# إنتاج الطاقة الكهربائية من الحمأة المنشطة باستخدام الخلية الكهروحيوية

جهاد ذياب محل[1] ، سماهر جاسم محمد[2] ، وليد محمد شيت[2]

[1]قسم علوم الحياة ، كلية العلوم ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

[2]قسم هندسة البيئة ، كلية الهندسة ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

( تاريخ الاستلام: 3 / 1 /2012 ---- تاريخ القبول: 13 / 3 /2012 )

**الملخص**

إن إنتاج طاقة نظيفة متجددة وغير مكلفة هو الهدف الأساسي لهذا البحث إذ استخدمت الحمأة المنشطة في إنتاج الطاقة الكهربائية وذلك باستخدام خلية كهروحيوية إذ أن الكائنات الحية المجهرية في الحمأة المنشطة لها قابلية على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية وعند رفع درجة الحرارة إلى (45c°) يزيد قابلية إنتاج الكهرباء في المفاعل الهوائي إذ بلغت أعلى قيم منتجة للتيار من 0.5 إلى 1.05- A، وتفاوتت قيم جهد الأكسدة والاختزال بين (0.922 ~1.030-)V، كما أن أعلى قيمة للقدرة (69.6196) $w/m^2$، وأفضل النتائج في المفاعل اللاهوائي كانت عند درجة الحرارة (35c°) إذ ارتفع إنتاج التيار من 0.67 إلى 0.73− A بالتزامن مع ارتفاع قيم التيار وجهد الأكسدة والاختزال فقد تراوحت بين (-0.767 و0.886) V، كما إن لحجم الحمأة تأثير فعال في رفع نسبة النتاج الكهرباء فعند زيادة كمية الحمأة المنشطة في المفاعل الحيوي ارتفعت قابلية إنتاج التيار وجهد الأكسدة والاختزال، كما أن زيادة المساحة السطحية للحمأة المنشطة تزيد قابلية إنتاج التيار وجهد الأكسدة والاختزال.

مفتاح الكلمات: إنتاج الكهرباء، الحمأة، الخلية الكهروحيوية.

## المقدمة (Introduction):

الخلية الكهروحيوية هي تقنية حديثة لمعالجة الحمأة المنشطة وا ٍنتاج الطاقة الكهربائية الحيوية ويعتمد مبدأ عمل الخلية الكهروحيوية على محتوى الحمأة من الكائنات الحية المجهرية التي تقوم بتحطيم المواد الصلبة عن طريق الأيض، إذ أن للمستعمرات البكتيرية الموجودة في الحمأة القابلية على تحويل الطاقة الكيميائية المخزونة في المركبات الكيميائية إلى طاقة كهربائية [1].

تنتج الطاقة الكيميائية عن أكسدة المواد العضوية واللاعضوية فتحولها البكتريا الناشطة كهروكيميائيا بوجود دائرة مغلقة مباشرة إلى طاقة كهربائية بدلا من الطاقة الحرارية [2]،[3]،[4]،[5]،[6]،[7]. إن الكفاءة العامة للخلية الكهروحيوية وكثافة إنتاج الكهرباء تتعلق بوجود المواد العضوية القابلة للتحلل وقابلية تبادل الالكترونات واستعمال قطب سالب متصل بالهواء بشكل مستمر فكلما ادت قابلية التحلل زادت كفاءة الإنتاج [7]،[8]،[9]. تستخدم الحمأة كخلية كهروحيوية لإنتاج الكهرباء الحيوية ولقياس فرق جهد الأكسدة والاختزال في الحمأة المنشطة باستخدام قابلية الكائنات الحية المجهرية على تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية عن طريق التحليل الحيوي للمواد العضوية وقدرتها على نقل الإلكترون، إذ إن مكونات الحمأة هي مواد فعالة من الناحية الكهروكيميائية وتعد طريقة مستقبلية فعالة للمعالجة و ٍن إنتاج الطاقة يمكن استخدامها للتطبيقات العملية [10]،[11]،[12]،[13]،[14]،[15]،[16]، [17]،[18]. الآلية الأساسية التي يتولد بها التيار هي الهجرة الكهربائية (Electrophoresis) وتعني الانتقال النوعي للأيونات خلال مسام السائل وانتشارها بالتنافذية الكهربائية وتوصف التنافذية الكهربائية (Electroosmotic) بأنها حجم الحركة في مسام السائل. تحصل هجرة الالكترونات عبر مسام السائل نتيجة زخم الشحنة الموجبة، كما تتضمن الهجرة الكهربائية انتقال ايونات ($H^+$) و($OH^-$) بالتحلل الكهربائي أي يمكن أن تكون الايونات ($H^+$) و($OH^-$) شحنات الكترونية فيسبب انتقالهما إنتاج الطاقة الكهربائية كما في المعادلات الآتية[6]،[10]،[14]،[17]،[18]: معادلة الأكسدة في القطب الموجب

$$2H_2O \rightarrow O_2 (g\uparrow) + 4H^+ + 4e^-$$

$$(CH_2O)n + nH_2O \rightarrow nCO_2 + 4n\ e^- + 4n\ H^+$$

معادلات الاختزال في القطب السالب حيث يحدث انتقال للإلكترون والبروتون وجزيئات الأوكسجين:

$$4H_2O + 4e^- \rightarrow 2H_2 (g\uparrow) + 4OH^-$$

$$4e^- + 4H^+ + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

تزداد الشحنات الموجبة مثل ($Mg^{+2}$) و($Ca^{+2}$) نتيجة المعالجة الحيوية والتي ترفع كفاءة التلبد بزيادة الجسور بين جزيئات اللباد مع انخفاض الحمأة الفائضة [11]، [19]،[20]. كما لوحظ بأن أكسدة الخلات توفر أكثر من 70% من الالكترونات والتي تظهر كتيار تزداد كثافته مع الزمن كما في المعادلات التالية [20]،[21]:

أكسدة الخلات في القطب الموجب

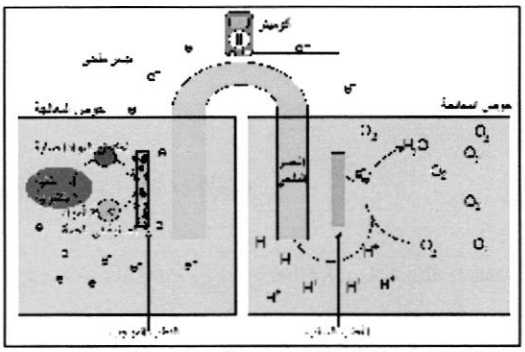
$$CH_3COO^- + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 7H^+ 8e^-$$

الاختزال في القطب السالب

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$$

ويبين الشكل (1) مخطط للخلية الكهروحيوية وعمليات الأكسدة والاختزال لمحتوى الحمأة من المواد الصلبة القابلة للتحلل وتحرر الالكترونات والايونات وآلية انتقال الايونات عبر الجسر الملحي كما تبين انتقال الالكترونات عبر الدائرة الخارجية (Ovameter).

