مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (32) العدد (1) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (32) No. (1) 2010

معالجة مياه الشرب الملوثة بجراثيم الإشريشية القولونية باستخدام المعالجة الإلكتروكيميائية بديلاً عن استخدام الكلور والهيبوكلوريت

الدكتور فؤاد الصالح *
الدكتور عيسى كبيبو**
مجدي راعي ***

(تاريخ الإيداع 4 / 6 / 2009. قُبِل للنشر في 19 / 1 /2010)

□ ملخّص □

يقدم هذا البحث، توجهاً جديداً، لمعالجة وإزالة العوامل الممرضة الموجودة في نهاية شبكة مياه الشرب المنزلي، فعوضاً عن إضافة المواد المؤكسدة القوية مثل غاز الكلور ،وهيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم، التي تترافق بجملة من الآثار الضارة للصحة، فقد درس تأثير إخضاع مياه الشرب الملوثة *بالإشيريشية القولونية* *Escherichia coli* إلى حقل كهربائي في خلية إلكتروكيميائية مناسبة، وتم تغيير عدد من البارامترات (المتحولات) مثل كثافة التيار الكهربائي المار في خلية كهربائية أو طبيعة الآنود المستخدم فيها إلخ... على الفعل التطهيري للخلية المدروسة، وقد تم الحصول على خفض يكاد يكون تاماً للعامل الممرض المذكور في شروط محددة. من دون استخدام الكلور وهيبوكلوريت التي يشيع استخدامها بشكل واسع في تطهير المياه في الوقت الحاضر في بلادنا وفي معظم بلدان العالم.

الكلمات المفتاحية: الأكسدة الآنودية، معالجة مياه الشرب لإزالة العوامل الممرضة، الخلايا الإلكتروكيميائية، ايشيريشيا كولى

* أستاذ –قسم الكيمياء كلية العلوم – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.
** أستاذ– قسم تربة واستصلاح أراضي كلية الزراعة – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (32) No. (1) 2010

Treatment of potable water polluted by Escherichia coli, using Electrochemical cells instead of chlorine and Hypochlorite.

Dr . Foad Saleh [*]
Dr . Esa Kbebo [**]
Majdee rai [***]

(Received 4 / 6 / 2009. Accepted 19 / 1 /2010)

□ ABSTRACT □

This paper deals with new orientation of water polluted treatment,(which uses chlorine and Hypo chlorites in particular),by switching over to use an Electrochemical cell , instead, so to eliminate water infection with *Escherichia coli* ,Several parameters were studied ,as ,current densities , nature of Anode etc . Results showed , approximately ,full elimination of The above mentioned Escherichia coli , from these treated waters in specified conditions ,without using chlorine and hypochlorite ,which is widely spread ,in water disinfection in our country and most of other countries in the world .

Key words *: Anodic Oxidation Disinfection ,polluted potable waters , Electrochemical cells, E.coli.*

مقدمة:

[*] **Professor , Department of Chemistry ,Faculty of Sciences , Tishreen University, Latakia, Syria.**
[**] **Professor, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student , Department of Chemistry ,Faculty of Sciences , Tishreen University ,**

ترتبط حياة الإنسان على الأرض ونشاطاته الحيوية بوجود الماء،هذه المادة الحيوية اللازمة للشرب وإعداد الطعام والإنتاج الزراعي والصناعي وغير ذلك ،وفي الوقت نفسه،تصل كميات كبيرة من الفضلات الإنسانية بأنواعها إلى أماكن تجمع المياه في الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات . و حتى تلك المواد الملوثة العالقة والممتزجة بالهواء فإنها تترسب تدريجياً إلى سطح الأرض ،إما بالشكل الحر أو عن طريق الذوبان والتحلل في مياه الأمطار لتصل في النهاية إلى أماكن تجمع المياه سواء السطحية أو الجوفية [8].

وعندما يكون التجمع البشري كبيراً، فإن القدرة الطبيعية للمياه على التخلص من الملوثات (الكيميائية والبيولوجية)، تصبح محدودة وغير كافية ، فتتحول إلى مياه ملوثة تشكل خطر متزايداً على البيئة بمكوناتها الحيوية كافة (الإنسان ،النباتات والحيوان). يصف الجدول الآتي رقم (1) بعض الأمثلة عن العوامل المسببة للأمراض التي تنتقل عن طريق مياه الشرب [7].

الجدول (1) بعض العوامل المسببة للأمراض التي تنتقل عن طريق مياه الشرب.

العامل المسبب	المرض	الأعراض
سالمونيلا تيفية	حمى تيفية	ألم في الرأس،غثيان /فقدان الشهية ،إمساك ،إسهال،إلتهاب في الحلق، إلتهاب في القصبات ،ألم في البطن ،نزيف قشعريرة وارتفاع حرارة ...فترة الحضانة 7–14 يوم.
سالمونيلا نظيرة التيفية	حمى نظيرة التيفية	الإصابة تتميز بالحرارة المستمرة ،اسهال ،فترة الحضانة 1–10 أيام .
شجيلا فليكسينيري، شغيلا الزحار، شجيلا البارا الزحارية	زحار العصيات	ورم وإسهال حاد ، وحمى وزحار برازي ،فترة الحضانة 1–7 ايام .
الضمة الكوليرية	الكوليرة	إسهال ،قيء ، وبراز حببي مائع ،وعطش وألم وفقدان الوعي ،فترة الحضانة بضع ساعات إلى 5 أيام .
باستوريلا تولاينس	داء التولاريمية	ألم وحمى مفاجئة ،إجهاد ،فترة حضانة 1–10 أيام.
بروسيلا ميلتينس	داء البروسيلات	حمى غير منتظمة وعرق ،قشعريرة وألم عضلات
الزائفة الرعامية	راعوم	إسهال حاد ،القيء ،حرارة عالية ،الجنون والهوس .
البريمية اليرقانية الترفية	داء البريميات	حرارة ورجفة وألم في الرأس وغثيان وألم وقيء وإجهاد وعطش وقد يحدث يرقان .
الإشيريشية القولونية الباطنية الممرضة	التهاب الجهاز الهضمي	إسهال مائي وغثيان وإجهاد وجفاف .

