي فهي معالجة مكلفة للغاية [18]، بينما تعتبر طريقة الفلتر الكهروكيميائية من أكثر طرق معالجة المياه فعالية في الحصول على ماء عالي النقاء خالي من الشوارد والشوائب التي تسبب تآكل أجزاء العنفات نظراً لامتلاكها العديد من المزايا الإيجابية كإنتاج حجم الحمأة المتشكلة بالمقارنة مع أنظمة المعالجة الكيميائية التقليدية، وسهولة تطبيقها وأتمتة جميع مراحلها، وانخفاض كلفة صيانتها، كما أنها تجري عند درجة حرارة الوسط [23].

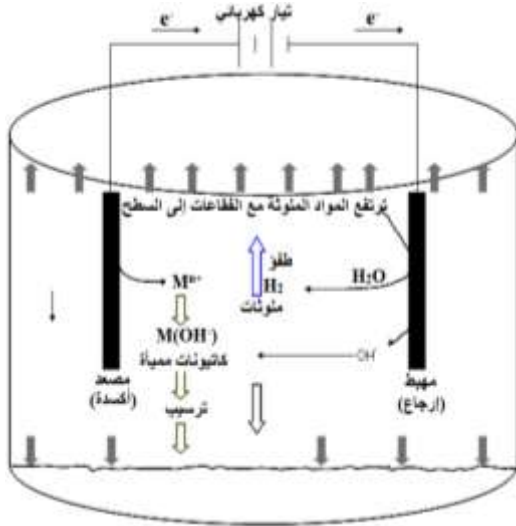
يعتمد مبدأ عمل محطات القوى الكهروحرارية على تحويل الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق أنواع متعددة من الوقود إلى طاقة حركية ومن ثم إلى طاقة كهربائية، وذلك اعتماداً على الوسيط الذي تتم من خلاله عملية التحويل وهو الماء النقي، إذ يتم من خلاله إنتاج البخار العالي والمحمص، وكذلك يستخدم في عمليات التبريد المختلفة للمحافظة على سلامة الأجزاء [4] [6] [8]. ويوضح الشكل (1) نظام عمل محطة الطاقة الحرارية:



الشكل 1: شكل تخطيطي لنظام العمل في محطة الطاقة الحرارية

وبالتالي يعتبر الماء أحد المدخلات الأساسية في محطات الطاقة الحرارية، المستخدم في نظام التبريد، وفي تغذية المرجل، وللتخلص من الرماد، ويستهلك قسم منه لاستخدامات خاصة بالمنشأة نفسها.

وعادة يتم استهلاك حوالي (3-4 m³/h) لإنتاج (IMW).

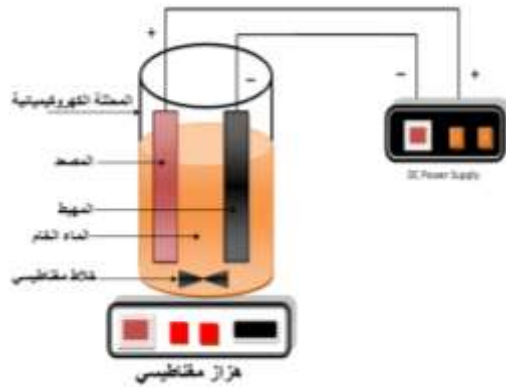


الشكل 2: شكل تخطيطي يمثل المحلّة الكهروكيميائية والتفاعلات المختلفة التي تحصل فيها

3. مواد البحث وطرقه

3.1 خلية المعالجة الكهروكيميائية

أجريت المعالجات الكهروكيميائية ضمن المحلّة الكهروكيميائية وهي عبارة عن خلية زجاجية يوضع فيها إلكترودان على شكل صفيحتين متقابلتين من الألمنيوم أو الفولاذ غير القابل للصدأ أو الغرافيت موصولتان إلى محولة تيار كهربائي (AC→DC) كما هو موضح بالشكل (3)، حيث مساحة الإلكترود الفعالة 150 cm² مغمورة في حجم من الماء 1 لتر، وقد أجريت جميع التجارب عند درجة حرارة الغرفة.