ISSN:1813 – 1662



الشكل (1) مخطط للخلية الكهروحيوية وعمليات الأكسدة والاختزال

الخلية الكهروحيوية من التقنية الحديثة وهي بحاجة إلى الدراسة لفهم آلية عملها والوقوف على المعضلات التي تواجهها بسبب كثرة المتغيرات التي تتحكم بالية التشغيل لذا فأن إنتاج التيار وجهد الأكسدة والاختزال يعتمد على العديد من العوامل منها: نوع الحمأة إذ أن إنتاج الكهرباء في فضلات المياه الصناعية أعلى من إنتاج الكهرباء في فضلات المياه البلدية، ومع زيادة زمن البقاء تغير نوع المستعمرات الميكروبية رافقه تضاعف ثلاث مرات للطاقة وانخفاض المقاومة [1]،[8]،[15]، [19]،[22]. كما إن رفع درجة الحرارة يساهم في رفع إنتاج التيار [23]،[24]،[25]. تزداد الطاقة الكهربائية بزيادة حجم الحمأة [5]. وقد وجد أن زيادة pH ضمن المدى (6-9) تزداد فعالية الخلايا فتخرج البكتريا عن حالة تساوي الجهد الكهربائي [26]. وتتناسب لزوجة الوسط عكسيا مع إنتاج الكهرباء [18]. كما يشترط وجود الأوكسجين في القطب السالب إلا إن التيار ينخفض عند التشبع بالأوكسجين كما ينخفض عند إضافة ($NO_3$) و($NO_2$) [4]،[25]،[27]،[28]،[29]. إن الكفاءة العامة للخلية الكهروحيوية وكثافة توليد الكهرباء تتعلق بتركيز المواد العضوية القابلة للتحلل [7]،[8]،[9]. استخدم [4] الخلية الكهروحيوية لمعالجة مياه الفضلات وا ِنتاج الطاقة الكهربائية الناتجة نشاط الأحياء المجهرية، صممت الخلية الكهروحيوية من مادة البلاستك الشفاف، سعة حجرة القطب الموجب 25 ml مع وجود ثلاث ثقوب (مرور سلك القطب الموجب ولإضافة العينة و الغاز) حيث يضخ غاز الأوكسجين +النيتروجين الحر بمقدار 15 ml/min في غرفة القطب الموجب ويمرر 15 ml/min من الهواء في غرفة القطب السالب، يتكون القطب من الكربون وزن القطب (0.63g) والمساحة السطحية لعمود الكربون 332 $mm^2/g$ ملي من القطب، وقد ارتفعت كفاءة معالجة مياه الفضلات حيث تم إزالة 97.1% COD، وعند أقلمة الأحياء المجهرية لفترة 30 يوم ارتفع التيار والفولتية إلى 0.2 mA، 600 mV.

وقام [15] بربط ستة خلايا كهروحيوية مفردة على التوالي وعلى التوازي لزيادة قيم جهد الأكسدة والاختزال والتيار، وبلغت أقصى كثافة 258 $W/m^3$. زاد التيار نتيجة الربط على التوالي إلى 255 mA مع كثافة مقدارها 248 $mW/m^3$، وبلغت الفولتية 2.02 mV مع كثافة مقدارها 228 $mW/m^3$، وعند أقلمت الكائنات المجهرية زادت كثافة التيار ثلاثة أضعاف من 73 إلى 275 $W/m^3$.

درس [30] إمكانية تطوير إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام نوعين من الخلايا الكهروحيوية: الخلية الكهروحيوية المزدوجة (Dual-Chamber) والخلية الكهروحيوية المفردة (Single Chamber)، صنعة الخلية المزدوجة من قنينتين بلاستيكيتين سعة 125 ml تم غلقهما بسدادة مطاطية يصل بينهما أنبوب بطول 4 cm وبقطر 2 cm يعمل كوسط ناقل لأيونات، صنعت الأقطاب من الكربون بقطر 0.5 mm وبارتفاع 2 mm يرتبط بسلك من النحاس، تحتوي غرفة القطب الموجب على الحمأة وغرفة القطب السالب تحتوي على (50mM) K3Fe(CN)6 ومحلول منظم ($NaH_2PO_4$ (100mM للمحافظة على قيمة pH 7، أقصى قيمة للتيار 0.149 mA وتتاوبت الفولتية بين (400~600-) mV وقد استقرت عند 398 mV والكثافة القصوى 1602 $mW/m^3$. استخدم الهواء للقطب السالب في الخلية المفردة، المساحة السطحية للقطب الكربون 12.6 $cm^2$، وبلغت أقصى القيم لكثافة للكهرباء 6817.4 $mW/m^3$ و 1.64 mA و(321- ~ 750) mV. كما بين الباحثون زيادة إنتاج الطاقة الكهربائية مرتبط بزيادة تر اكيز COD.