وهي على درجة عالية من الخطورة على حياة المصاب ،وبأبسط الحالات تحدث تسممات هضمية تحتاج إلى العلاج والأدوية ، وإنفاق الأموال الطائلة لهذا الغرض.

1.الآثار الجانبية لاستخدام الكلور والهيبوكلوريت لمعالجة مياه الشرب:

يهدف استخدام المطهرات في معالجة المياه إلى الحد من الأمراض التي تنتقل بوساطة المياه وتثبيط انتشار الكائنات الممرضة في مصادرها وقد استخدمت طريقة الإضافة المتواصلة للكلور في معالجة المياه لأول مرة في مدينة صغيرة في بلجيكا في بداية العقد الأول من القرن العشرين .ومنذ بداية استخدام الترشيح والتطهير في محطات معالجة المياه ،تم التخلص عملياً من الأمراض التي تنتشر عن طريق المياه مثل الحمى التيفية والكوليرة . فعلى سبيل المثال ،انخفض عدد حالات الحمى التيفية ، في نيويورك بين (1911– 1915) م من 185 حالة وفاة لكل 100000 من السكان إلى الصفر تقريباً بعد إدخال الترشيح والكلورة في معالجة المياه.

وفي عام 1974 م ، بين الباحثون في كل من هولندا والولايات المتحدة الأمريكية أن كلورة مياه الشرب تؤدي إلى تكوين ثلاثي هالوجينوالميثان (THMs). وتتكون هذه المركبات عندما يتفاعل الكلور أو أحد مركباته مع المواد العضوية الموجودة في المياه . وبناء على ذلك قامت وكالة حماية البيئة United States Environmental Protection Agency بعمل مسوحات أكدت الانتشار الكبير لثلاثي هالوجينوالميثانات في مصادر المياه المكلورة . وقد وجد أن ثلاثي هلوجينو الميثانات ، والنواتج الجانبية الأخرى لعملية الكلورة ، هي مواد مسرطنة .مما يزيد من خطورتها تعرض عدد كبير من السكان لهذه المواد لدى استخدام المياه المطهرة بالكلور .ونتيجة لمشاكل النواتج الجانبية للكلور ، فقد أولت وكالة حماية البيئة الأمريكية ومؤسسات معالجة المياه اهتماماً أكبر باستخدام مطهرات بديلة . ووجد أن بعض المطهرات البديلة تكون أيضاً نواتج جانبية كنتيجة لتفاعلات بين المطهرات ومركبات أخرى في الماء لتكوين نواتج التفكك الطبيعي لهذه المطهرات، ومن هذه النواتج[7] :

- المواد العضوية المهلجنة ،مثل Trihalomethane، وحمض الخل المهلجن ، والكيتونات المهلجنة وغيرها . تتكون هذه المواد بصورة رئيسية من عملية الكلورة .
- نواتج جانبية لتأكسد المواد العضوية مثل الالدهيدات والكيتونات ... وهي مواد ترتبط أساساً باستخدام العوامل المؤكسدة القوية (الأوزون ،الكلور...).
- مواد غير عضوية مثل الكلورات ،الكلوريت ...

يعتمد نوع وكمية النواتج الجانبية التي تتكون في أثناء المعالجة ، إلى حد كبير، على نوع المطهر ،جودة المياه ،سلسلة عمليات المعالجة ، وزمن التماس بين المطهر والمياه والعوامل البيئية مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وغيرها .

دفعت هذه المخاطر ،الدول والمجتمعات إلى العمل على إيجاد مطهرات بديلة عن عملية الكلورة . تكون ذات آثار جانبية أقل ضرراً على المجتمع البشري .يصف الجدول رقم (2) أمثلة على هذه الملوثات الجانبية.

2. الطرائق البديلة عن التطهير بالكلور و هيبوكلوريت:

اعتباراً للأسباب المذكورة أعلاه فقد تم البحث عن طرائق أخرى لتطهير مياه الشرب أهمها:

آ– استخدام الأشعة UV لهذا الغرض ، وهي أشعة قاتلة للمكروبات إذا تم تعرضها للأشعة زمناً كافياً، وكانت الأشعة من النوع الذي يمتلك طول موجة ما بين (300 وحتى 200)nm

غير أن عدم امتلاك أثر متبقٍ في المياه المعالجة بالأشعة UV، بالإضافة إلى الكلفة العالية نسبياً لهذه الطريقة ، بسبب ارتفاع قيمة التجهيزات والصيانة و غير ذلك ،كلها حالت من شيوع هذه الطريقة [7].

ب – استخدام الأوزون O_3: وفي هذه الحالة يتم استخدام مولد للأوزون في الموقع ثم يتم التماس مع المياه

الملوثة والأوزون ، زمناً كافياً، ليؤكسد الأوزون بشدة وبسرعة المواد العضوية إلى نواتج غير ضارة ،عموماً ويزيل طعم المياه ورائحتها ولكن المياه الناتجة تحتاج إلى فلترة مناسبة لإزالة نواتج الأكسدة التي قد تحوي على مكونات ضارة ، لكن هذه لا تعطي أثراً متبقياً أيضاً ، ومن جهة أخرى ، كون هذه الطريقة ذات كلفة عالية بسبب غلاء التجهيزات وصيانتها المستمرة[2].

