المقارنة بين إنتاج الغاز الحيوي من الحمأة الأولية و الحمأة الثانوية في محطات المعالجة

(حالة محطة معالجةالدوير)

م. آية عبد الساتر شاهرلي*

د.م. نعيمة عجيب** أ. د. م. محمود فطامة ***

الملخص:

تعتبر مخلفات مياه الصرف الصحي من المخلفات العضوية السائلة الخطرة على البيئة والإنسان معاً، ذلك لأنها تحتوى على كثير من المواد السامة والطفيليات الممرضة، ولتقليل مخاطر هذه المخلفات لابد من بذل جهود كبيرة لمعالجتها، بالإضافة لتحويل هذه الكتلة الحية الضخمة إلى مصدر للطاقة غني بالغاز الحيوي وصديق للبيئة وإلى مصدر غني بالمواد التسميدية، وذلك من خلال عملية الهضم اللاهوائي لمخلفات الصرف الصحي بواسطة وحدات الغاز الحيوي.

يعد الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للمخلفات العضوية مصدراً للطاقة المتجددة، حيث أشارت الدراسات إلى أن إنتاج الغاز الحيوي الغني بالميثان من خلال عملية الهضم اللاهوائي للمواد العضوية يؤمن حاملاً طاقياً متجدداً ، وذلك لأن غاز الميثان يمكن أن يستخدم بديلاً عن الوقود الأحفوري في توليد الطاقة والحرارة وكوقود لوسائط النقل.

* طالبة دراسات عليا(ماجستير)/ جامعة البعث /كلية الهندسة المدنية/ قسم الهندسة البيئية/سورية.

** أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية/ قسم الهندسة البيئية /جامعة البعث/سورية.

*** أستاذ في كلية الهندسة المدنية/ قسم الهندسة البيئية /جامعة حماة/سورية.

تم في هذا البحث دراسة إمكانية إنتاج الغاز الحيوي من الحمأة الأولية والحمأة الثانوية الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي كلاً على حدى بطريقة الهضم اللاهوائي و تقييم كفاءة المعالجة اللاهوائية للحمأة من خلال قياس الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحمأة قبل وبعد المعالجة اللاهوائية.

تم أخذ العينات من محطة الدوير في مدينة حمص، وتمت المعالجة اللاهوائية للحمأة الأولية وللحمأة الثانوية الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي ضمن محطة تجريبية تتكون من مفاعلين لاهوائيين وتم اعتماد نظام الدفعة الواحدة وذلك ضمن الظروف الطبيعة و بزمن مكوث قدره 30 يوم وقد تبين إمكانية إنتاج الغاز الحيوي بمعدل إنتاج يومي بلغ L/d 5.98 للحمأة الأولية و L/d 1.93 للحمأة الثانوية أما معدل انتاج الغاز الحيوي لكل kg مادة عضوية مختزلة أي حجم الغاز الناتج عن كمية المادة العضوية المهضومة من قبل البكتريا اللاهوائية خلال زمن الهضم فكانت ss 544.46 L/kg.v

للحمأة الأولية و L/kg.vss 490.6 للحمأة الثانوية ، بالإضافة إلى نسب إزالة للمواد الصلبة الكلية في الحمأة الأولية26%، و للمواد العضوية 33% أما بالنسبة للحمأة الثانوية فكانت نسبة الإزالة للمواد الصلبة الكلية

7.2% و 27.3% للمواد العضوية .

مع تسجيل ارتفاع في الرقم الهيدروجيني في نهاية الهضم ليبلغ 7.5 للحمأة الأولية و 7.62 للحمأة الثانوية.

الكلمات المفتاحية: غاز حيوي ، حمأة أولية ، حمأة ثانوية ، هضم لاهوائي، ميثان.

A comparison between Primary and Secondary Sludge-Based Biogas Production in Wastewater Treatment Plants
The Case of AL-Duwair Plant

*Eng.Aya Shahrli

** Dr. Eng.Naaema Ajeb *** Prof. Dr. Eng. Mahmoud Fattamah

ABSTRACT

Wastewater waste is considered one of the liquid organic waste hazardous to both the environment and humans, because it contains many toxic substances and pathogenic parasites, and to reduce the risks of these wastes, great efforts must be made to treat them, in addition to converting this huge living mass into an energy source rich in biogas and environmentally friendly and a source rich in fertilizers, through the process of anaerobic digestion of sewage waste by biogas units.

