# تحويل المياه الثقيلة الى طاقة كهربائية باستخدام بطارية حيوية

**م.د. رنا هادي حميد الشمري  م.م. شيماء نغيمش مزعل**
الجامعة المستنصرية /كلية العلوم /علوم حياة

**الخلاصة**

ان انحسار مصادر الطاقة غير المتجددة قادتنا الى اكتشاف تقنيات صديقة للبيئة لانتاج الطاقة. الهدف من هذه الدراسة هو تصميم بطارية بايولوجية (BFC) وهي مفاعلات كيموحيوية يتم تحرير الطاقة المخزونة في المواد العضوية عن طريق عملية الاكسدة بواسطة الاحياء المجهرية, متكونة من قطبين (الكاثود والانود) لتوليد الطاقة الكهربائية من مواد منخفضة التكلفة وغير سامة وفي نفس الوقت معالجة مشكلة مياه الصرف الصحي وتشخيص بعض الاحياء المجهرية في هذه المياه واختيارالاكثر كفاءة في انتاج الطاقة الكهربائية. في هذه التقنية تم انتاج طاقة كهربائية بنجاح من معاملة مياه الصرف الصحي المنزلية بالاعتماد على التفاعلات الحيوية والذي يمثل نهجا" جديدا" في معالجة مياه الصرف الصحي, اذ وجدنا من الممكن توليد الكهرباء بالاعتمادعلى التفاعلات الكيميائية الحيوية من قبل الكائنات المجهرية اذ تراوحت الطاقة المنتجة بين 3) (0.4 – فولت وتيار كهربائي تراوح بين (0.6–0.89) ملي امبير. نسبة كفاءة ازالة المتطلب الكيميائي للاوكسجين(COD) والتي تعرف بانها كمية الأوكسجين المستهلكة كيميائياً و اللازمة لأكسدة المواد العضوية إلى مواد لاعضوية في شروط محددة من الزمن و درجة الحرارة و بوجود عامل مؤكسد كانت 85 % ونسبة كفاءة ازالة المواد الصلبة المذابة (TDS) والتي تعرف بانها كمية المواد العضوية واللاعضوية التي يحتويها سائل سواء كانت مواد عالقة (جزيئية أو أيونية) كانت 55% . تم عزل وتشخيص الاحياء المجهرية الاتية: *Saccharomyces cervisia Pseudomonas putida, Lactobacillus bulgaricus, Aspergillus niger,E.coli,* وتم استعمال كل عزلة منها بصورة منفصلة في قطب الانود اذ كانت خميرة *Saccharomyces cervisia* الاكثر كفاءة في انتاج الطاقة الكهربائية من باقي العزلات. اكدت الدراسة قابلية البطارية

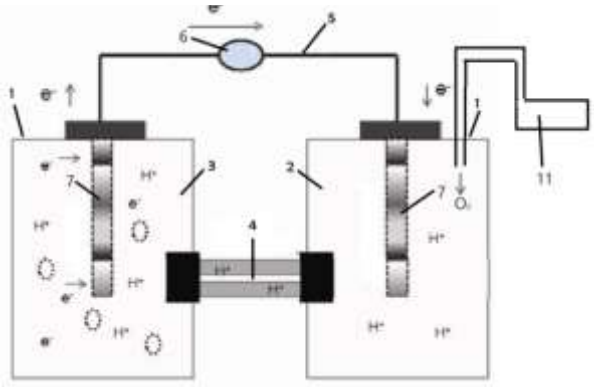
البايولوجية في معالجة مياه الصرف الصحي وبنجاح وان الكائنات المجهرية الموجودة في مياه الصرف الصحي هي المسؤولة عن توليد الطاقة الكهربائية حيث يتم تحرير ايون موجب من عملية التخمر الحاصلة من قبل تلك الكائنات.

**الكلمات المفتاحية:** بطارية حيوية ,توليد الطاقة الكهربائية, المتطلب الحيوي للاوكسجين

## المقدمة

تعد البطارية البايولوجية (BFC) من الطرق الحديثة الهجينة قليلة التكلفة في انتاج الطاقة ومعالجة مياه الصرف الصحي في نفس الوقت وحصلت هذه الطريقة على الكثير من الاهتمام في السنوات الاخيرة [2,1] .