الجدول (2) الملوثات الجانبية التي تنتج عن معالجة المياه بالكلور

متبقيات المطهرات	**النواتج الجانبية العضوية المهلجنة**
كلور حر	**ثلاثي هالوجينوميثان**
حمض هايبوكلوروس	ثنائي برومو كلورميتان
ايون الهيبوكلوريت	بروموفورم
كلور أمينات	**أحماض هالو أستيك**
أحادي كلور أمين	حمض أحادي كلورو أسيتيك
ثاني أكسيد الكلور	حمض ثنائي كلورو أسيتيك
نواتج جانبية غير عضوية	حمض ثلاثي كلورو أسيتيك
أيون الكلورات	حمض أحادي برومو أسيتيك
أيون البرومات	**هالو اسيتونيتريل**
بيروكسيد الهيدروجين	ثنائي كلورو أسيتونترايل
أمونيا	برومو كلورو أسيتونترايل
النواتج الجانبية العضوية	ثنائي برومو أسيتونترايل
الألدهيدات	ثلاثي كلورو أسيتونترايل
الفورم ألديهدات	هالوكيتونات
أسيت الدهيدات	1,1 ثنائي كلورو بروبانون
هكسانال	1,1,1 ثلاثي كلورو بروبانون
	كلوروفينولات
	ثنائي كلورو فينول
	2,4 ثنائي كلوروفينول
	2,4,6 ثلاثي كلوروفينول
	كلوروبيكرين
	كلورال هاليدات
	كلوريد السيانوجين
	كلورواميدات عضوية

أهمية البحث وأهدافه:

تم في الآونة الأخيرة تطوير منظومات إلكتروكيميائية ،تستخدم لإبادة الجراثيم المسببة للأمراض الموجودة في مياه الشرب[5].تحتوي هذه المنظومات على زوج واحد من الإلكترودات على الأقل يتم وصلها إلى منبع تيار مستمر DCمناسب .حيث يمرر الماء في المنطقة المحصورة بين هذين الإلكترودين بسرعة وشروط محددة .يستعمل في تصنيع الإلكترودات أنواع مختلفة من المواد :مثل :الغرافيت والستانلس ستيل والتيتانيوم ....[1,3].

أما حول الطريقة التي تتم بها عملية التطهير فقد تم افتراض الكثير من الآليات لتفسيرها [4]:

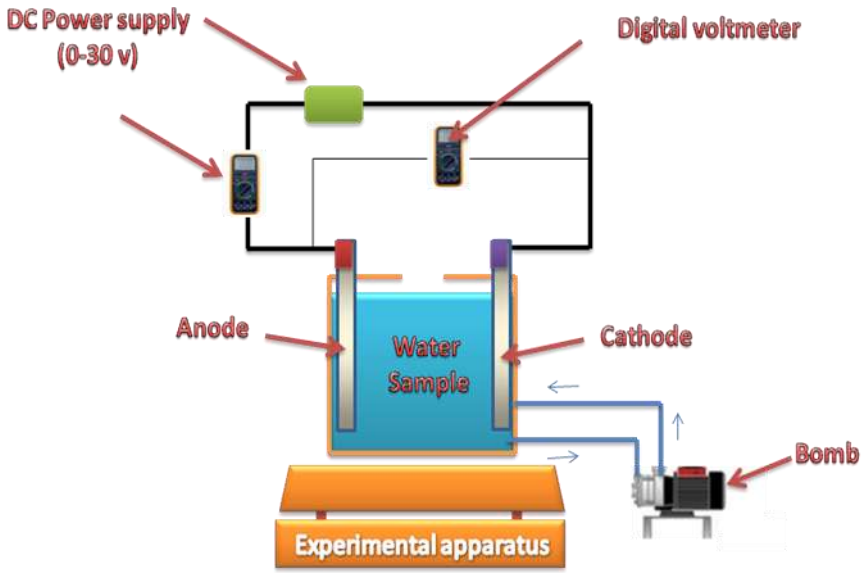
1-الأكسدة المباشرة للخلية الجرثومية على سطح الإلكترود نتيجة انتقال الشحنة .

2- تدمير الغشاء السيتوبلاسمي للخلية الجرثومية (تغيير نفوذيته)،نتيجة لخضوعها لتأثير الحقل الكهربائي الناتج بين الإلكترودين.

3- توليد مركبات معقمة ذات عمر قصير جدا (الجذور الحرة).

يهدف هذا البحث إلى تبيان أثر الأكسدة الأنودية على الخلايا الجرثومية ودراسة قدرة المنظومات الإلكتروكيميائية على قتل الجراثيم الموجودة في المياه ، حيث يمكن تصنيع هذه المنظومات في المخبر بتكلفة منخفضة ، كما يهدف هذا البحث أيضاً إلى تحديد الشروط المثلى للوصول إلى تطهير تام بأقل طاقة ممكنة وتحديد نوع الإلكترود المفضل والزمن الأمثل للمعالجة بالأكسدة الأنودية للمياه الملوثة بعوامل ممرضة .

يصف الشكل (1) مخطط الخلية الإلكتروكيميائية المستخدمة في انجاز هذا البحث .



الشكل (1) الخلية الإلكتروكيميائية المستخدمة في معالجة المياه.