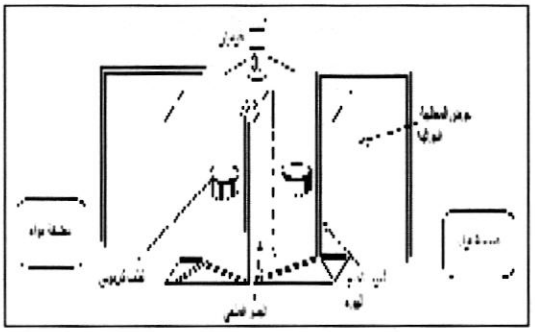
كما درس [1] إمكانية تحسين أنتاج الطاقة الكهربائية بإضافة الايثانول والميثانول إلى نوعين من الخلايا الكهروحيوية (Aqueous-cathode) تتكون الأولى من حوضين: يحتوي الحوض اللاهوائي للقطب الموجب على الحمأة بينما يحتوي حوض القطب السالب على الماء أما النوع الثانية الخلية الكهروحيوية المفردة (Single Chamber) فتتكون من حوض لاهوائي للقطب الموجب يحتوي على الحمأة وترك القطب السالب معرضاً للهواء. عند إضافة الايثانول إلى الخلية الكهروحيوية الأولى زاد إنتاج الطاقة الكهربائية بكثافة (40±2) $mW/m^2$ وأعلى قيمة للتيار والفولتية 0.3 mA، (213~600-) 213 mV بعد 125 hr. ولم تتعدى الفولتية 10 mV عند إضافة الميثانول، ولم يتم إنتاج التيار الكهربائي حتى بعد 320 hr لكلا النوعين من الخلايا الكهروحيوية. كما تم إنتاج الطاقة الكهربائية في الخلية الكهروحيوية الثانية عند إضافة الايثانول بكثافة (488±12) $mW/m^2$ عند قيمة 1.07 mA و 650 mV، وارتفعت الفولتية والتيار إلى 750 mV، 1.4 mA بعد 150 hr. وقام [31] بتطوير الخلية الكهروحيوية لرفع كفاءة المعالجة وا ِنتاج الطاقة الكهربائية حيث يحتوي القطب الموجب على الحمأة ويحتوي القطب السالب سيانيد البوتاسيوم مع أقطاب كربون تتراوح قيم الكثافة للطاقة الكهربائية بين (143-59.2) $mW/m^2$، كما زادت قابلية التحلل بنسب تتراوح بين (42%-64%) وتراوحت نسب إزالة COD (27%-38%). وأثبت [32] إمكانية معالجة مياه الفضلات وا ِنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام الخلية الكهروحيوية كتقنية اقتصادية ومصدر طاقة متجدد، صممت الخلية الكهروحيوية المزدوجة من القطب الموجب الحاوي على مياه فضلات في ظروف لاهوائية مع قطب كربوني كما يتكون القطب السالب من ( 50 mM) $K_3Fe(CN)_6$ في محلول الفوسفات المنظم وقيمة الأس الهيدروجيني 7.5، بالإضافة إلى قطب كربوني. يعتمد إنتاج الطاقة

ISSN:1813 – 1662

الكهربائية على نسبة الحمل العضوي في مياه الفضلات بوجود ظروف تشغيلية ثابتة، وأقصى قيم للفولتية والتيار 271.5 mV، 5.43 mA مع حمل عضوي بمقدار 1.165 kgCOD/m$^3$.day، نسبة إزالة COD 35.4%وبلغت الطاقة النوعية المنتجة 0.163 W/kgCOD$_{removed}$ وكثافة التيار 747.96 mA/m$^2$. بلغت أعلى قيم لفرق جهد للأكسدة والاختزال 304 mV بالتزامن مع 6.08 mA بوجود حمل عضوي بمقدار 1.404 kgCOD/m$^3$.day، نسبة إزالة COD 62.9%وبلغت الطاقة النوعية المنتجة 0.198 W/kg COD $_{removed}$ وكثافة التيار 862.85 mA/m$^2$.

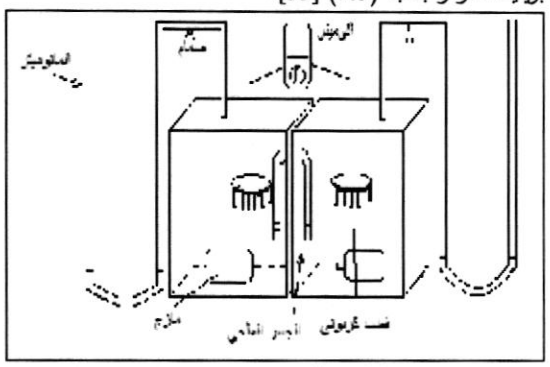
**المواد وطرائق العمل (material and methods):**

أجريت دراسة إنتاج الطاقة الكهربائية من الحمأة المنشطة باستخدام الخلية الكهروحيوية لعينات الحمأة المنشطة الناتجة من أحواض التثخين في محطة معالجة فضلات مياه مدينة الطب في الموصل، حيث تم العمل على إنتاج الطاقة الكهربائية بثلاث درجات حرارية مختلفة (25c°، 35، 45) للمقارنة بينها لغرض الوصول إلى درجة الحرارة المثلى إنتاج الطاقة الكهربائية ويتكون المفاعل الهوائي من حوضين زجاجيين سعة كل حوض 4 لتر كما في الشكل (2) ويصاحب عملية المعالجة الحيوية الهوائية عملية مزج وتهوية بشكل مستمر عن طريق ضخ الهواء داخل الحمأة المنشطة باستخدام مضخة هواء في أربعة نقاط مثبتة في الزوايا الأربعة للقاعدة، تم وضع جسر ملحي يصل بين الحوضين يعمل كناقل للأيونات يحتوي على مادة جلاتينية مكونه من وسط غذائي Agar بنسبة (2%-5%) مع (M 1) من (KCl) وهو ناقل جيد للأيونات، يحتوي كل حوض في الخلية الكهروحيوية على قطب كربوني يتكون من حزمة من ستة أعمدة كربونية مربوطة معا لزيادة المساحة السطحية إذ أن المساحة السطحية لكل عمود كربوني مقدارها 9.2 cm$^2$، ربط القطبين بسلك نحاسي ينتهي إلى جهاز Ovameter بدائرة كهربائية مغلقة لقياس الفولتية والتيار.



**شكل (2) مخطط يوضح المفاعل الهوائي**

يبين الشكل (3) نظام المعالجة اللاهوائية المشابه للمفاعل الهوائي إلا أن عملية المزج المستمر للحمأة المنشطة يتم باستخدام جهاز مزج مثبت في قاعدة كلا الحوضين، تم ربط كل حوض بمانوميتر وهو عبارة عن أنبوب مطاطي على شكل حرف (U) بحجم 35 cm$^3$ متصل بحوض المعالجة اللاهوائي من جهة ومفتوح من الجهة الأخرى يحتوي على صمام في الطرف القريب من الحوض للتحكم بكمية الغاز ويحتوي على محلول مشبع بـ NaCl مع صبغة المثل البرتقالي وحامض الكبريتيك المركز بنسبة (5%) [33].