البطارية البايولوجية هي خلية لتحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية بواسطة تحفيز التفاعلات الكيميائية الحيويةمن قبل الكائنات المجهرية وتتكون هذه الخلية من قطب الانود اللاهوائي الذي تتحلل به المواد العضوية بفعل الاحياء المجهرية الموجودة في مياه الصرف الصحي التي تلتصق بهذا القطب والكاثود الذي يتم اختزال الاوكسجين به ,هذان القطبان يتصلان ببعضهما بواسطة جسر ملحي لتبادل الايون الموجب حيث تساعد على انتقال ايونات الهيدروجين التي تتولد في قطب الانود الى قطب الكاثود وفي هذه الاثناء يجب الاستمرار بتزويد قطب الكاثود بالاوكسجين كما موضح بالشكل (1). ان استمرار تدفق الاكترونات يولد فرق الجهد بين الأنزيمات من خلال تنفس الكائنات المجهرية في قطب الانود وتفاعل اختزال الأكسجين في الكاثود يولد التيار والجهد[4,3].



**شكل (1): رسم توضيحي للبطارية الحيوية .1:دورق زجاجي سعة 1 لتر,2:قطب الكاثود,3:قطب الانود,4:الجسر الملحي,5:سلك نحاسي ,6:جهاز قياس التيار,7:صفيحة كرافيت,8:$H^+$ بروتون,9:$e^-$ الكترون,10: الاحياء المجهرية, 11:مضخة هواء.**

التفاعل الكيميائي الذي يحدث في البطارية البايولوجية نتيجة تحويل مياه الصرف الصحي الى طاقة يتلخص بالمعادلة الاتية:

قطب الانود:

$$C_6H_{12}O_6+H_2O\rightarrow 6CO_2+24e^- +24H^+$$

قطب الكاثود:

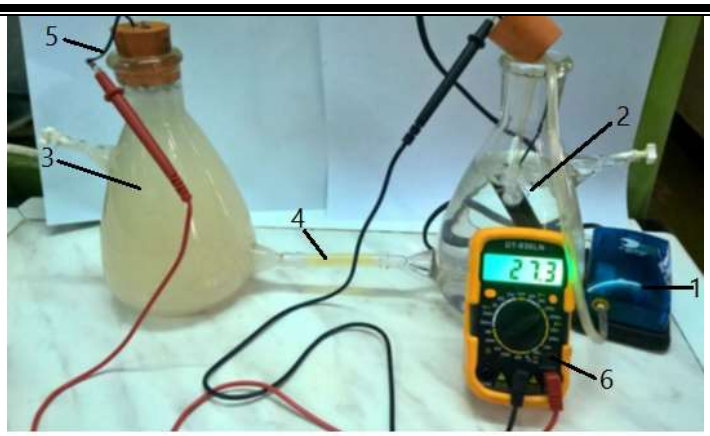
$$O_2+4e^-+4H^+\rightarrow 2H_2O$$

تم تشغيل هذه الأنظمة في ظل مجموعة من الظروف والتي تشمل :الاختلافات في درجات الحرارة، ودرجة الحموضة، مستقبل الإلكترون، ومساحة سطح القطب، حجم المفاعل ووقت العملية.[6,5] اكتشفت مؤخرا أن المعادن مثل الحديد($Fe^{+3}$) والمنغنيز ($Mn^{+4}$)الموجودة في الأنزيمات التنفسية للكائنات المجهرية التي تلتصق بالسطح الخارجى لقطب الانود هي المسولة عن النقل مباشر للإلكترونات إلى( المعدن الخارجي) السلك الموصول بمقياس الطاقة [8,7].

## المواد وطرائق العمل

## تصميم البطارية البايولوجية

في هذه الدراسة تم تصميم بطارية بايولوجية محليا من borosil bottles (سعة 1 لتر) احدى هاتين القنينتين تمثل قطب الانود اللاهوائي الذي تم ملؤه بمياه الصرف الصحي بدون اي اضافة والقنينة الاخرى تمثل قطب الكاثود الذي وضع به ماء مقطر معقم فقط بحجم750مل .تم الربط بينهما بجسر ملحي مكون من انبوب مطاطي PVC pipeبطول (12سم وقطر 2,5سم) تم ملء الانبوب المطاطي بالاكاروز بتركيز( 10%) مع (4%) ملح KCl وتم اذابته في حمام مائي وبعد التبريد تم تعبئته في Polyvinyl chloride tube (PVC) انبوب كلوريد متعدد الفاينيل ويترك لمدة ساعتين بدون تحريك ليتصلب ليسمح فقط بانتقال الالكترونات بين القطبين وربط الجسر الملحي بين القنينتين المستعملة ويخزن في محلول 1مولاري من KCl الى الاستعمال مرة ثانية .كل من القطبين مكون من صفيحة كرافيت ابعادها (14سم*5سم*1,5سم) تم ربط كل قطب من الاقطاب الى الدائرة الخارجية بسلك نحاسي (بقطر 0,5ملم ) وتربط الى جهاز الافوميتر( model no.DT830D )الحاوي على شاشة لتسجيل القراءات كما موضح بالشكل (2) .