الشكل 3: رسم تخطيطي لخلية الفلترة الكهروكيميائية

وقد تم اعتماد نموذج الدفعة (batch mode)، وتراوح كثافة التيار المدروسة بين (100-500A/m²)، وزمن مكوث الماء ضمن المحلّة (15,30,45,60min).

أخذت عينات المياه المعالجة من مياه نبع السن (pH=7.2) ومجموع الأجسام الصلبة المنحلّة Total Dissolve Solid (TDS=365)، والناقلية الكهربائية (450µs/cm)، وتركيز (NaCl=1ppm)، وقد تم إجراء التجارب بتطبيق جهد كهربائي (10V)، حيث خضعت بعد ذلك المياه المعالجة للتحليل لتحديد العكارة و (TDS) وتركيز (NaCl)، والناقلية الكهربائية.

وقد استخدمت المعالجة الكهروكيميائية في معالجة أنواع مختلفة من المياه الملوثة مثل مياه الصرف الناتجة عن الدباغة [2]. والمستحضرات الصيدلانية والعقاقير الطبية [13]. ومياه صرف مصانع النسيج [7] [11]. والسكر [16] [17]. والألبان والأجبان [25]. ومغاسل السيارات [28]. ومياه الصرف البلدية وغيرها [26].

وأثبتت هذه التقانة فعاليتها في معالجة المياه المغذية لمحطات توليد الطاقة الحرارية، ودارات التبريد التابعة لها [12].

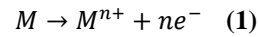
2. الهدف من البحث

يتم استخدام المبادلات الشاردية عادة في معالجة المياه الداخلة إلى محطات توليد الطاقة كمحطة القوى العاملة في مدينة بانياس الساحلية بسوريا، وهي معالجة مكلفة تتطلب إعادة تنشيط المبادلات بشكل دائم باستخدام كواشف كيميائية مختلفة، وبالتالي هدفت هذه الدراسة إلى:

- الوصول بالمياه إلى درجة عالية من النقاء، بحيث يتم تخفيض حمولة المبادلات الشاردية بنسبة عالية جداً، وبالتالي تخفيض استهلاك الرزينات الخاصة بالمبادلات، وعمليات تنشيطها بالحموض والأسس.
- 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، وبالتالي زيادة حمولة الوحدة المعالجة، وتخفيض كلفة معالجة المياه، وكلف الصيانة والاستبدال.

2.1 مبدأ عمل خلية الفلترة الكهروكيميائية

تعتمد طريقة الفلترة الكهروكيميائية على تمرير تيار كهربائي عبر إلكترودات معدنية ناقلة للكهرباء (ألومنيوم، حديد....) مغمورة في المياه المراد معالجتها. فعند مرور التيار الكهربائي عبر الإلكترود المعدني، يتأكسد المعدن محرراً الشوارد الموجبة M^{n+} عند المصدر (1):

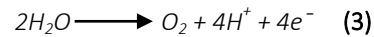


وبشكل متزامن، يتم إرجاع الماء إلى غاز الهيدروجين وشاردة الهيدروكسيل عند المهبط كما في المعادلة (2):



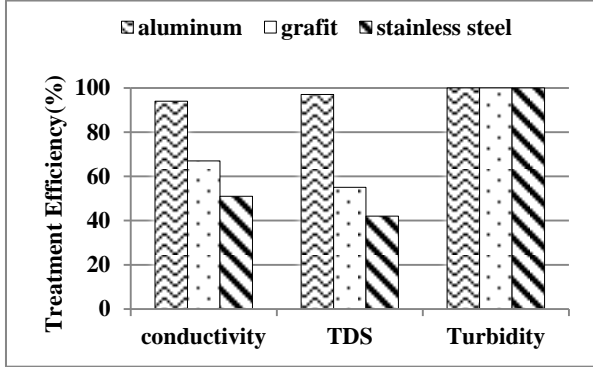
يساعد غاز الهيدروجين المنطلق في طقّو الدقائق المتلبدة على سطح الماء.