طرائق البحث ومواده:

آ- تحضير عينات المياه الملوثة بيولوجيا (حالة إيشيريشيا كولي):

تم اختيار الـ ***Escherichia coli*** لتلويث المياه عمدا كممثل عن باقي الجراثيم،حيث تم نقل عدد من المستعمرات الجرثومية (مستنبتة حديثاً) من طبق بتري إلى 10 ليتر من المياه .تحرك المياه بشكل جيد بغية تحقيق تجانس في العينة ، يتم بعد ذلك إجراء اختبارات مايكروبيولوجية لتحديد عدد الجراثيم الحية

#CFUs colony forming unites الموجودة في هذه العينة قبل المعالجة. حيث تم إجراء هذه الاختبارات

باستخدام[6]: تقنية التمديد المتسلسل Dilution Techniques and colony counting

ب –الخلية الإلكتروكيماوية :

تتألف من حوض زجاجي بسعة 1 ليتر مصنع خصيصاً لهذا البحث، يحتوي على زوج من الإلكترودات (كاتود وأنود)، حيث تم اختبار فعالية إلكترودات مصنعة من الستانلس الستيل والغرافيت .تبلغ مساحة سطح الإلكترود المغمور بالمياه المعالجة حوالي $192\ cm^2$ ، كما تم استخدام وحدة تغذية كهربائية مصنعة محليا في المختبر ،الشكل (1) .والتي تمكن من الحصول على تيار مستمر،قابل للتغيير، من (0-30) فولط.تحتوي الدارة على مقياس للكمون وعلى مقياس لشدة التيار المار في الخلية ومن معرفة هذه الشدة ومساحة سطح الأنود المغمور، يمكن الحصول على كثافة التيار $i=I/S$

حيث I : شدة التيار الكهربائي المار في الخلية .

S :مساحة سطح الإلكترود المغمور.

i : كثافة التيار وتقدر بـ mA/cm^2 .

يتم تدوير المياه الملوثة في الخلية باستخدام مضخة تدوير مناسبة للحصول على كفاءة معالجة جيدة ، خلال زمن قصير.

عند بدء عملية المعالجة الإلكتروكيميائية ، يتم أخذ 1ml مياه من الخلية ،كل دقيقتين وتزرع في أطباق بتري باستخدام الطريقة المشار إليها أعلاه ،تترك هذه الأطباق بعد ذلك في الحاضنة لمدة 24 ساعة لتظهر المستعمرات الجرثومية مشيرة إلى عدد الخلايا الحية الموجودة في المياه التي حقنت على سطح الوسط المغذي [9].

جـ – مواد البحث :

1- أوساط زرع جرثومية (EMB agar ,SS agar).

2- أطباق بتري بلاستيكية.

3– خلية إلكتروكيميائية مصنعة محليا .

4– إلكترودات من الفولاذ الغير قابل للصدء و الغرافيت.

5– مقياس أمبير،مقياس فولط،منبع تيار كهربائي مستمر.

6– ماصة وأنابيب اختبار عدد 50.

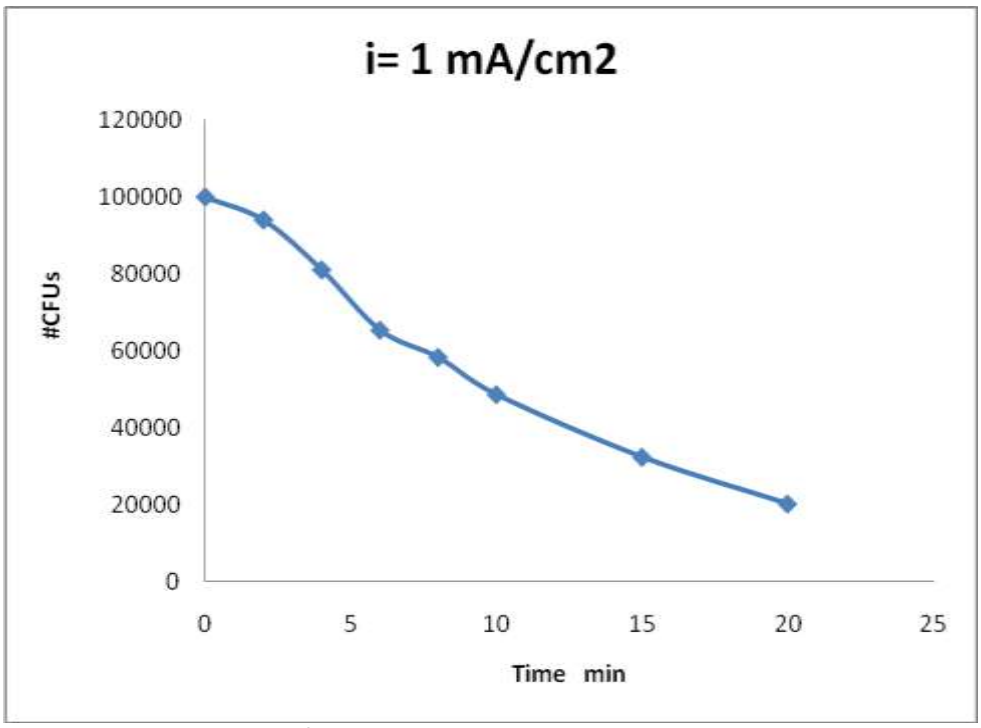
النتائج والمناقشة:

1– تأثير كثافة التيار على فعالية المعالجة :

لدى استخدام آنود من ستانلس ستيل ، كان تأثير تغيرات كثافة التيار على فعالية المعالجة كما تصف الأشكال (2)و(3) تناقص عدد المستعمرات مع الزمن من أجل $i=1\ mA/cm^2$. و تجدر الإشارة إلى حدوث تغير طفيف في شدة التيار في أثناء المعالجة نتيجة لحدوث تفاعلات إلكتروكيميائية التي تؤدي بدورها إلى تغيير ناقلية المياه، مما يستدعي إلى إعادة ضبط شدة التيار المار، وذلك بتغيير قيمة الفولتاج المطبق على الخلية .

الجدول (3)، تغيرات CFUs مع الزمن من أجل كثافة تيار $i=1\ mA/cm^2$.

#CFUs	زمن المعالجة min
100000	0
94000	2
81000	4
65300	6
58200	8
48500	10
32200	15
20000	20



الشكل (2)، تغيرات CFUs مع الزمن من أجل كثافة تيار $i=1\ mA/cm^2$.