**شكل (3) مخطط يوضح المفاعل اللاهوائي**

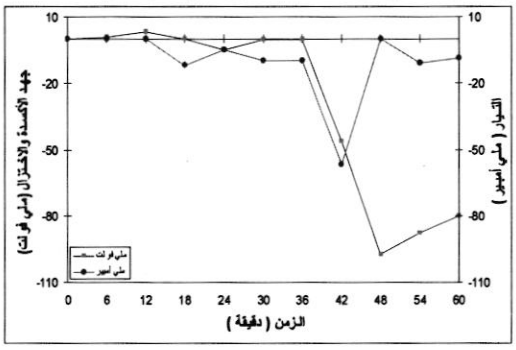
كما تم دراسة تأثير المساحة السطحية لحوض المعالجة على إنتاجية الكهرباء إذ تم استخدام ثلاث خلايا تعمل بأسلوب المعالجة الهوائية وبمساحات مختلفة وحجم ثابت، فتم دراسة تأثير أحواض بمساحات (78.5، 196، 441) cm$^2$، كما تم دراسة تأثير حجم الحمأة المستخدمة في كل حوض من أحواض الخلية على إنتاج الكهرباء وتم استخدام أحواض بأحجام L(0.5، 1، 2، 3).

**النتائج والمناقشة (Results and Discussions):**

قد لوحظ انخفاض في قيم جهد الأكسدة والاختزال مع الزمن حيث تراوحت بين (85- ~92) mV في نهاية التجارب الهوائية واللاهوائية إلا أنها لم تؤثر كثيرا على قابلية المفاعل لإنتاج الطاقة الكهربائية فقد استقر التيار تقريبا عند القيمة 10 mA عند نهاية التجربة في الحالتين الهوائية واللاهوائية وفي مختلف درجات الحرارة.

1- إنتاج الطاقة الكهربائية في ظروف المعالجة الهوائية:

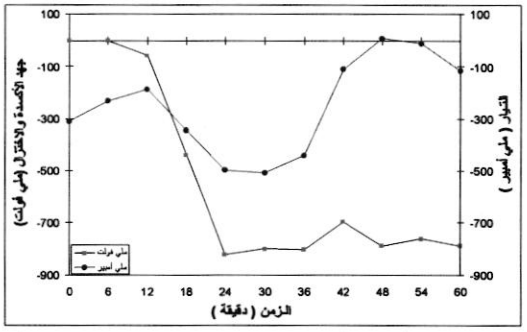
تباينت قيم جهد الأكسدة والاختزال Oxidation Reduction Potential (ORP) للحمأة المنشطة في ظروف المعالجة الحيوية الهوائية بدرجة حرارة 25 c° حيث يبين الشكل (4) تباين قيم الفولتية والتيار خلال ساعة واحدة عند بداية التشغيل حيث كانت القيمة الأولية للفولتية (0.003-) mV واستمرت بالتزايد وبشكل متبادل بين القيم الموجبة والسالبة.




**شكل (4) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في 25c° عند بداية المعالجة الهوائية**

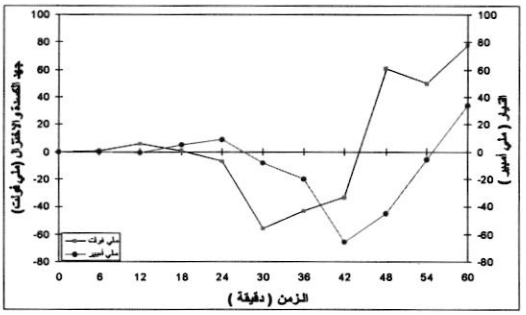
ISSN:1813 – 1662

كما يبين الشكل (5) العلاقة بين التيار وجهد الأكسدة والاختزال مع الزمن خلال ساعة واحدة من زمن البقاء الهيدروليكي حيث يبين ذروة جهد الأكسدة والاختزال المقاس في أثناء المعالجة الحيوية الهوائية بدرجة حرارة 25 c° بعد 20 hr من زمن البقاء الهيدروليكي فقد ارتفع جهد الأكسدة والاختزال إلى ( 819-) mV وهي أعلى قيمة سالبة لجهد الأكسدة والاختزال تم قياسها بعد 20 hr من زمن البقاء، وأعلى قيمة موجبة لجهد الأكسدة والاختزال بعد زمن بقاء 20 hr كانت 99.9 mV، ورغم التفاوت الحاصل في قيم الفولتية إلا أنها تستقر تقريبا بين القيم(4.87~127-) mV عند نهاية زمن البقاء. تباينت قيم أنتاج التيار بين (570-) mA بعد زمن بقاء 17 hr و 10 mA، وبلغت قيمة للقدرة الكهربائية خلال المعالجة الهوائية بدرجة الحرارة 25 c° 73944 $mW/m^2$ وتتفق النتائج مع ماتوصل اليه كلٌ من [1]،[31].



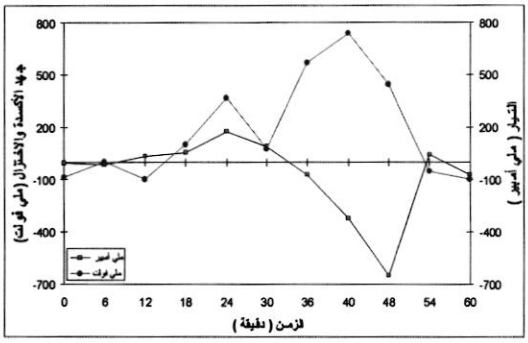

**شكل (5) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في 25c° بعد (20) ساعة من المعالجة الهوائية**

تراوحت قيم جهد الفولتية والتيار في ظروف المعالجة الهوائية بدرجة حرارة 35c° عند بداية التشغيل كما هو مبين في الشكل (6)، أعلى قيمة سالبة لجهد الأكسدة والاختزال (1019-)mV بعد زمن بقاء (13hr)، وأعلى قيمة موجبة لجهد الأكسدة والاختزال 798 mV بعد زمن بقاء 16 hr.



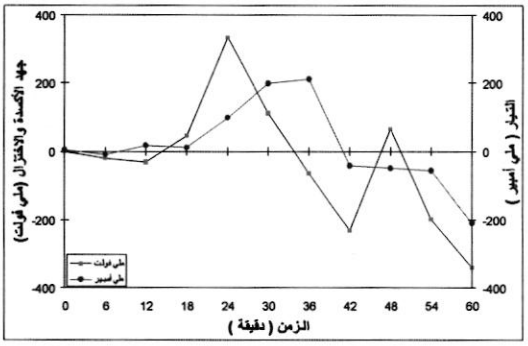

**شكل (6) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في 35c° عند بداية المعالجة الهوائية**

بعد 15 hr من زمن البقاء تحسنت قابلية المنظومة على إنتاج التيار إذ ارتفع إلى ( 1010-) mA، أما أعلى قيمة موجبة لإنتاج التيار فكانت 740 mA بعد زمن بقاء 18 hr كما في الشكل رقم (7) الذي يبين العلاقة بين التيار والفولتية مع ساعة واحدة من زمن البقاء الهيدروليكي وأعلى قيمة للقدرة الكهربائية تصل إلى 52546 $mW/m^2$ ويتفق هذا مع ما حصل عليه كلٌ من [6]،[7]،[15]،[25]، [30]،[31].