كما ينبعث غاز الأوكسجين عند المصدر وفق التفاعل (3):



وتعد الأيونات M^{n+} مختبرات فعالة لطقّو الجسيمات، ويمكن لأيونات المعدن المتحلّمة أن تشكل شبكات من M-O-M-OH والتي بإمكانها امتزاز الملوثات الموجودة في الماء، تتضمن آلية المعالجة الكهروكيميائية التخثير، الامتزاز، الترسيب، والطقّو، ويعتبر اختيار نوع الإلكترود حاسماً في فعالية هذه، ويمثل الشكل (2) شكل تخطيطي للمحلّة الكهروكيميائية وأهم التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها:

الكهربائية والمواد الصلبة والعاكزة بالنسب: (94%)، (97%) و(100%) على الترتيب، وقد لوحظ من خلال التجارب أن الحمأة الناتجة عن المعالجة باستخدام إلكترودات الألمنيوم هي الأعلى، ويرجع ذلك إلى أن الألمنيوم يميل أكثر من الستانلس ستيل والغرافيت لتشكيل الهيدروكسيد المعدني، والذي يقوم بامتزاز الأجسام الغروانية المعلقة، والشوارد الموجودة في المياه الخام، كما أنه يعتبر عامل تخثير يقوم بتشكيل معقدات مع الشوارد والأجسام الصلبة المنحلة وترسيبها [14].



الشكل 5: مقارنة بين فعالية الفلتر الكهروكيميائية باستخدام إلكترودات من مواد مختلفة بعد ساعة من عملية الفلتر

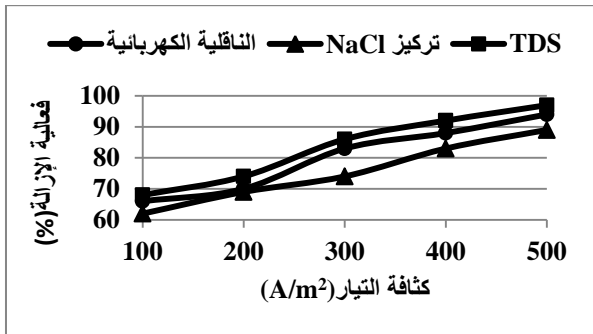
وبما أن فعالية المعالجة باستخدام إلكترودات الألمنيوم هي الأعلى، ولذا فقد تم استخدامها في جميع التجارب اللاحقة.

4.2 تأثير كثافة التيار الكهربائي (Current Density)

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

تسبب كثافة التيار العالية تحلل مادة الإلكترود، وزيادة مردود إزالة الشوارد والملوثات الموجودة في الماء، ويرجع ذلك إلى زيادة تركيز الشوارد المتشكلة على سطح الإلكترودات، 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 الشكل (6)، ويؤدي إلى حدوث الأكسدة المصعدية (anodic oxidation)، وتسارع عمليات الأكسدة مع زيادة كثافة التيار، وهو ما يؤدي لتشكيل هيدروكسيدات معدنية غير متبلورة (amorphous metal hydroxides) في جوار الإلكترود، وفي كتلته الداخلية كذلك [24].



الشكل 6: تأثير كثافة التيار على فعالية الفلتر الكهروكيميائية باستخدام إلكترودين من الألمنيوم، بعد ساعة من عملية الفلتر، pH=7، والمسافة بين الإلكترودين 10mm

وتم دراسة تأثير تغير المسافة بين الأقطاب (10-40 mm)، وقد وضعت الإلكترودات في الخلية بحيث يغمر (90%) من مساحة سطوح الإلكترودات في الماء، وبعد المعالجة الكهروكيميائية يتم غسل الإلكترودات بمحلول ممدد من محلول حمض كلور الماء (6% HCl)، والماء المقطر لإزالة البقايا عن سطح الإلكترودات ووزنها.