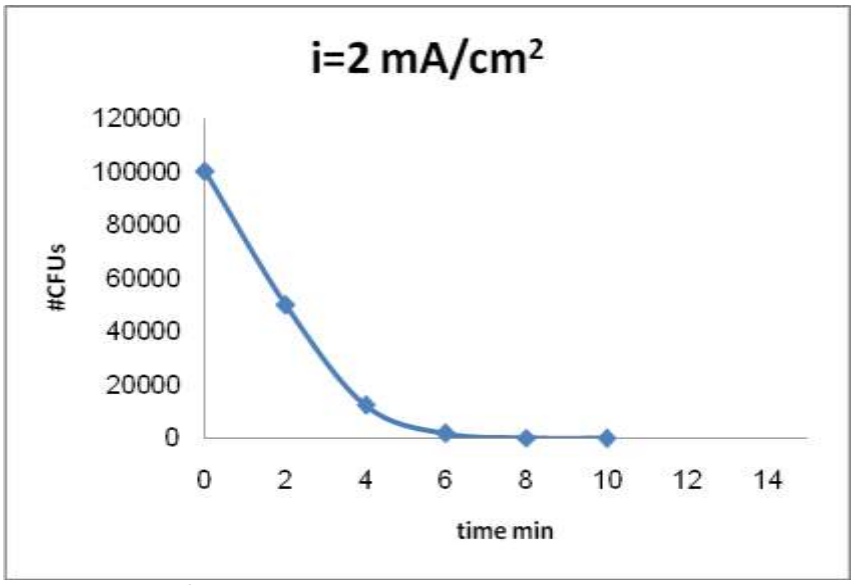
نلاحظ حدوث انخفاض بالعدد(colony-forming units(CFUs من حوالى 100000 وحتى حوالى 20000 ،خلال زمن 20 دقيقة تقريبا ، انظر الشكل (2) أعلاه.

"الشكل (3)تغير أعداد المستعمرات الجرثومية في أطباق بتري بمرور الزمن من 0 وحتى 10 دقيقة "

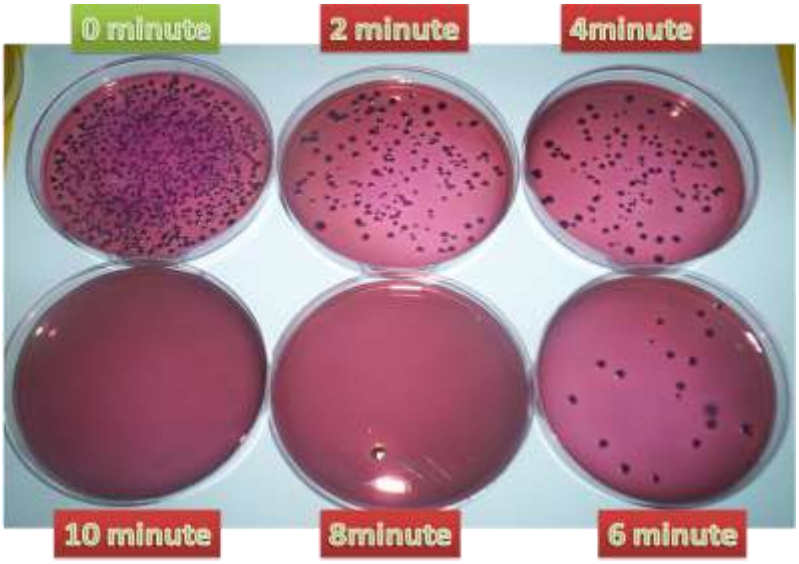
ولدى رفع كثافة التيار حتى قيمة مضاعفة أي $2\ mA/cm^2$ للانود نفسه أصبحت فعالية المعالجة ممتازة ، إذ تناقص العدد (CFUs) من حوالى 100000 وحتى القيمة صفر تقريبا خلال 8–10 دقائق ،انظر الشكل (4):

الجدول (4) تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافة تيار تساوي $2\ mA/cm^2$

#CFUs	زمن المعالجة min
100000	0
50000	2
12300	4
1700	6
100	8
0	10
	15
	20



الشكل (4) تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافة تيار تساوي $2\ mA/cm^2$

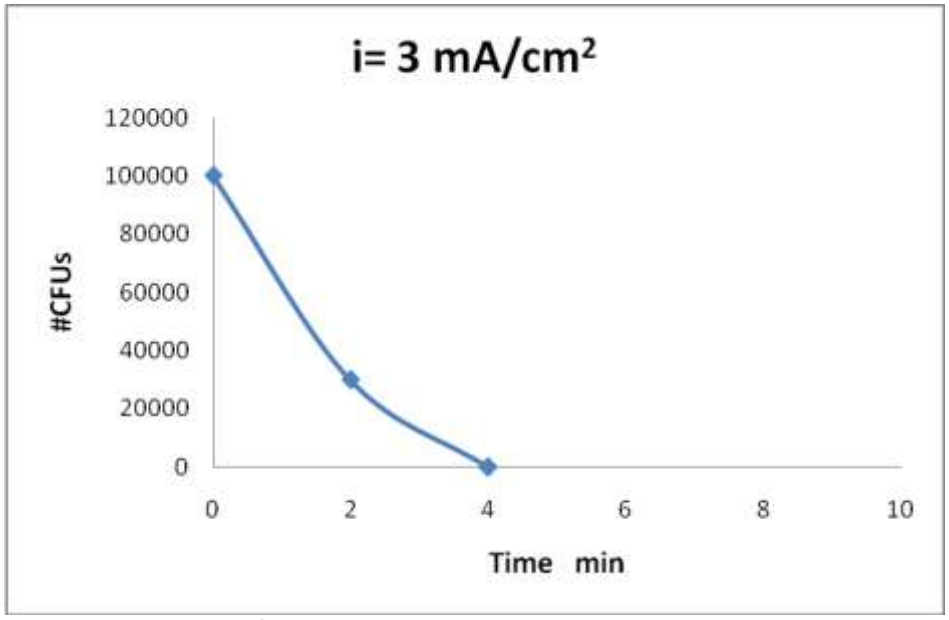


الشكل (5)،صورة أطباق بتري، تظهر انخفاض أعداد الجراثيم بمرور الزمن .