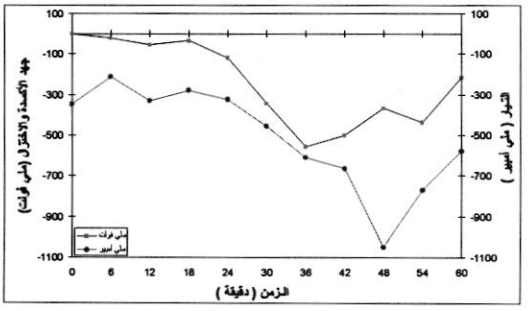

**شكل (7) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في بعد فترة تشغيل 18 ساعة 35c° معالجة هوائية**

كما تراوحت في قيم والفولتية والتيار للساعة الأولى من زمن التشغيل في ظروف معالجة هوائية عند 45 c° كما يبين الشكل (8).




**شكل (8) علاقة الفولتية والتيار مع في في أثناء المعالجة الهوائية 45c°**

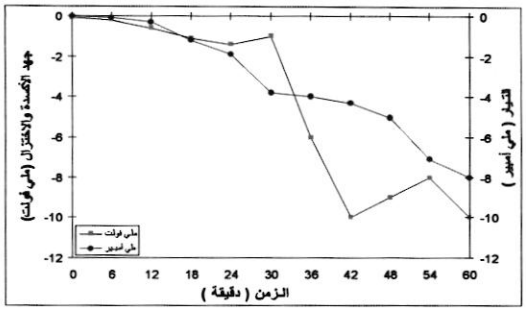
أما الشكل (9) فيبين تفاوتا في قيم التيار والفولتية مع الزمن حيث ارتفعت قابلية إنتاج التيار بعد زمن بقاء هيدروليكي 12 hr إلى (1050-) mA وبلغت أعلى قيمة موجبة 500 mA بعد زمن بقاء 10 hr، كما تراوحت قيم جهد الأكسدة والاختزال بين 922 mV كأعلى قيمة موجبة و(1030-) mV وهي أعلى قيمة سالبة لجهد الأكسدة والاختزال بعد زمن بقاء 8 hr أما أعلى قيمة للقدرة الكهربائية فكانت 69619.6 $mW/m^2$ يتفق هذا مع ماتوصل اليه [1]،[12]،[17]،[18] ،[29]،[30]، [35]، كما وجد [23] إن رفع درجة حرارة المعالجة تؤدي إلى زيادة قيم الفولتية.




**شكل (9) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في أثناء المعالجة الهوائية 45c° بعد 12 ساعة**

2- إنتاج الطاقة الكهربائية في ظروف المعالجة اللاهوائية:

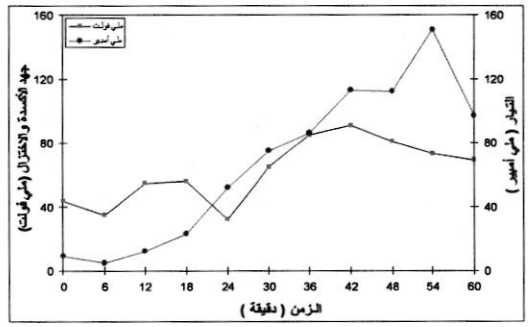
تباينت قيم الفولتية في ظروف المعالجة اللاهوائية بدرجة حرارة c° 25 بين (150~507-) mV خلال فترت المعالجة 15 days ويبين الشكل (10) تذبذب قيم الأكسدة والاختزال وقيم التيار خلال الساعة الأولى من زمن البقاء.



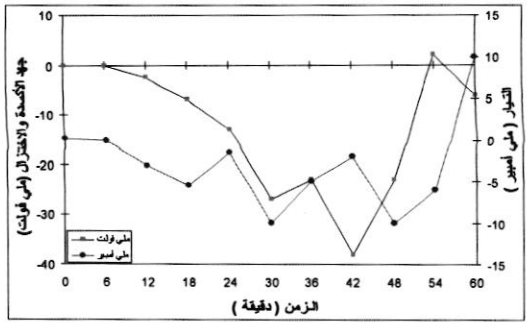

**شكل (10) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في أثناء المعالجة اللاهوائية 25c°**

سُجلت أعلى القيم بعد زمن بقاء 9 days حيث تحسنت قابلية المنظومة على إنتاج التيار فكانت أعلى قيمة بمقدار 151 mA بعد 9 days، و(220-) mA بعد11 days كما في الشكل (11) وأقصى قيم للقدر ة الكهربائية 1997 $mW/m^2$ وتتفق هذه النتائج مع نتائج دراسات كلاً من [3]،[5]،[9]،[19]،[32].

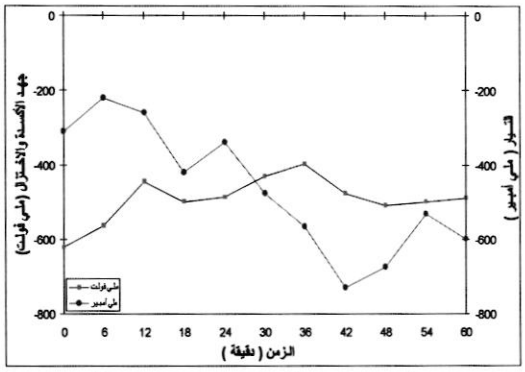
في حين يبين الشكل (12) علاقة جهد الأكسدة والاختزال مع زمن المعالجة بالتزامن مع علاقة التيار مع الزمن خلال ساعة التشغيل الأولى، وتحسنت قابلية الخلية الكهروحيوية على إنتاج التيار الكهربائي مع زيادة زمن البقاء حيث يبين الشكل (13) أعلى قيمة مقاسه للتيار الكهربائي (730-) mA بعد8 days، و 670 mA بعد 10 days، كما ارتفعت قيم الفولتية أثناء المعالجة اللاهوائية بدرجة حرارة c° 35 فتراوحت بين (767~886-) mV بعد 7days وأعلى قيمة للقدر ة الكهربائية 62364 $mW/m^2$ وهذه النتائج تتفق مع نتائج دراسات كلاً من [4]،[29]،[36].