Biogas produced by anaerobic digestion of organic waste is a renewable energy source, as studies have indicated that the production of methane-rich biogas through anaerobic digestion of organic matter provides a renewable energy carrier, because methane gas can serve as an alternative to fossil fuels in power generation, heat and as a fuel for transportation media.

In this research, the possibility of producing biogas from primary sludge and secondary sludge resulting from wastewater treatment was studied separately by the anaerobic digestion method and the efficiency of anaerobic treatment of sludge was evaluated by measuring a number of

***Postgraduate student (Master) / Al -Baath University / College of Civil Engineering / Department of Environmental Engineering/Syria**
****Professor assistant/ faculty member at Al- Baath University / College of Civil Engineering / Department of Environmental Engineering/ Syria.**
*****Professor in the Department of Environmental Engineering / Civil Engineering Faculty /Hama University/ Syria**

physical and chemical properties of sludge before and after anaerobic treatment.
Samples were taken from the AL-Duwair plant in Homs city.
Anaerobic treatment of primary sludge and secondary sludge resulting from wastewater treatment was carried out within an experimental plant consisting of two anaerobic reactors. A single batch system was adopted under natural conditions and with a residence time of 30 days. It was shown that biogas can be produced at a daily production rate of 5.98 L/d for primary sludge and 1.93 L/d for secondary sludge. the rate of biogas production per kg of reduced organic matter
that is, the volume of gas produced by the amount of organic matter digested by anaerobic bacteria during the digestion time is 544.46 L/kg.vs for primary sludge and 490.6 L/ kg.vss
for secondary sludge, In addition, the removal rates for total solids in the primary sludge were 26%, and for organic substances 33%, while for secondary sludge, the removal rate for total solids was 7.2% and 27.3%.
An increase in pH was recorded at the end of digestion to 7.5 for primary sludge and 7.62 for secondary sludge.

Keywords : Biogas, Primary sludge, Secondary sludge, Anaerobic digestion, Methane.

1 -المقدمة Introduction:

شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً ملحوظاً بالقضايا البيئية بصفة عامة، ومن أهم القضايا التي تحظى باهتمام العديد من الجهات البحث عن مصادر متجددة للطاقة والتي يطلق عليها (الطاقة المستدامة) و هي الطاقة المتولدة من المصادر الطبيعية مثل ضوء الشمس والرياح والمياه وحرارة جوف الأرض، يضاف إلى ذلك طاقة الكتلة الحيوية والتي تعتبر من أهم هذه المصادر[5].

وتُعرف طاقة الكتلة الحيوية بأنها الطاقة الناتجة عن المخلفات العضوية الصلبة والسائلة والحيوانية والنباتية كالمخلفات الزراعية والصناعية ومخلفات المدن (القمامة العضوية) وحمأة الصرف الصحي، وهي الطاقة الناجمة عن تدوير المخلفات السابقة بحرقها أو تخميرها للحصول بعد معالجتها على وقود (غاز حيوي – إيثانول حيوي – ميثانول حيوي .) بالإضافة إلى الأسمدة العضوية [2] ،وتعتبر الجمهورية العربية السورية غنية بمصادر الكتلة الحيوية والتي تبلغ حوالي 379.3مليون طن ويقدر الانتاج الوسطي من مياه الصرف الصحي بحوالي 357.616 طن/سنة، وتقدر نسبة الانبعاثات من غاز الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون الناتجة عنها بحوالي 69.7 % من مجمل الانبعاثات الناتجة عن مصادر الكتلة الحية[5]، وقد بذلت العديد من الدول مجهودات كبيرة لاستغلال مخلفات الصرف الصحي، خاصة في مجال تقانة الغاز الحيوي.