**شكل (2):** البطارية الحيوية (BFC) . 1:مضخة هواء 2:قطب الكاثود الحاوي على ماء مقطر معقم,3:قطب الانود الحاوي على مياه الصرف الصحي ,4:الجسر الملحي,5:سلك نحاسي ,6:جهاز قياس الافوميتر .

**عينات مياه الصرف الصحي**

تم جمع مياه الصرف الصحي من قناة الجيش شرق بغداد وتم تبريدها الى 4 درجة مئوية بوضعها في صندوق مبرد في موقع جمع العينات لحين الوصول للمختبر ووضعها في قطب الانود مباشرة اما قطب الكاثود فيكون حاويا" على 750 مل من الماء المقطر المعقم ويزود باستمرار بالاوكسجين , تم اعتماد الطرق القياسية العالمية لتحديد مواصفات مياه الصرف الصحي المستخدمة في الدراسة وهي كما موضحة في الجدول (1).

**جدول (1): خصائص مياه الصرف الصحي قيد الدراسة**

| الخصائص | القيم |
|---|---|
| pH(الاس الهيدروجيني) | 6.1 |
| اللون | رمادي مخضر |
| (mg/L) المواد الصلبة Total Solids | 1213 |
| (mg/L)المواد الصلبة المذابة Total Dissolved Solids | 987 |
| (mg/L) المواد الصلبة العالقة Suspended Solids | 198 |
| (mg/L) المتطلب الحيوي للاوكسجين BOD | 253 |
| (mg/L)المتطلب الكيميائي للاوكسجين COD | 938 |
| (mg/L) الكلوريدات Chlorides | 237 |

## الكائنات المجهرية المعزولة من مياه الصرف الصحي:

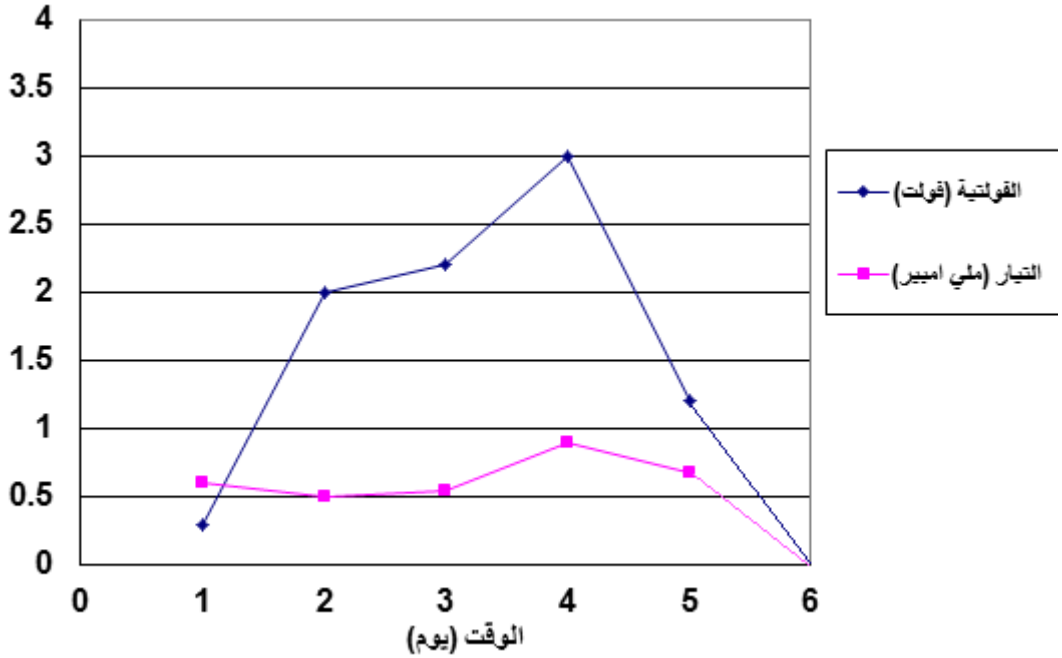
تم عزل بعض انواع الكائنات المجهرية من مياه الصرف الصحي بالطرق التقليدية للعزل بالاعتماد المفتاح التصنيفي للفطريات والخمائر [9] و [10] بالنسبة للبكتريا المعزولة اذ تم الحصول على عزلات نقية وهي: , *Saccharomyces cervisia* *Pseudomonas putida, Lactobacillus bulgaricus, Aspergillus niger,E.coli,* استخدمت كل عزلة منها بصورة منفصلة في قطب الانود وملاحظة قابليتها على انتاج الطاقة وفي اس هيدروجيني يتراوح بين5الى 8 وتم استعمال مصدر كاربوني في قطب الانود باضافة الكلوكوز ( 15غرام\لتر) اما في قطب الكاثود تم استعمال phosphate buffer مع 50ملي مولار من potassium ferricyanid وتم اضبط الاس الهيدروجيني (6.5) الملائم لانتاج الطاقة وهو مقارب للاس الهيدروجيني لمياه الصرف الصحي الذي عزلت منه الاحياء المجهرية ,تفكك هذه البطارية وتعقم بالموصدة الكهربائية بدرجة حرارة 121م$^0$ لمدة 20 دقيقة بعد كل استعمال.