وتناقص زمن المعالجة حتى أقل من 4 دقائق من أجل كثافة تيار أنودي بحدود $3\ mA/cm^2$. انظر الشكل (7):

الجدول (5)،تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافة تيار $3\ mA/cm^2$

#CFUs	زمن المعالجة min
100000	0
30000	2
0	4
	6
	8
	10



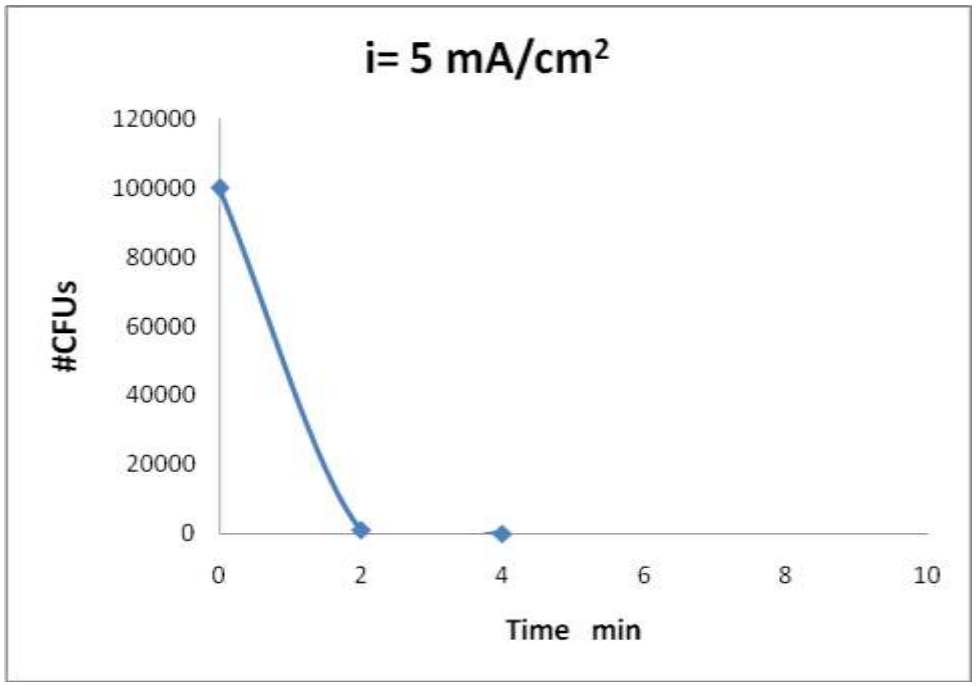
الشكل (6)،تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافة تيار $3\ mA/cm^2$

الشكل (7)، صورة أطباق بتري، تظهر انخفاض أعداد الجراثيم بمرور الزمن .

ولدى رفع قيمة كثافة التيار حتى $5\ mA/cm^2$ أصبح الزمن اللازم للتطهير التام بحدود 2 دقيقة فقط الشكل (8) :

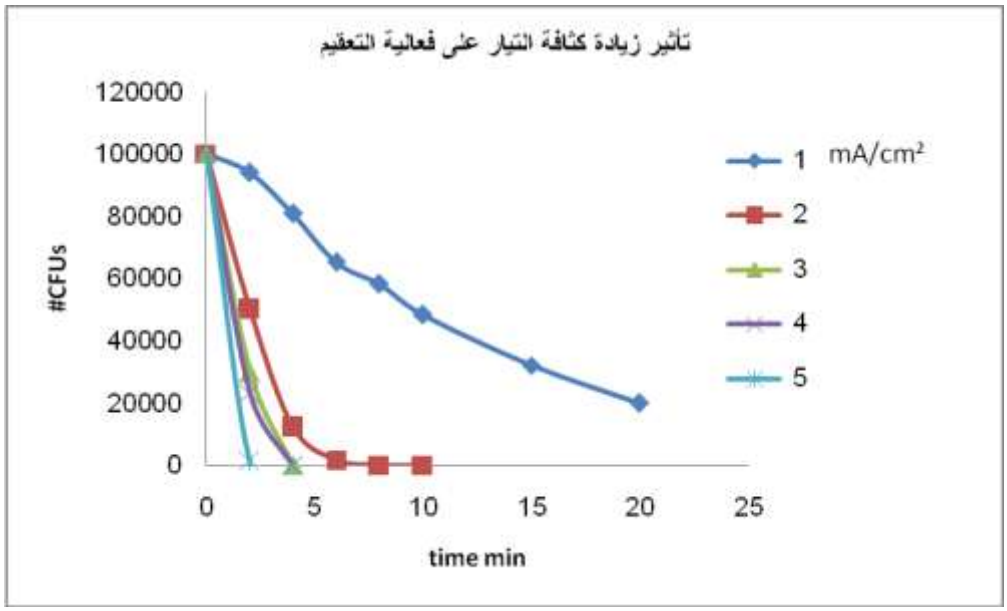
الجدول (6) تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافة تيار $5\ mA/cm^2$

#CFUs	زمن المعالجة min
100000	0
1000	2
0	4
	6
	8
	10
	15
	20



الشكل (8)،تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافة تيار $5\ mA/cm^2$

ويصف الشكل (9) مقارنة لفعالية التطهير مع تزايد كثافة التيار للإلكترود نفسه (ss).