تهدف معالجة مياه المجاري إلى تخفيض تركيز الملوثات الموجودة بما يحقق الهدف من استخدام مياه المجاري المعالجة أو التخلّص منها بشكل آمن بيئيّاً وصحيّاً إن عملية إزالة هذه الملوثات من مياه المجاري ينتج عنها بقايا ورواسب (حمأة) تحمل العوامل الممرضة و الخطرة التي تهدد البيئة ،فمن الضروري تطوير استراتيجيات لإدارة الحمأة الناتجة بكفاءة ،و يعتبر الهضم اللاهوائي هو تقنية المعالجة الأكثر شيوعا لتثبيت و

اختزال كمية الحمأة مع إنتاج الغاز الحيوي في ذات الوقت، إذ تخضع الحمأة للاحتجاز في خزانات محكمة الاغلاق مغلقة (وحدات الهضم)لمدة طويلة نسبياً 20–40 يوم حيث ينتج عنها غاز حيوي الذي يعد مصدراً جديداً ومتجدداً حيث يمكن أن يجمع وينَقلُ عن طريق أنابيب إلى خزان خاص لاستخدامه كمصدر للطاقة الحرارية أو الكهربائية، عادة ما يتم هضم الحمأة الأولية الناتجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية لاهوائيا مع الحمأة الثانوية لإنتاج الميثان الحيوي، و لكن هذين الجزأين من حمأة الصرف الصحي لهما جودة مختلفة. تحتوي الحمأة الأولية على كميات أعلى من المواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي مقارنة بالحمأة الثانوية ، لذلك من المتوقع أن يكون الهضم اللاهوائي أكثر كفاءة فيما يتعلق بقدرة الطاقة وإنتاج الميثان بشكل عام[13]، وسيتم في هذا البحث دراسة المعالجة اللاهوائية للحمأة الأولية و للحمأة الثانوية كلاً على حده حيث يتم العمل على تثبيتها و تقليل حجمها وكتلتها والاستفادة منها عن طريق انتاج الغاز الحيوي و السماد بما يعود بالفائدة البيئية والاقتصادية على المجتمع .

2- هدف البحث Research objectives:

- تقييم كفاءة طريقة الهضم اللاهوائي في معالجة الحمأة الأولية والحمأة الثانوية الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي لمحطة الدوير في مدينة حمص.
- المقارنة بين القيم الناتجة للغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي لكل من الحمأة الأولية والحمأة الثانوية.

3- المواد وطرائق البحث Research materials and methods:

3-1- جمع العينات :

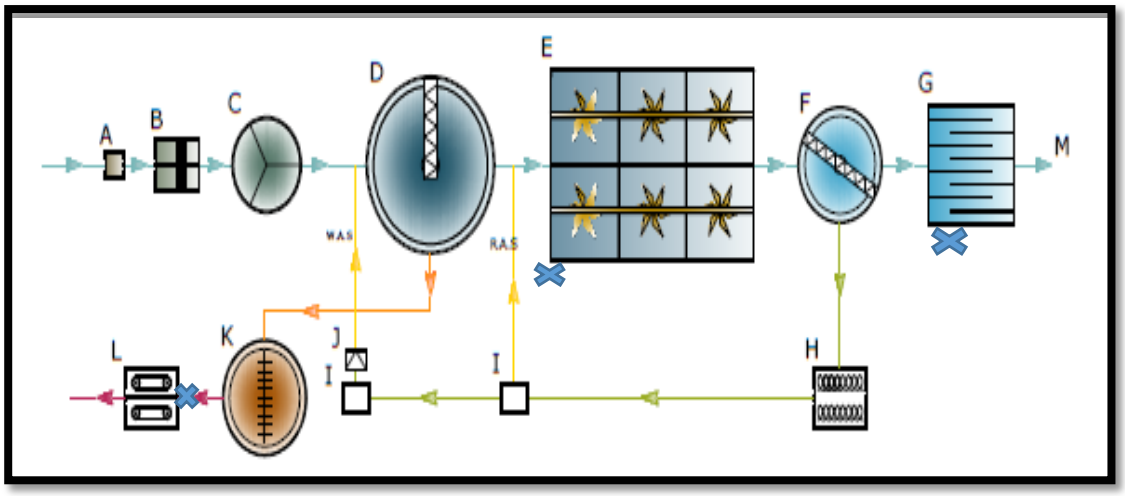
تم جمع العينات من محطة الدوير لمعالجة مياه الصرف الصحي البلدية الواقعة في شمال غرب مدينة حمص و التي تبعد حوالي 7kmعن مركز المدينة، و تعمل محطة الدوير بالحمأة المنشطة التقليدية و تتم معالجة الحمأة الأولية و الثانوية الفائضة الناتجة عن عمليات المعالجة بواسطة أحواض التكثيف و منشآت نزع الرطوبة (المرشح الضاغط) حيث تصل رطوبة الحمأة حوالي 70% ويتم ترحيلها إلى مكبات في منطقة الفرقلس تقع شرقي مدينة حمص بحواليkm 70.