## النتائج والمناقشة

تم توليد طاقة كهربائية من البطارية البايولوجية (BFC) وكانت الفولتية المتولدة بين 3-0.4 فولت والتيار 0.85-0.6 ملي امبير كما موضح بالشكل(3) اذ ان بداية التفاعل في اليومين الاول والثاني ثم ثبتت كل من الطاقة والجهد من اليوم الثاني الى اليوم الاخير من التفاعل هذه النتيجة تتفق مع [4] اذ تم انتاج تيار تراوح بين( 0.84 -1.02) ملي امبير من معالجة مياه الصرف الصحي و استطاع [6] من انتاج فولتية تصل الى 14.6فولت وذلك عن طريق ربط ثلاث خلايا على التوالي لمعالجة مياه الصرف الصحي و[8] اذ تمكنوا من انتاج طاقة كهربائية بالتزامن مع معالجة انواع مختلفة من مياه المخلفات مثل مياه الصرف الصحي ومن مياه مخلفات مصانع اللالبان ومخلفات الدواجن. بعد مرور 6 ايام من تشغيل البطارية لوحظ زيادة كمية المياه في قطب الكاثود بمقدار (1.2 مل\ساعة) تم فحص نوعية المياه المتكونة في قطب الكاثود وكانت نسبة ازالة المتطلب الكيميائي للاوكسجين COD هي(85%) ان هذه النسبة تؤكد اكسدة المادة العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي بواسطة الفعاليات الحيوية مثل الهضم الحيوي وتجديد الانتاج الحيوي (Bioregeneration) للاحياء المجهرية الموجودة فيها وهذا يتفق مع [11] اذ يمكن تعريفه انه تجديد قدرة امتزاز الكربون المنشط بواسطة

الاحياء المجهرية لمزيد من الامتزاز [12] ويكون نتيجة الفعاليات الانزيمية للاحياء المجهرية او نتيجة الاختلاف في تركيز الكاربون وكثافة الملوثات في الوسط, هذه النتائج تتفق مع نتائج [4] اذ تراوح نسبة ازاله المتطلب الكيميائي بين (86.68%– 76.3%) عند استعمال مياه الصرف الصحي بتراكيز مختلفة. كما واكد [14] ان ازالة المتطلب الكيميائي للاوكسجين معتمدة على الوقت اذ كانت نسبة الازاله 10% في اليوم الثاني من التشغيل لتصل الى 30% في اليوم السادس من تشغيل البطارية.