الشكل (9)، تغيرات CFUs بمرور الزمن من أجل كثافات تيار مختلفة.

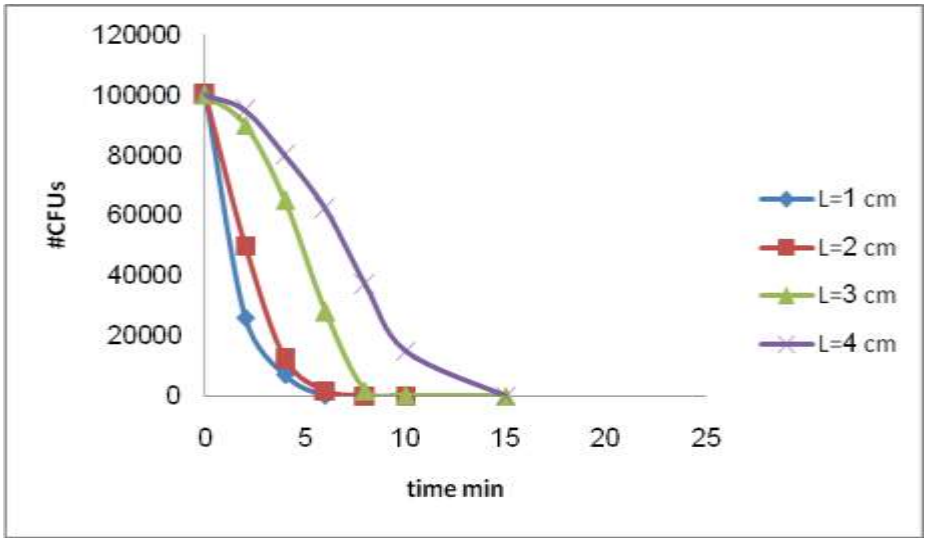
ب – تأثير تغير شدة الحقل الكهربائي المطبق على الخلية :

يتم استخدام كثافة تيار ثابتة $2\ mA/cm^2$، ونفس الإلكترود السابق(ss) وتم تغير المسافة بين الإلكترودين لتغير قيمة الحقل الكهربائي المطبق على الخلية من أجل قيم$L=1,2,3,4\ cm$ حيث تتناسب شدة الحقل الكهربائي عكساً مع

المسافة الفاصلة بين الإلكترودات، يصف الشكل التالي تغيرات فعالية المعالجة الإلكتروكيماوية خلال الزمن ، في الشروط السابقة :

الجدول (7) تغيرات CFUs مع الزمن من أجل تغيرات الأبعاد ين الإلكترودات.

#CFUs L=4cm	#CFUs L=3cm	#CFUs L=2cm	#CFUs L=1cm	زمن المعالجة min
100000	100000	100000	100000	0
95000	90000	50000	26000	2
80000	65000	12300	7000	4
62000	28000	1700	350	6
37000	1800	100	0	8
15000	300	0		10
0	0			15
				20



الشكل (10)، تغيرات CFUs مع الزمن من أجل تغيرات الأبعاد ين الإلكترودات .

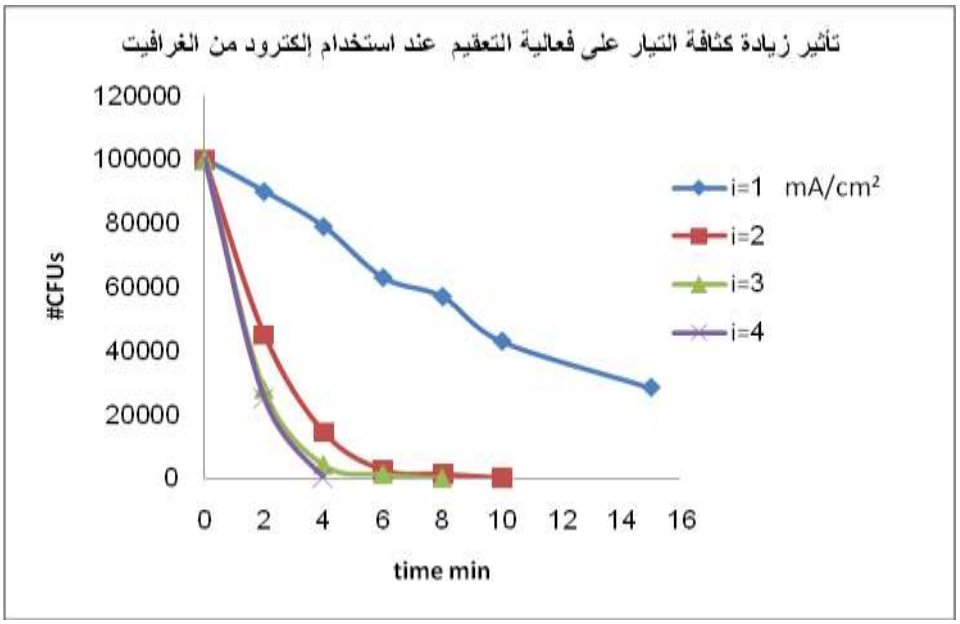
يبين هذا الشكل ، أن الوصول إلى المعالجة التامة يمكن بلوغه ،من أجل المسافات السابقة خلال زمن يتناقص من حوالي 15 دقيقة وحتى 6 دقائق من أجل المسافة l=1cm.

جـ – تأثير طبيعة الأنود على الفعالية الإلكتروكيميائية:

تم دراسة تأثير وجود أنودات من الغرافيت على فعالية المعالجة السابقة، بدلاً من أنودات الستانلس ستيل ، يصف الشكل (12) تغيرات فعالية المعالجة للخلية الإلكتروكيميائية، مع الزمن من أجل كثافة تيار (i=1,2,3,4 mA/cm^2).