3.2 قياس الناقلية الكهربائية ومحتوى الأجسام الصلبة وتركيز (NaCl)

تم قياس الناقلية الكهربائية ومحتوى الأجسام الصلبة وتركيز (NaCl) لمختلف عينات المياه باستخدام الجهاز الرقمي Autoranging Conductivity TDS NaCl/Laboratory Bench Meter في الشكل (4) المزود من شركة Mi170 (Milwaukee)، والحاوي على إلكترود يوضع في عينة المياه المختلفة وتقرأ النتيجة على شاشة الجهاز بـ [μs/cm] للناقلية وبـ [PPm] TDS وتركيز (NaCl).



الشكل 4: جهاز قياس الناقلية المستخدم

وتحسب فعالية المعالجة (efficiency) والتي تعبر عن نسبة تخفيض البارامتر المدروس بالعلاقة (4):

$$Efficiency(\%) = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (4)$$

حيث (A): قيمة البارامتر في مياه التغذية

(B): قيمة البارامتر بعد الفلتر الكهروكيميائية.

3.3 قياس العكارة

قيست عكارة المياه باستخدام جهاز العكارة (HI93703 Portable Turbidity Meter) المزود من شركة (HANNA)، وتقدر العكارة بوحدة (NTU).

3.4 قياس (pH)

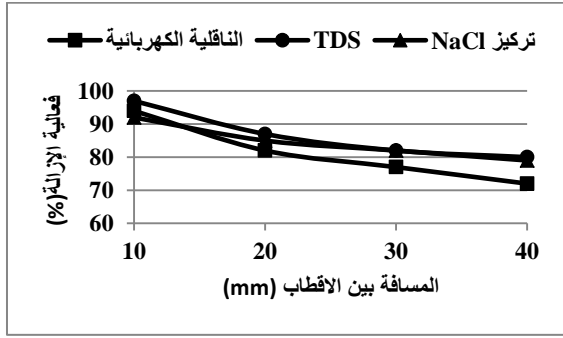
وهي مقياس لدرجة الحموضة وقلوية المياه، ويعبر عنها بتركيز شوارد الهيدروجين (pH=-Log[H⁺])، وتتراوح قيمة (pH) المياه ضمن المجال (0-14).

4. النتائج والمناقشة

4.1 تأثير نوع القطب (type of electrode)

تعتبر الإلكترودات بمثابة قلب الخلية الكهروكيميائية، وبالتالي فالاختيار الأمثل لمادة الإلكترود يرفع فعالية المعالجة [5] [9].

وقد استخدمت ثلاثة أنواع من الإلكترودات: الفولاذ المقاوم للصدأ والغرافيت والألمنيوم، حيث أجريت الدراسة أولاً عند كثافة تيار (500A/m²) لمدة ساعة، حيث المسافة بين الإلكترودات [10mm]، وذلك لمعرفة نوع الإلكترود الأفضل في معالجة المياه، بحيث يتم مقارنة فعالية الإلكترودات في إزالة العكارة و(TDS) وفي تخفيض الناقلية الكهربائية للمياه: وقد بينت النتائج الموضحة بالشكل (5) بأن الإلكترودات المصنعة من الألمنيوم هي الأكثر فعالية في معالجة المياه، حيث تخفض كلاً من الناقلية

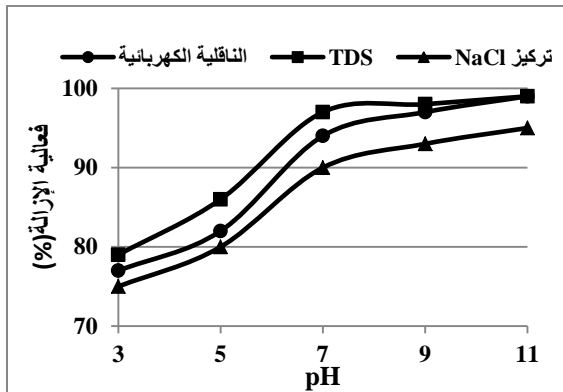


الشكل 8: تأثير المسافة بين الإلكترودين على فعالية المعالجة، pH=7، كثافة التيار $500A/m^2$ ، زمن الفلتره 60[min]

إذ تؤدي زيادة المسافة بين الإلكترودين عند جهد ثابت لزيادة المقاومة الكهربائية بين الإلكترودين وينخفض نتيجة لذلك مرور التيار الكهربائي بينهما، ويؤدي انخفاض شدة التيار الكهربائي إلى انخفاض إنتاج أيونات الهيدروكسيل، وبالتالي انخفاض مردود المعالجة.