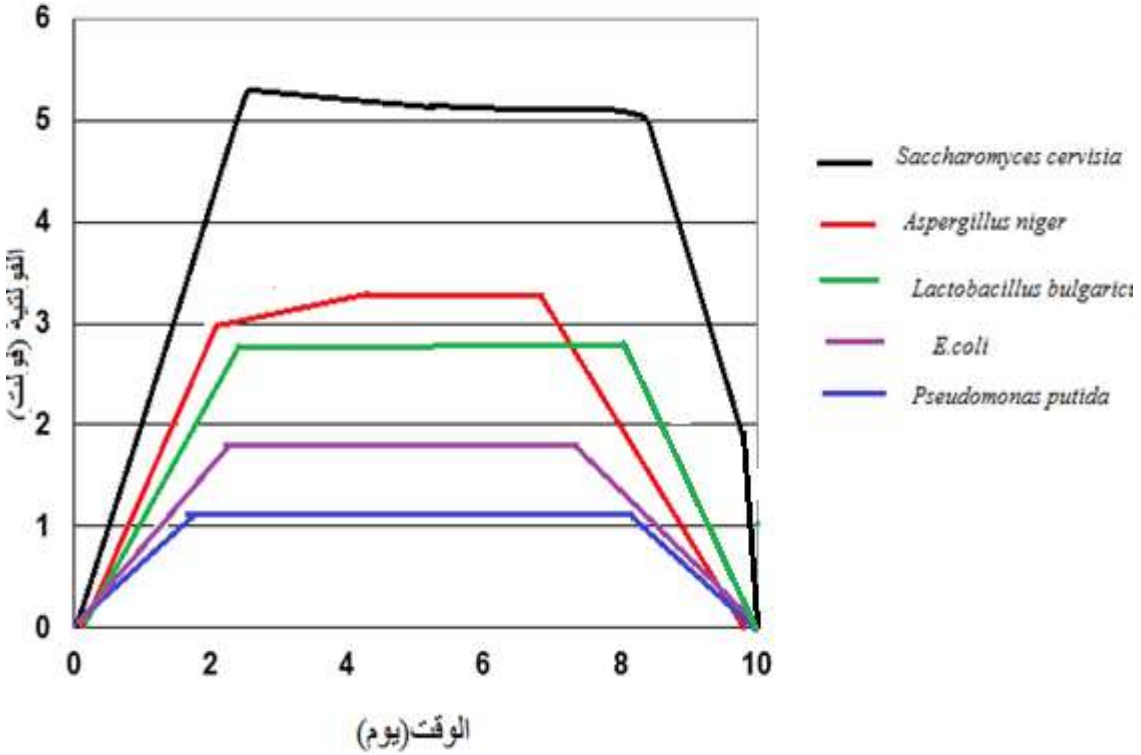
ان نسبة كفاءة ازالة المواد الصلبةالمذابة TDSهي (55%) اذ انخفض تركيزها من 987 ملغم\لتر الى465 ملغم\لتر وذلك لتوفر الركيزة الحية في العينة والذي يثبط التنافس بين الاحياء المجهرية وهذه النتيجة تتفق مع [15] اذ وجدوا كفاءة البطارية الحيوية بازالة المواد الصلبة من مياه مخلفات الصناعات الدوائية هي 75% .