يوضح الشكل(1) صورة جوية لمحطة معالجة مياه مجاري مدينة حمص ويوضح الشكل(2) والجدول(1) المخطط التكنولوجي المعتمد حالياً في محطة الدوير و نقاط أخذ العينات.

أما المؤشرات التصميمية لمحطة المعالجة فهي : متوسط معدل تدفق مدخل في المحطة حوالي

133900 m^3/d من مياه الصرف الصحي البلدية ، في حين أن معدل التحميل العضوي BOD5 حوالي 507mg/l والأجسام الصلبة المعلقة 512 mg/l .

الشكل (1) صورة جوية لمحطة معالجة مياه مجاري مدينة حمص



الشكل (2) المخطط التكنولوجي لمحطة الدوير لمعالجة مياه الصرف الصحي و نقاط أخذ العينات

الجدول رقم (1) : توضيح المخطط التكنولوجي لمحطة الدوير لمعالجة مياه الصرف الصحي

الرمز		العدد	الرمز		العدد		الرمز
A	منشأة المدخل	1	G	حوض كلورة	1	نهر العاصي	M
B	المناخل القضبانية	2	H	مضخات لولبية	1	خط مياه الصرف	→
C	مرسب الرمال	1	I	غرفة التوزيع	1	حمأة ثانوية	→
D	مرسب أولي	8	J	محطة ضخ	8	حمأة أولية	→
E	أحواض التهوية	12	K	مكثفات	8	معالجة الحمأة	→
F	مرسب ثانوي	8	L	مرشح السير الضاغط	–	مكان أخذ العينات	✖

وفقاً لتقرير شركة هوارد هامفرز المصممة للمحطة فإن كمية الحمأة الأولية الناتجة في خزانات الترسيب الأولية تبلغ حوالي 1030 m^3/d ، بينما كمية الحمأة الثانوية الناتجة في خزانات الترسيب الثانوية تبلغ حوالي 6470 m^3/d.

تم جمع ثلاثة أنواع من العينات بما في ذلك الحمأة الأولية من حوض الترسيب الأولي، والحمأة الثانوية من حوض الترسيب الثانوي، وحمأة بعد المرشح الضاغط لاستخدامها كبادئ وتم توضيح مكان أخذ العينات في الشكل(2) .

3-2- مكونات المحطة التجريبية :

يبين الشكل (3) مكونات المحطة التجريبية:

- مفاعلين لاهوائيين سعة كل مفاعل 30 ليتر.
- مقياس لدرجة حرارة الوسط الخارجي .

و تم تزويد كل مفاعل ب :

- فتحة مع قمع لتلقيم الحمأة .
- صمام مع أنبوب لجمع الغاز الناتج .
- أوعية مع أنابيب لقياس حجم الغاز الناتج وفقا لقانون ماريوت (حجم السائل المزاح = حجم الغاز الناتج).

الشكل (3) المحطة التجريبية

3-3- تشغيل المحطة التجريبية:

تم تشغيل المحطة وفق المراحل التالية:

1-إملاء ثلثي حجم المفاعل الأول بالحمأة الأولية.

2- إملاء ثلثي حجم المفاعل الثاني بالحمأة الثانوية.

3- إضافة 2 لتر لكل مفاعل من الحمأة المكثفة بعد السيور و استخدامها كبادئ لغناها بالكتلة الحية.