**شكل (11) علاقة التيار والفولتية مع الزمن في أثناء المعالجة اللاهوائية 35c°**

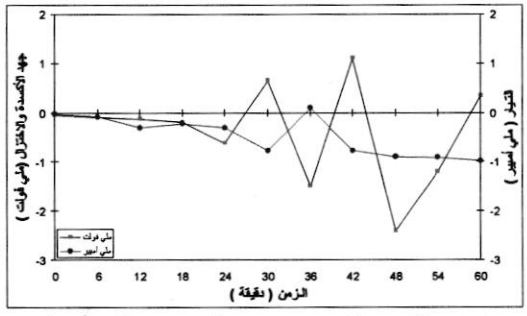



**شكل (12) علاقة التيار والفولتية مع الزمن في أثناء المعالجة اللاهوائية 35c°**



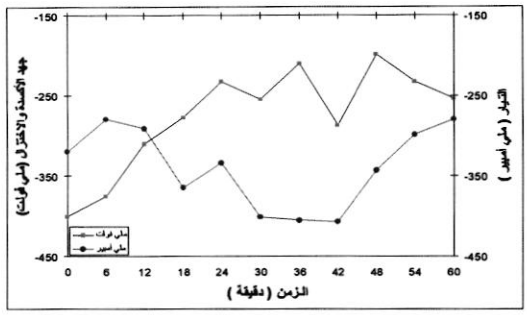

**شكل (13) علاقة التيار و جهد الأكسدة والاختزال مع الزمن أثناء المعالجة اللاهوائية 35c° بعد 8 أيام**

يبين الشكل (14) قيم التيار وجهد الفولتية في ظروف معالجة لاهوائية ودرجة حرارة c° 25 عند بدء التشغيل وقد تراوحت قيم جهد الأكسدة والاختزال بين (505~758-) mV بعد 10days، كما تذبذبت قيم الطاقة الكهربائية إذ بلغت (340~407-) mA بعد 5days كما في الشكل (15)، كما بلغت قيم القدرة الكهربائية 23167.41 $mW/m^2$، وتتفق هذه النتائج مع اليه لكلٍ من [20]، [21]،[22]،[25].




**شكل (14) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن أثناء المعالجة اللاهوائية 45c°**

ISSN:1813 – 1662

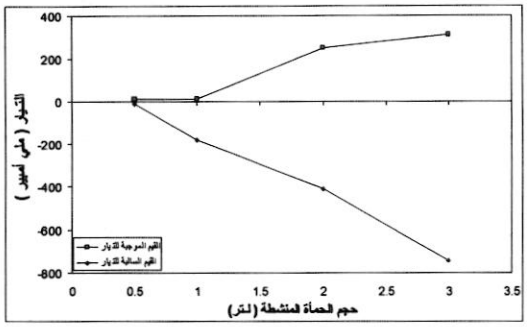



**شكل (15) علاقة الفولتية والتيار مع الزمن في أثناء المعالجة اللاهوائية 45c° بعد 5 أيام**

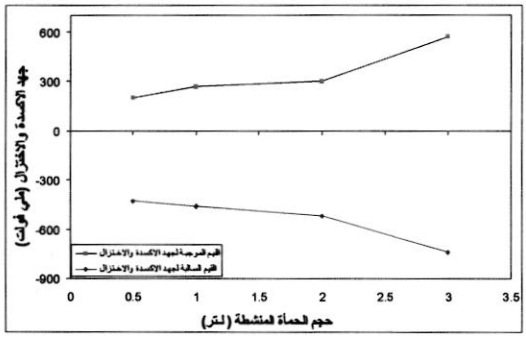
مما تقدم يلاحظ ازدادت قابلية إنتاج التيار الكهربائي برفع درجة حرارة الخلية الكهروحيوية إلى 45 c° في ظروف المعالجة الهوائية يعزى السبب إلى زيادة حركة ونشاط الأيونات عبر الغشاء السايتوبلازمي والجدار الخلوي للأحياء والمحلول لزيادة النشاط الأنزيمي وحركة الجزيئات والأيونات في المحلول كما يزداد النشاط المكروبي في الظروف الهوائية مقارنة بالظروف اللاهوائية، كما وجد أن درجة الحرارة 35c° المثلى لإنتاج الطاقة الكهربائية في ظروف المعالجة اللاهوائية حيث أنها درجة الحرارة المثلى لنمو الأحياء المرضية لذا تكون في أوج نشاطها بالتالي تزداد حركة الأيونات من داخل الخلية إلى خارجها [37].

3- تأثير حجم الحمأة في المفاعل على إنتاجية الخلية الكهروحيوية:

تم دراسة تأثير تغير حجم الحمأة المنشطة في خلية المفاعل الهوائي على عملية إنتاج الكهرباء وطبيعة العلاقة بينهما عند درجة الحرارة 35 c° وأظهرت النتائج وجود علاقة طردية بين تغير حجم الحمأة المنشطة المستخدمة في المفاعل من جهة وا إنتاج الكهرباء كما في الشكل (16) وجهد الأكسدة والاختزال من جهة أخرى كما في الشكل (17) إذ تراوحت قيم التيار الكهربائي بين (10) ملي أمبير و(12-) ملي أمبير كما تراوحت قيم جهد الأكسدة والاختزال بين (200~430-) mV عند استخدام (0.5L) من الحمأة المنشطة في كل حوض في الخلية الكهروحيوية، وبلغت قيم القدرة الكهربائية 915.8 $mW/m^2$، أما عند زيادة حجم الحمأة إلى (1 L) صاحبة زيادة في إنتاج التيار الكهربائي إذ تراوحت قيمه بين (10~180-) mA، في حين تراوحت قيم جهد الأكسدة والاختزال (الفولتية) بين (270~460-) mV، وبلغت أعلى قيمه للقدرة 14830 $mW/m^2$.