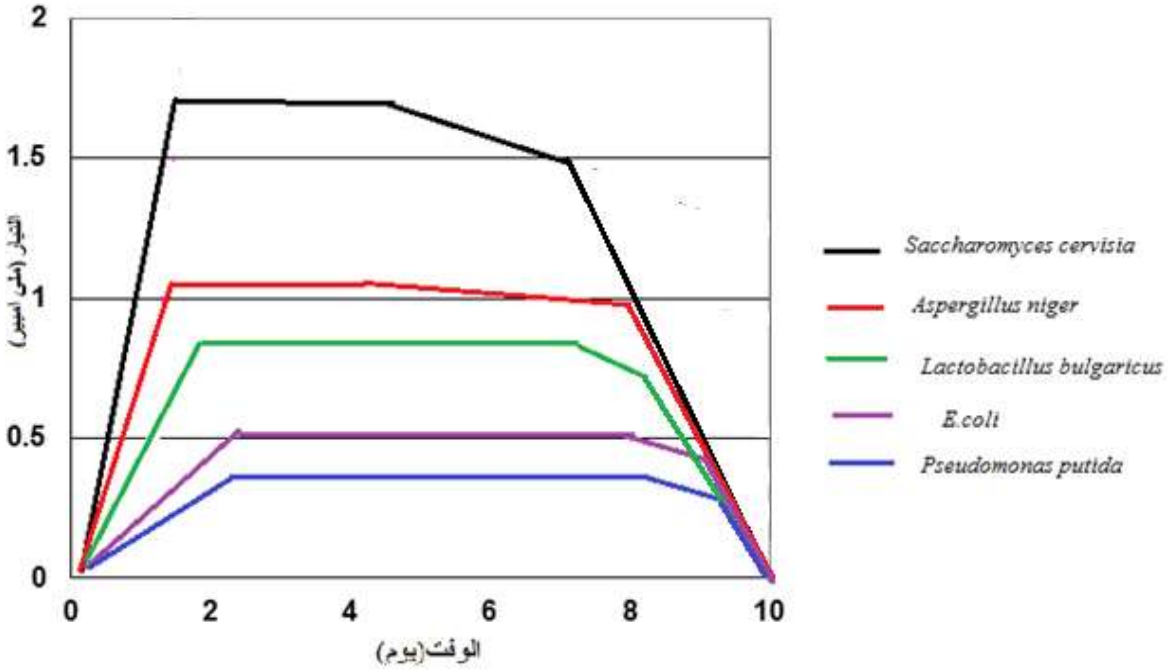

**شكل (3): رسم بياني يوضح التيار والفولتية المتولدة من معالجة مياه الصرف الصحي بواسطة البطارية الحيوية**

تم عزل وتشخيص الكائنات المجهرية الاتية من مياه الصرف الصحي : *Saccharomyces cervisia* , *Pseudomonas putida*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Aspergillus niger*,*E.coli* وبعد اختبار قابلية العزلات على انتاج الطاقة اذ تم الحصول على النتائج الموضحة في شكل رقم (4) والشكل رقم (5) اذ كانت

اعلى فولتية انتجتها الخميرة (5.6 فولت)وتيار (1.6 ملي امبير)وفي حالة البكتريا *L. bulgaricus* كان مقدار الفولتية ( 3 فولت ) وتيار (0.7 ملي امبير)وهذا ما يؤكد ان بعض انواع الاحياء المجهرية الموجودة في العينة هي المسؤلة عن النقل المباشر للالكترونات الى الكاثود [13] اعتمدت تقنية PCR (Polymerase Chain Reaction) من قبل [14] في تشخيص الاحياء المجهرية الملتصقة على صفيحة الكرافيت اذ وجدوا ان *Proteobacteria, Pseudomonas, Macromonas, Shewanella,* و*Azovibrio* و*Acinetobacter* هي الاكثر تواجد .ان توليد الطاقة كان عالي في بداية التفاعل وذلك لان نسبة الكلوكوز او المصدر الكاربوني عالي مما يجعل الفعالية الايضية للكائنات المجهرية عالية وتبدأ الطاقة بالتضاؤل بسبب انخفاض تركيز الكلوكوز وتنافس الكائنات المجهرية فيما بينها وموت خلاياها [16]و[17]. تعتمد هذه الدراسة على انتقال اللالكترونات خلال مراحل التنفس الخلوي في الخلايا حقيقية النواة (التحلل ودورة حامض الستريك والفسفرة التاكسدية ) بين الوسط وانود الخلية الحيوية وتوفر الوسيط الامثل لانتقال اللالكترونات للمعدن الخارجي .




**شكل(4) :الفولتية المنتجة من قبل الاحياء المجهرية المعزولة من مياه الصرف الصحي**




**شكل(5) :التيارالمنتج من قبل الاحياء المجهرية المعزولة من مياه الصرف الصحي**

## الاستنتاجات

يمكن عدَ الخلية الحيوية طريقة واعدة لانتاج الطاقة النظيفة والصديقة للبيئة في المستقبل وتعدَ منخفضة التكلفة المادية عند مقارنتها مع الطرق التقليدية لانتاج الطاقة الكهربائية ,كما ان الاحياء المجهرية الموجودة في المياه الثقيلة هي المسؤلة عن انتاج الطاقة الكهربائية بالتزامن مع كفاءة ازالة المواد الصلبة الذائبة في المياه.

## المصادر

1-Logan, B.E. and Rabaey, K. "Microbial fuel cells". methodology and technolo., 2 : 11-17. 2006.

2-Logan, B. E. and Rabaey, K." Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies".Science., 337 (6095):686–690. 2012.

3- He, Z. "Microbial fuel cells: Now let us talk about energy". Environ. Scien. and Technolo., 47(1) :332–333. 2013.

4-. Mahendra , B.G and Mahavarkar, S. "Treatment of waste water and electricity generation using Microbial Fuel Cell technology". International J. Rese. Engin. and Technolo., Conference Issue :277-282. 2013

5-Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. Prepared and Published by American Public Health

Association, American Water Works Association, Water pollution control federation. 1995.