4.5 تأثير درجة حموضة مياه التغذية (pH)

تلعب 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(9).



الشكل 9: تأثير درجة حموضة مياه التغذية (pH) على فعالية المعالجة، كثافة التيار $500A/m^2$ ، زمن الفلتره 60[min]، المسافة بين الإلكترودات 10[mm]

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 الشاردية للشوارد (H^+)، ويحصل تنافر بينها وبين الشوارد المعدنية الموجبة في محلول التغذية مما يؤدي لتخفيض فعالية الفلتره الكهروكيميائية[3].

4.6 كمية المعدن المنحل

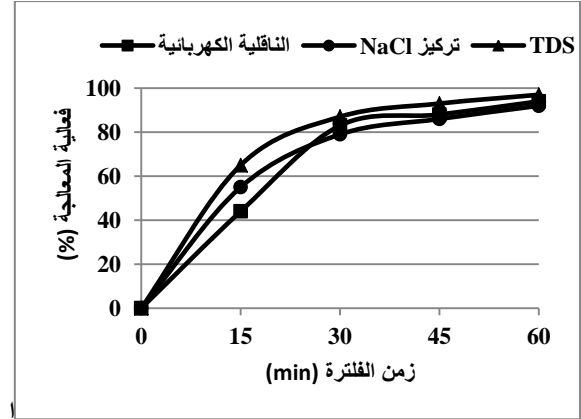
يمكن تخمين كتلة المعدن المنحل من إلكترودات المصعد وكذلك غاز الهيدروجين المتشكل نتيجة إرجاع الماء عند المهبط خلال زمن (t) عند شدة تيار (I) وفق قانون فاراداي[1]:

$$m = \frac{7.5 \times 3600 \times 26.98}{3 \times 96500} = 2.5[g] \quad (5)$$

كما تؤدي زيادة كثافة التيار لزيادة سرعة تشكل الفقاعات الغازية، وزيادة حجم الندف والحمأة المتشكلة على سطح الماء[27].

4.3 تأثير زمن الفلتره (Effect of electrolysis time)

يؤثر زمن الفلتره بشكل كبير على فعالية المعالجة الكهروكيميائية، نظراً لزيادة تركيز الهيدروكسيدات المعدنية المتشكلة، وتؤدي زيادة زمن الفلتره إلى زيادة تآكل المصعد، وزيادة تحرير الأيونات المعدنية التي تعمل كمخثرات، ترتبط بالملوثات الموجودة في الماء، بحيث تشكل مخثرات ومعقدات على شكل هيدروكسيدات معدنية تقوم بتحطيم استقرار الدقائق المعلقة وترسيبها من خلال آلية الامتزاز، وهو ما يؤدي لزيادة فعالية الفلتره الكهروكيميائية كما هو موضح بالشكل(7):



الشكل 7: تأثير زمن مكوث المياه في المحللة على فعالية المعالجة، pH=7، كثافة التيار $500A/m^2$ المسافة بين الإلكترودات 10mm

ويحصل التخثير الكهربائي من خلال هجرة الشوارد إلى الإلكترود المعاكس لها بالشحنة بحيث تصبح حيادية، وثانياً تشكل كاتيون أو أيون الهيدروكسيل الذي يترسب مع المادة الملوثة.

وبحسب ما أوضح الباحث (Garrido) [21]. فإن الكاتيونات المعدنية تتحد مع (OH^-) لتشكيل الهيدروكسيد، والذي يمتلك خصائص امتزاز عالية، بحيث يرتبط بالمادة الملوثة، ويشكل هيدروكسيدات ذات بنية متشابهة من السهل إزالتها، كما يزال قسم من المواد الطافية كهربائياً (electroflotation) من خلال الالتصاق بالفقاعات المتشكلة بهذه الطريقة.