**شكل (16) العلاقة بين حجم الحمأة والتيار المنتج**

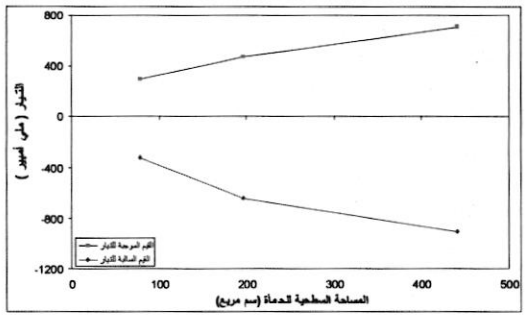



**شكل (17) العلاقة بين حجم الحمأة وفرق الأكسدة والاختزال (الفولتية)**

أما عند زيادة حجم الحمأة المنشطة إلى (2 L) في كل حوض أزداد التذبذب في قيم كل من التيار وجهد الأكسدة والاختزال إذ بلغت (250~-410) mA و(300 ~ 520-) mV، و(31423.2) $mW/m^2$ أعلى قيمة للقدرة الكهربائية. ارتفعت قيم كل من التيار والفولتية مع زيادة الحجم إلى 3L في كل حوض إذ تراوحت قيم تيار بين (430~670-) mA، وتراوحت الفولتية بين (510~741-) mV. أعلى قيم القدرة 79870 $mW/m^2$.

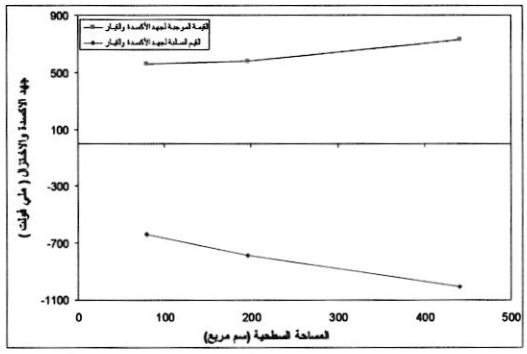
4- تأثير المساحة السطحية للحمأة المنشطة على إنتاجية الخلية الكهروحيوية:

تم تغيير المساحة السطحية للحمأة المنشطة بتغيير المساحة السطحية للمفاعل الهوائي لمعرفة تأثير المساحة السطحية على إنتاج الكهرباء كما في الشكل (18) وجهد الأكسدة والاختزال من جهة أخرى كما في الشكل (19) مع تثبيت درجة الحرارة على 35c° وحجم الحمأة (3 L) في كل حوض إذ تراوحت قيم التيار بين (290~320-) mA في حين تراوحت الفولتية بين (560~640-) mV. كما بلغت قيمة القدرة الكهربائية 30223.2 $mW/m^2$ عند استخدام مساحة سطحية 78.5 $cm^2$ للحمأة المنشطة في كل حوض في الخلية الكهروحيوية.




**شكل (18) العلاقة بين المساحة السطحية والتيار الكهربائي**

كما أن زيادة المساحة السطحية للحمأة المنشطة إلى 196 $cm^2$ في كل حوض أدى إلى ارتفاع قيم كل من التيار وجهد الأكسدة والاختزال إذ تراوحت قيم كل من التيار والفولتية بين (470~-640) mA و(580~790-) mV. () $mW/m^2$ أعلى قيمة للقدرة الكهربائية. بزيادة المساحة السطحية للحمأة المنشطة إلى 441 $cm^2$ ارتفعت قيم كل من التيار والفولتية إذ تراوحت بين (710~900-) mA، (101~730-) mV وبلغت أعلى قيمة للقدرة الكهربائية 12113 $mW/m^2$، تتفق هذه النتيجة مع [24] حيث أشار إلى زيادة الفولتية والتيار بزيادة التهوية.




**شكل (20) العلاقة بين المساحة السطحية وفرق جهد الأكسدة والاختزال**

**المصادر**

1- Kim T., Kim T.H., Yu S., Nam Y.K., Choi D., Lee S.R. and Lee M. (2007) "Solubilization of waste activated sludge with alkaline treatment and Gamma Ray Irradiation" J. Ind. Eng. chem. Vol. 13, No. 7, PP: 1149-1153.

2- Chang I.S., Jang J.K., Gil G.C., Kim M., Kim H.J., Cho B.W, and Kim B.H (2003) "Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor" Biosensors and Bioelectronics, Vol. 19, Issue 6, pp: 607-613.

3- Lee Y., and Oleszkiewiz J.A. (2003) "Effects of predation and ORP conditions on the performance of nitrifiers in activated sludge systems" Water Research, Vol. 37, Issue 17, pp: 4202-4210.

4- Kim B.H., Park H.S., Kim H.J., Kim G.T., Chang I.S., Lee J., and Phung N.T. (2004) "Enrichment of microbial community generating electricity using a fuel-cell-type electrochemical cell" Appl Microbiol Biotechnol (63) pp:672-681.

5- Angenenet L. (2008) "Electric power generation from municipal food, and animal wastewaters using microbial fuel cells" www. Microbialfuelcell. Org.

6- Yao Y.Z. (2008) "The Effect of suspended sludge on Electricity generation in microbial fuel cells" Bioinformatics and Biomedical Eng. the 2 ed International conference. pp: 2923-2927.

7- Patil S.A, Surakasi V.P., Koul S., Ijmulwar Sh., Vivek A., shouche Y.S. and Kapadnis B.P. (2009) "Electricity generation using chocolate industry wastewater and its Treatment in activated sludge based microbial fuel cell and analysis of developed microbial community in the anode chamber" Bioresource Technology, Vol. 100, Issue 21, pp: 5132-5139.

8- Rabaey K., Clauwaert P., Aelterman P., and Verstraete W. (2005) "Tubular microbial fuel cells for efficient electricity generation" Environ. Sci. Technol. 39 (20), pp: 8077-8082.

9- Rodrigo M.A., Canizares P., Lobato J., Paz R., Seaz C., and Linares J.J. (2007) "Production of electricity from the treatment of urban waste water using a microbial fuel cell" J. of Power Sources, Vol. 169, Issue 1, pp: 198-204.

10- Eykholt G.R., Daniel D.E., (1994) "Impact of system chemistry on electroosmosis in contaminated soil" J. of Geotechnical Engineering 120, pp: 797-815.

11- Chu C.P., Chang B., Liao G.S., Jean D.S., and Lee D.J. (2001) "Observations on changes in ultrasonically treated waste-activated sludge" Wat. Res. Vol. 35, No. 4, pp: 1038-1046.

12- Kim J.R., Min B., Logan B.E. (2005) "Evaluation of procedures to acclimate a microbial fuel cell for electricity production" Appl Microbiol Biotechnol (68) pp: 23-30.

13- Min B., Kim J.R., Oh S.E., Regan J.M., and Logan B.E., (2005) "Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells" Water Research, Vol. 39, Issue 20, pp: 4961-4968.

14- Chang S.J., Moon H., Bretschger O., Jang J.K., Park H.I., Nealson K.H., and Kim B.H. (2006) "Electrochemically Active Bacteria (EAB) and mediator-less microbial fuel cells" J. Microbial Biotechnol. 16(2), pp: 163-177.