6- Al-Mamun, A. and Baawain, M. S. "Accumulation of intermediate denitrifying compounds inhibiting biological denitrification on cathode in Microbial Fuel Cell". J. of Environ. Health Sci. and Engin., 13:81-90.2015

7-Cheng, S.; Liu, H. and Logan, B.E." Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing". Environ. Sci. Technol., 40:2426-2432. 2006

8- Corbella, C.; Guivernau, M. and Vi, M." Operational, design and microbial aspects related to power production with microbial fuel cells". implemented in constructed wetlands, 84: 232–242. 2015

9- Barnett, H.L. and Hunter, B. B. Illustrated genera of imperfect fungi. Burgess Pub. Co., Minneapolis, Minnesota, USA. Barnett H.L." Illustrated Genera of Imperfect Fungi". 2 nd. Ed. Burgess publishing company.285pp. 1972

10- Wood , B . J. B. and Holzapfel , W.H." The Lactic acid bacteria , the genera of lactic acid bacteria". Vol. 2, Blackie Academic and Professional , London. 1995

11- Yoong-Ling, Soon-An, O.; Li-Ngee, H.; Yee-Shian, W.; Farrah, A. D.; Yoong,S. O. and Wei-Eng,T. "Synergistic effect of up-flow constructed wetland and microbial fuel cell for simultaneous wastewater treatment and energy recovery". Bioresource. Technol., 203: 190–197. 2016

12- Aktas, Ö.and Çecen, F." Bioregeneration of activated carbon: a review". Int. Biodeterior. Biodegrad. ,59 :257–272. 2007

13- Debabov, V.G. "Electricity from microorganisms". Mikrobiologia, 77:149–157. 2008

14- Majumder , D.; Prakash Maity , J. seng , Vanita, M.; Nimje , R.; Chen , H.Chien-Cheng Chen and Chen-Yen Chen ."Electricity Generation and Wastewater Treatment of Oil Refinery in Microbial Fuel Cells Using *Pseudomonas putida*". Int. J. Mol. Sci., 15:16772-16786. 2014

15-Prasad, M.; Sridevi, V. and Swathi, A. "Treatment of Pharmaceutical Industrial Effluent By Microbial Fuel Cell (MFC)" I. J. for Innovative Rese. in Scie. and Technolo.,2(1) :241-247. 2015

16- Logan, BE.; Hamelers, B.; Rozendal, R.; Schröder, U.; Keller, J. and Freguia, S. "Microbialfuel cells: methodology and technology". Environ. Sci. Technol.,40: 5181–92. 2006

17- Lefebvre, O.; Al-Mamun, A. Ooi, WK.; Tang, Z. and Ng, HY. "An insight into cathode options for microbial fuel cells". Water Sci. Technol. ,57(12): 2031–2037. 2008

# Conversion of waste water sludge to electricity by Biological Fuel Cell

**Rana Hadi Hameed Al-Shammari**
**Shaimaa Nghaimish Mizil**
Al-Mustansyria university/college of science / Department of biology

## ABSTRACT

The depletion of non-renewable energy resources leads us to discover an alternate eco-friendly fuel. Objective of this study to design Biological Fuel Cell (BFC) whichare bioelectrochemical reactors in which chemical energy stored in organic compounds are converted through biocatalytic oxidation by microorganisms. which contains two working electrodes (cathode and anode) to generate electricity simultaneous west water treatment and to select the most efficient microorganism to generate electricity . In this technology we used west water sludge which successfully generated a power of (0.4-3) V and current (0.6-0.89) mA. Chemical Oxygen Demand (COD) define as the oxygen essential to oxidize organic material in water and convert it to inorganic mater under reaction conditions of time, temperature and availability of oxidation agents was 85%, TDS which define as the combined content of all inorganic and organic substances contained in a liquid, removal efficiency was 55%. Different isolates of microorganisms were isolated which are :*Saccharomyces cervisia* , *Pseudomonas putida, Lactobacillus bulgaricus, Aspergillus niger,E.coli*, and *Saccharomyces cervisia* showed the most efficient isolate to generate electricity. This study insure the ability of (BFC) to treat waste water successfully and the microorganisms which exist in waste water sludge responsible of electricity generation in which (+ve ion) released from the fermentation process.

**Key words**: Biological fuel cell, electricity generation, Biological Oxygen Demand **.**