4.4 تأثير المسافة بين الإلكترودات (The Effect of Inter Electrode Distance)

تعتبر المسافة بين الإلكترودات من المتغيرات الهامة للوصول إلى كلفة الفلتره الأخفض، وكلما ازدادت المسافة بين الإلكترودات وجب تطبيق فرق جهد أعلى لكون المحلول يبدي مقاومة أعلى لمرور التيار الكهربائي، وكلما ازدادت ناقلية المياه المعالجة وجب استخدام مسافة أعلى بين الإلكترودات، بينما عند قيم ناقلية منخفضة للمياه المعالجة ينبغي استخدام مسافة منخفضة بين الإلكترودات، والذي يؤدي إلى تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية، وبالتالي توفير في كلفة عملية المعالجة، وعند تخفيض المسافة بين الإلكترودين تزداد فعالية الإزالة نظراً للتأثيرات الكهروستاتيكية (electrostatic effects)، حيث تتسارع حركة الأيونات ويصبح هناك فرصة أكبر لتوليد ندف متجمعة (Aggregate flakes)، وهذه الندف قادرة على امتزاز عدد أكبر من الجزيئات الموجودة ضمن المياه المعالجة[22]. وبالتالي فزيادة المسافة بين الإلكترودات سوف تخفض مردود عملية المعالجة كما هو موضح في الشكل(8):

5.2 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 الفلترة الكهروكيميائية في معالجة أنواع مختلفة من مياه الصرف الصناعي، وكذلك في تحلية المياه.

حيث (m) كتلة المعدن المنحل أو كتلة الغاز المتشكل (g)، و I : شدة التيار (A)، و (M) : الكتلة المولية للمعدن المستخدم (g.mol⁻¹) و (F) : ثابت فاراداي (196500 mol⁻¹) و n : عدد الإلكترونات ضمن التفاعل، و t : زمن الفلترة (s) وتكون بالتالي كمية المعدن المنحل من المصعد خلال ساعة من عملية الفلترة عند شدة التيار العظمى المستخدمة خلال ساعة من عملية الفلترة الكهروكيميائية.

$$m = \frac{7.5 \times 3600 \times 26.98}{3 \times 96500} = 2.5 [g] \quad (6)$$

المصادر:

- [1] A. Chopra, K. Sharma, V. Kumar, Overview of Electrolytic treatment: An alternative technology for purification of wastewater Archives of Applied Science Research, 2011, 3 (5):191-206.
- [2] C. Costa, E. Botta, and P. Espindola, "Electrochemical treatment of tannery wastewater using DSAR electrodes," Journal of Hazardous Materials, 2008, vol. 153, pp. 616–627
- [3] D. Alejandra, F. Martinez M. H. Lopez-Araiza, S. Jaime-Ferrer, A. Estrada-Monje, Pollutant Removal from Wastewater at Different Stages of the Tanning Process by Electrocoagulation. Journal of Chemistry. 2019, Article ID 8162931, P1-9.
- [4] D. Choshnova, "Improving of the water preparation systems in the industry thermal power plants," MATEC Web of Conferences, 2018, 145, 05016, pp. 1-7.
- [5] D. Yavuz, C. Lutfiye, and A. Mustafa, "Investigation of Different Electrode Connections in Electrocoagulation of Textile Wastewater Treatment," Int. J. Electrochem. Sci, 2015, 10 pp. 2685 – 2693
- [6] F. El-Hosiny, K. A. Selim, M. Abdel Khalek, and I. Osama, "Produced Water Treatment Using a New Designed Electroflotatin Cell," Int. J. Res. Ind. Eng, 2017, Vol. 6, No. 4, pp. 823–883
- [7] F. Orts, Del A. Rio, J. Molina, and J. Bonastre, "Electrochemical treatment of real textile wastewater: Trichromy PROCION HEXL," Journal of Electroanalytical Chemistry, doi: 10.1016/j.jelechem.06.051, 2017.
- [8] G. Paolo, G. Matteo, and M. Marco, "Electrochemical conversion technologies for optimal design of decentralized multi-energy systems Modeling framework and technology assessment," Applied Energy, 2018, V: 221, July, pp. 557-575