الجدول(8) تغيرات الأعداد CFUs من أجل كثافات تيار مختلفة .

#CFUs i=4mA/cm2	#CFUs i=3 mA/cm2	#CFUs i=2mA/cm2	#CFUs i=1 mA/cm2	زمن المعالجة min
100000	100000	100000	100000	0
25000	28000	45000	90000	2
0	4300	14400	79000	4
	1300	2500	63000	6
	0	1200	57000	8
		0	43000	10
			28500	15
			15000	20

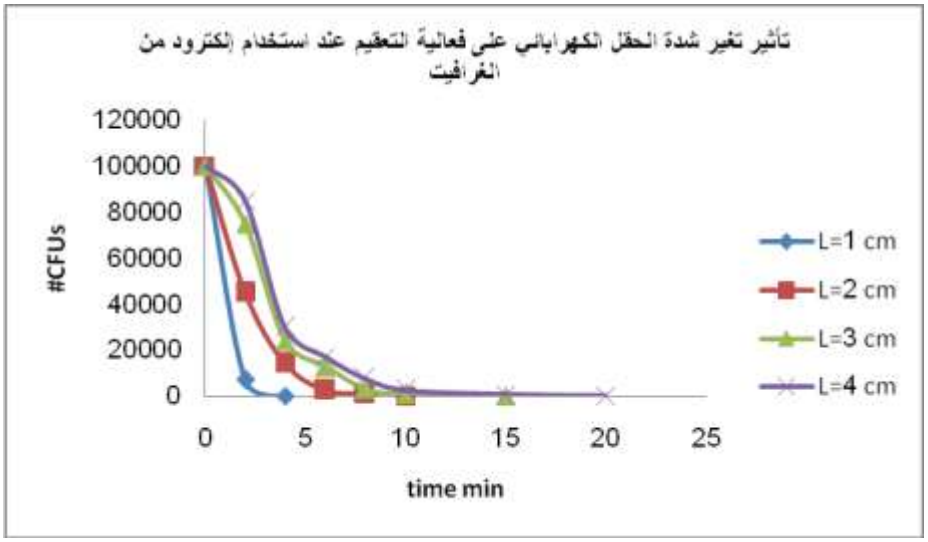


الشكل (11)،تغيرات الأعداد CFUs من أجل كثافات تيار مختلفة .

نجد أن المعالجة التامة تحدث بعد4 دقائق عند كثافة تيار تساوي حوالى 4 mA/cm^2 ولدى تغير المسافة بين الإلكترودات ، ولدى الانتقال إلى استخدام أنود من الغرافيت حصلنا على الشكل (12) الذي يبين أن الفعالية العظمى للتطهير تمت عند (l=1 cm) خلال زمن بحدود 5-4 دقائق .

الجدول(9) تغيرات CFUs مع الزمن لأنود من الغرافيت من أجل مسافات مختلفة من الإلكترودات .

#CFUs L=4cm	#CFUs L=3cm	#CFUs L=2cm	#CFUs L=1cm	زمن المعالجة min
100000	100000	100000	100000	0
85000	75000	45000	7000	2
30000	24000	14400	0	4
16800	12800	2500		6
7500	3000	1200		8
2500	1000	0		10
550	0			15
0				20



الشكل (12)،تغيرات CFUs مع الزمن لأنود من الغرافيت من أجل مسافات مختلفة من الإلكترودات .

الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن استخلاص النتائج الآتية من الدراسة السابقة :

1- وجود فعالية جيدة لاستخدام الخلايا الإلكتروكيميائية لمعالجة مياه الشرب الملوثة بيولوجيا.

2- تزداد فعالية الخلايا بازدياد كثافة التيار على الإلكترودات وزيادة شدة الحقل الكهربائي .

3-نوصي بإجراء دراسة متقدمة باستخدام حجوم أكبر من المياه المعالجة وخلايا ذات استطاعة أكبر،والبحث عن الشروط المثلى لعملها .

المراجع:

[1]KEVIN,P;DREESA, M.A;RAINA, M.M. *Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage*,2002,2 February .2009.
< http://wqc.asu.edu/electro.pdf>

[2] KERWIN, L.R. *Ozone in Drinking Water Treatment*: *Process Design, Operation, and Optimization*. 1ST Edition , American Water Works Association,USA,2005,302.

[3] KRISHNAN ,R .*Environmontel Electrochemistry*, Ibanz Academic ,1997,15 September .2008. http://wallace.tosm.ttu.edu/ETD-db/ETD-browse/browse?first_letter=all

[4]QISHI,L;WANG,H;XIHUI,Z;QIAN,Y. *Effect of Direct Electric Current on the Cell Surface Properties of Phenol-Degrading Bacteria*,2004,15 December. 2009.
http://aem.asm.org/cgi/reprint/71/1/423.pdf

[5] STEPHEN ,R.W; OVERTON,M. *Apparatus And Method For An Anodic Oxidation Biocidal Tretment*,1 February.2008.
<http://www.freepatentsonline.com/5575974.html>

[6] WISTREICH, G.A. *Microbiology Laboratory* .2nd Edition, Prentice Hall, USA,2003,645.

[7] المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة، *المطهرات البديلة والمؤكسدات* ،منظمة الصحة العالمية 2005 <www.emro.who.int/ceha/pdf/oxidants.pdf>.2009 ,February 11,

[8] صالح، فؤاد. *التلوث البيئي أسبابه أخطاره مكافحته*. الطبعة الأولى، دار جفرا للدراسات والنشر،سوريا، 369,1997.

[9] كبيبو، عيسى . *علم الأحياء الدقيقة* .الطبعة الأولى، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، سوريا،2005، 381.