15- Aelterman P., Rabaey K., Pham H.T., Boon N., and Verstraete W. (2006) "Continuous electricity generation at high voltages and currents using stacked microbial fuel cells" Environ. Sci. Technol., 40 (10), pp: 3388-3394.

16- Logan B.E., and Regan J.M. (2006) "Electricity -producing bacterial communities in microbial fuel cells" Trends in Microbiology Vol. 14, Issue 12, December, pp: 512-518.

17- Clauwaert P., Ha D., Boon N., Verbeken K., Verhaege M., Rabaey K., and Verstraete W. (2007) "Open air biocathode enables effective electricity

generation with microbial fuel cells" Environ. Sci. Technol., 41 (21), pp: 7564-7569.
18- Reddy K.R., Urbanek A., Khodadoust A.P. (2006) "Electroosmotic dewatering of dredged sediments: Bench-scale investigation" J. of Environ. Management, 78, pp: 200-208.
19- Moon H., Chang I.S., and Kim B.H. (2005) "Continuous electricity production from artificial wastewater using a mediator-less microbial fuel cell" Bioresource Technology Vol. 97, Issue 4, pp: 621-627.
20- Du Z., Li H., and Gu T. (2007) "A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy" Biotechnology Advances (25), pp: 464-482.
21- Lee J., Phung N.T., SeopChang I., Kim B.H., and Sung H. Ch. (2003) "Use of acetate for enrichment of electrochemically active microorganisms and their 16S rDNA analyses" FEMS Microbiology Letters (223) 185-191.
22- He Z., Minteer Sh.D., and Angenent L.T. (2005) "Electricity Generation from Artificial Wastewater Using an Upflow Microbial Fuel Cell" Environ. Sci. Technol., 39 (14), pp: 5262-5267.
23- Chu C.P., Lee D.J., Chang B., You C.H., Liao C.S., and Tay J.H. (2003) "Anaerobic digestion of polyelectrolyte flocculated waste activated sludge" Chemosphere, 53, PP:757-764.
24- Attar H. M., Bina B., and Moeinia Kh. (2005) "Effects of aeration rate and detdntion time on thermophilic aerobic digestion of mixed sludge and its dewaterability" Int. J. Environ. Sci. Tech. Vol. 2, No. 2, pp: 105-111.
25- Jang J.K., Pham Th.H., Chang I.S., Kang K.H., Moon H., Chob K.S., and Kim B.H. (2003) "Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell" Process Biochemistry, Vol. 39, Issue 8, April, pp: 1007-1012.
26- Ghanizadeh Gh., and Sarrafpour R. (2001) "The Effect of Temperature and pH on Settlability of Activated Sludge Flocs" Iranian J. Pub. Health, Vol. 30, Nos. 3-4, pp: 139-142.
27- Pham C.A., Jung S.J., Phung N.T., Lee J., Chang I.S., Kim B.H. (2003) "A novel electrochemically active and Fe(III)-reducing bacterium phylogenetically related to Aeromonas hydrophila, isolated from a microbial fuel cell" FEMS Microbiol Lett, 223, pp:129-34.
28- Pham T.H., Jang J.K., Chang I.S., Kim B.H. (2004) "Improvement of cathode reaction of a mediatorless microbial fuel cell" J. Microbiol Biotechnol, 14, pp:324-9.
29- Rabaey K., and Verstraete W. (2005) "Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation" TRENDS in Biotechnology, Vol. 23, No. 6, pp: 292-298.
30- You S.J., Zhao Q.L., Jiang J. Q., Zhang J.N., and Zhao Sh. Q. (2006) "Sustainable Approach for Leachate Treatment: Electricity Generation in Microbial Fuel Cell" J. of Environ. Science and Health Part A, (41) pp: 2721-2734.
31- Ren Z., Ward Th. E., and Rengan J.M. (2007) "Electricity Production from Cellulose in a Microbial Fuel Cell Using a Defined Binary Culture" Environ. Sci. Technol., 41 (13), pp: 4781-4786.
32- Mohan S.V., Mohanakrishna G., Reddy B.P., Saravanan R., Sarma P.N. (2008) "Bioelectricity generation from chemical wastewater treatment in mediatorless (anode) microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched hydrogen producing mixed culture under acidophilic microenvironment" Bio. Eng. J. 39, pp: 121-130.
33- Metcalf and Eddy (1972) "Wastewater collection engineering, treatment, disposal" McGraw-Hill Book company, USA.
34- Kim J.R., Jung S.H., John M. Regan J.M., Logan B.E., (2006) "Electricity generation and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells" Bioresource Technology (98), pp: 2568-2577.
35- Mohan S.V., Prasad K.K., Rao N.Ch., Bhaskar Y.V., Babu V.L., Rajagaopal D., and Sarma P.N. (2005) "Biological treatment of low-biodegradable composite chemical wastewater using upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor: Process monitoring" J. of Scientific and Industrial Research. Vol. 64, pp: 771-777.
36- Sherris J.C., Ryan J.K., and Ray G.C. (2004) "Medical Microhiology" 4th McGraw-Hill.

# Electricity Energy production from activated sludge by using bioelectricity cell

**Jihad D. Mihal[1], Samaher J. Mohamed[2], Waleed M.S. Alabdrabda[2]**

[1] *Dept. Of biology, Coll. of Science, Tikrit University, Tikrit, Iraq*

[2] *Dep. Of Environmental Eng, Coll. of Eng., Tikrit University, Tikrit, Iraq*

**(Received: 3 / 1 / 2012 --- Accepted: 13 / 3 / 2012)**

**Abstract**

Electricity production from activated sludge as a renewed power is the main aim of this study. The microorganisms in the activated sludge are able to transform the chemical energy to electrical energy and raising the temperature to 45c° implies the raise of electricity production ability in aerobic bioreactor from 0.5 to -1.05 A the value of current, while the oxidative and reductive potential(ORP) value between 0.922 to -1.030 volts, with a maximum power density 69.6196 W/m$^2$, the best results anaerobic bioreactor with 35c° at the value of current -0.73 to 0.67 A, and ORP raise which fluctuated between -0.767 to 0.886 V. The volume of activated sludge produced has a high effected on electricity production, the increase the volume of activated sludge in the bioelectricity cell, and the increase of surveys area of activated sludge caused increases the ability of electricity production.

**Key words:** Electricity production, sludge, bioelectricity cell.