4.7 حساب كمية الطاقة الكهربائية

تم أخذ التجارب التي تعطي أعلى كفاءة إزالة لحساب كمية الطاقة الكهربائية كما هو موضح في الجدول (1): ويمكن حساب الطاقة الكهربائية المستهلكة لمعالجة (1m³) من المياه الخام مقدرة بـ (KWh.m⁻³) من خلال المعادلة التالية [10]:

$$E = \frac{UIt}{V} \quad (7)$$

حيث (U): الجهد الكهربائي المطبق، و (I) شدة التيار و (t): زمن الفلترة، و (V) : حجم الخلية.

الجدول 1: بارامترات عملية الفلترة الكهروكيميائية

زمن المعالجة (min)	فرق الكمون (V)	شدة التيار الكهربائي (A)	حجم الخلية [m ³]
60	10	7.5	0.001

وبالتالي فإن الطاقة الكهربائية المستهلكة والتي يتحقق عندها أعلى مردود للفلترية الكهروكيميائية:

$$E = \frac{10 \times 7.5 \times 60}{60 \times 0.001} = 75000 [Wh. m^{-3}] = 75 [KWh. m^{-3}] \quad (8)$$

5. الاستنتاجات والتوصيات

5.1 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.
- انخفض محتوى المياه من الأجسام الصلبة بنسبة (97%) عند الشروط المثلى للمعالجة.
- انخفضت الناقلية الكهربائية للمياه بنسبة (94%) بعد (60 min) من عملية الفلترة، مما يشير إلى تخفيض كبير في مجموع الشوارد ضمن المياه المعالجة.
- حققت المعالجة الكهروكيميائية المواصفات القياسية JIS- (B8223-2006) الخاصة بمياه تغذية المراحل وعمليات التبريد في محطات توليد الطاقة.