4- إغلاق المفاعلين بإحكام لضمان عدم وجود تسريب للغاز الناتج.

تم اعتماد نظام الدفعة Batch في تشغيل الهواضم وتم الخلط يدوياً بتحريك الهاضم قبل فتح صمام الغاز لقياس كمية الغاز الناتجة، واستمر الهضم اللاهوائي في الظروف الطبيعية لمدة 30 يوم كما تم تشغيل المحطة لفترة تجريبية للتأكد من عمل المحطة بشكل صحيح و التأكد من عدم وجود تسريب للغاز .

4- نتائج البحث ومناقشتها:

يوضح الجدول (2) مواصفات الحمأة الأولية والحمأة الثانوية الناتجة عن محطة الدوير لمعالجة مياه الصرف الصحي لمدينة حمص وذلك قبل الهضم اللاهوائي.

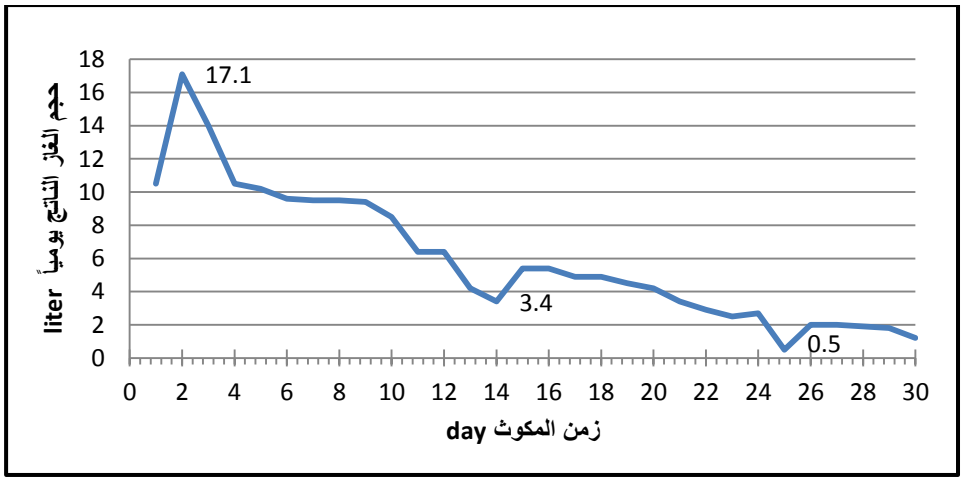
الجدول رقم (2): نتائج التحاليل المخبرية الكيميائية والفيزيائية للحمأة الأولية والحمأة الثانوية

	حمأة أولية + حمأة بعد السيور	حمأة ثانوية + حمأة بعد السيور
PH	6.85	7.28
درجة الحرارة c°	26.3	26.7
الناقلية µs/cm	1022	652
الأملاح الكلية الذائبة TDS (mg/l)	664	424
نسبة الرطوبة %	90.59	96.79
نسبة المادة الصلبة الكلية %	9.41	3.21
نسبة المادة العضوية من المادة الجافة %	53.05	66.15
نسبة المادة المعدنية %	46.95	33.85
نسبة الكربون العضوي%	30.77	38.37
النتروجين الكلي %	2.44	4.85
C/N	13:1	8:1

قدرت المواد الصلبة الكلية اعتماداً على طريقة التجفيف وقدرت المواد الصلبة الطيارة اعتماداً على طريقة الحرق الجاف (الترميد) ،وقُدر الأزوت الكلي بطريقة كالداهل .