- Nexus Volume 1, Issue 1, June 2018, Pages 26-41.
- [19] S. Tsubakizaki, Wada, T. Tokumoto, and S. Takahashi, "Water Quality Control Technology for Thermal Power Plants itsubishi Heavy Industries Technical Review," 2013, Vol.50,N.3.
- [20] S.Y. Pan, S.W. Snyder, A.I. Packman, and Y.J. Lin, , "Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges," *Water-Energy Nexus*1, 2018, pp. 26–41
- [21] S. Garrido, M. Aviles, A. Ramirez, C. Calderon, and A. Ramirez-Orozco, "Arsenic removal from water of Huautla, Mexico using capacitive deionization", *Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua (IMTA)*, 2015, V, NO, pp.1-16
- [22] S.H. Abbas, and W.H. Ali, "Electrochemical Technique Used To Treat Wastewater: A Review," *AJER*, 2018, V: 7, Issue 10, pp. 74-88
- [23] T.T. Tien, D.H. Linh, L.V. Vu, P.T.T. Hoa, N.T.T. Phuong, and T.L. Luu, "Electrochemical Water Treatment Technology in Viet Nam: Achievement & Future Development," *Science Journal of Chemistry*, 2017, 5(6): pp. 87-94
- [24] V. Kuokkanen, T. Kuokkanen, J. Rämö, and U. Lassi, "Recent applications of electrocoagulation in treatment of water and wastewater-A review," *Green and Sustainable Chemistry*, 2013, 3: pp. 89-121
- [25] V. Markou, M. Kontogianni, and Z. Frontistis, "Electrochemical treatment of biologically pre-treated dairy wastewater using dimensionally stable anodes," *Journal of Environmental Management*, 2017, Volume 202, Part 1, 1 November, pp. 217-224
- [26] X. Huang, Y. Qu, C. Cid, C. Finke, "Electrochemical disinfection of toilet wastewater using wastewater electrolysis cell," *Water Research*, 2016, vol. 92, pp. 164-172
- [27] Y. G. Choi, S.H. Kim, and H. J. Kim, Effects of current density and electrode material on the dewaterability of the thickened activated sludge by electro-flotation, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 2009, 84(10):1493 - 1498
- [28] Z. Gonder, G. Balcioğlu, and I. Vergili, "Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization," *Journal of Environmental Management*, 2017, vol 200, pp. 380–390
- [9] I.A. Oke, E.O. Fehintola, O.A. Obijole, O. Fasuyi- Enang, E.A. Adekunbi, and H.O. Oloyede, "Assessment and Optimization of Electrochemical Treatment of Typical Raw Water," *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Derİğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech*, 2014, 4(1), pp. 55-66
- [10] J. Radjenovic, DL. Sedlak, Challenges and Opportunities for Electrochemical Processes as Next-Generation Technologies for the Treatment of Contaminated Water. *Environ Sci Technol*. 2015 Oct 6: 49 (19):11292-302
- [11] J. Zou, X. Peng, M. Li, Y. Xiong, and B. Wang, "Electrochemical oxidation of COD from real textile wastewaters: Kinetic study and energy consumption," *Chemosphere*, 2017, vol. 171, pp. 332-338
- [12] K.S. Prakash, C. Gayatri, K. B. Shailendra, "Common Boiler Feed Water Treatment in the Industry," *IJRST*, 2014, Volume1, Issue 6, November: pp. 2349-6010
- [13] M. Garcı-Montoya, S. rrez-Granados, and A. Alatorre-Ordaz, "Application of electrochemical/BDD process for the treatment wastewater effluents containing pharmaceutical compounds," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2015, vol. 31, p. 238–243
- [14] M. Khairul, N. Mahmada, M. R. Rozainy M.A.Zb,c, I. Abustanb, and N. Baharuna, Electrocoagulation Process by Using Aluminium and Stainless Steel Electrodes to Treat Total Chromium, Colour and Turbidity, *Procedia Chemistry* 19, 2016 681 – 686.
- [15] N. Rajakovic-OgnjanovicV, D. Z. Zivojinovic B. N. Grgur, and L.V. Rajakovi, L, "Improvement of chemical control in the water-steam cycle of thermal power plants," *Applied Thermal Engineering*, 2011, 31, pp.119-128
- [16] O. Sahu, and P. Chaudhari, "Electrochemical treatment of sugar industry wastewater: COD and color removal," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2015, vol. 739, pp. 122–129
- [17] O. Sahu, D. Govardhana, and R. RichaGopal, "Treatment of wastewater from sugarcane process industry by electrochemical and chemical process: Aluminum (metal and salt)," *Journal of Water Process Engineering*, 2017, vol. 17, JIS B8223- pp. 50–62
- [18] P, S. Y. Pan, W .Snyder, I. Packman, C, Pen-Chi, Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus *Water-Energy*

Electrochemical treatment of raw water for thermal power plants requirements

Ali Ali¹, Haitham shaheen², Mesaa Shash³, and Bashar Zedan^{4*}

¹ Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria, aalimali1968@gmail.com

² Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, shahinher@gmail.com

³ Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria, mayssashash@tartous_university.education.sy

⁴ Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria, basharzedan@gmail.com

* Corresponding author: Bashar Zedan, basharzedan@gmail.com

Published online: 30 June 2020

Abstract— In this research electrochemical treatment was used to treat Al-Sin water that feed Banias thermal station boilers for generate electricity. The effect of the operating parameters such as type of electrodes, initial pH, inter electrode distance, electrolysis time and current density on the effectiveness of electrochemical processing were studied in reducing the concentration of total dissolved solids (TDS), NaCl concentration, and electrical conductivity. The experiments were carried out in a batch mode. Results revealed that in the optimum conditions (current density=500A/m², distance between electrodes =10mm) the total dissolved solids, conductivity, and NaCl concentration were reduced by (97%), (94%) and (92%) respectively after one hour of treatment process by using aluminum electrodes.

Keywords— electrochemical treatment, metal electrodes, current density, conductivity.