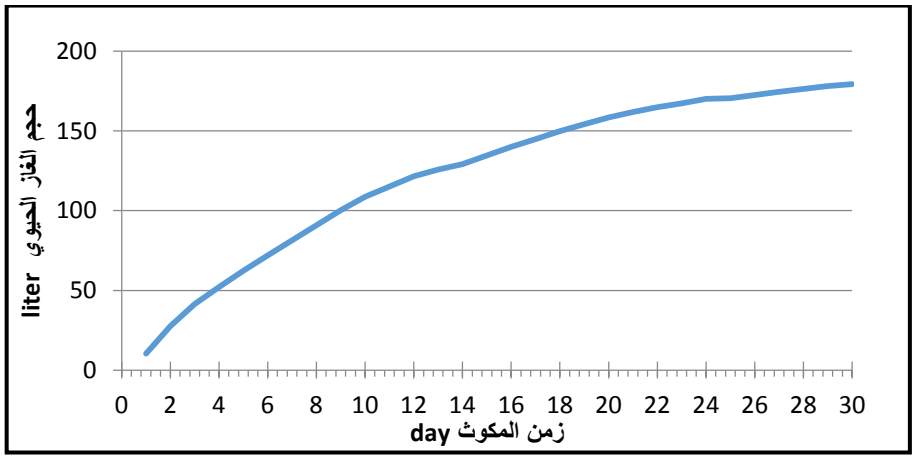
تم قياس درجة الحموضة بوساطة مقياس درجة الحموضة (PH–meter)، وتم قياس الناقلية وTDS بوساطة مقياس درجة الناقلية Conductivity– meter وتم قياس كمية الغاز المنتج بالاعتماد على طريقة الماء المزاح و تم التأكد من قابلية اشتعاله .

تم تمثيل نتائج انتاج الغاز الحيوي من الحمأة الأولية والحمأة الثانوية لمياه مجاري مدينة حمص بيانياً، حيث يوضح الشكل (3)و(5) حجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي يومياً مع زمن الهضم للحمأة الأولية و للحمأة الثانوية على الترتيب، ويوضح الشكل(4)و(6) حجم الغاز التراكمي خلال كامل زمن الهضم(30 day)للحمأة الأولية والحمأة الثانوية على الترتيب أما الشكل (7)فيوضح مقارنة بين حجم الغاز الناتج عن هضم الحمأة الأولية و حجم الغاز الناتج عن هضم الحمأة الثانوية خلال زمن الهضم.

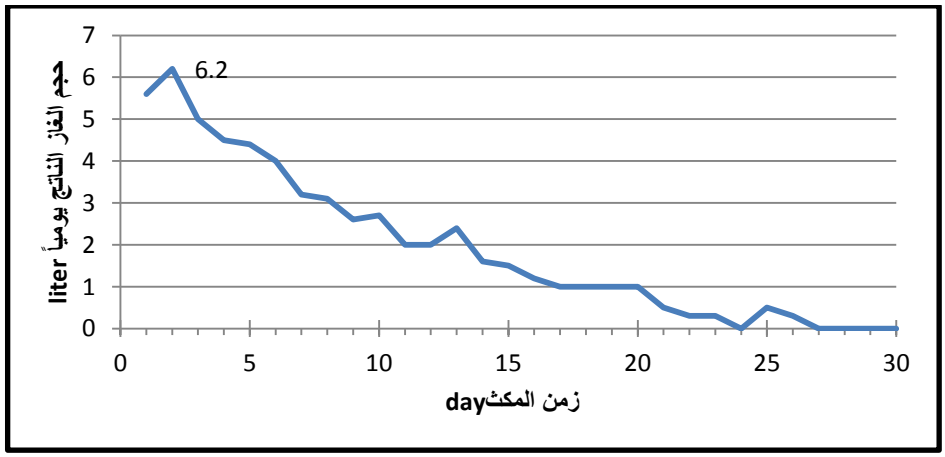


الشكل (3) حجم الغاز المنتج يومياً من هضم الحمأة الأولية

نلاحظ من الشكل (3) أن انتاج الغاز الحيوي بدأ من اليوم الأول للهضم اللاهوائي للحمأة الأولية وأعطى أعلى قيم له في الأيام ال 17 الأولى وسجلت أعلى قيمة له في اليوم الثاني حيث بلغت 17.1 liter ثم بدأ انتاج الغاز الحيوي بالانخفاض حتى اليوم 14ليرتفع من جديد و يستقر في اليومين 15 و 16 ثم ينخفض حتى اليوم 25 ليسجل أقل قيمة له حيث بلغ 0.5 liter ليرتفع في اليوم 26 ثم ينخفض لنهاية زمن التخمر اللاهوائي .

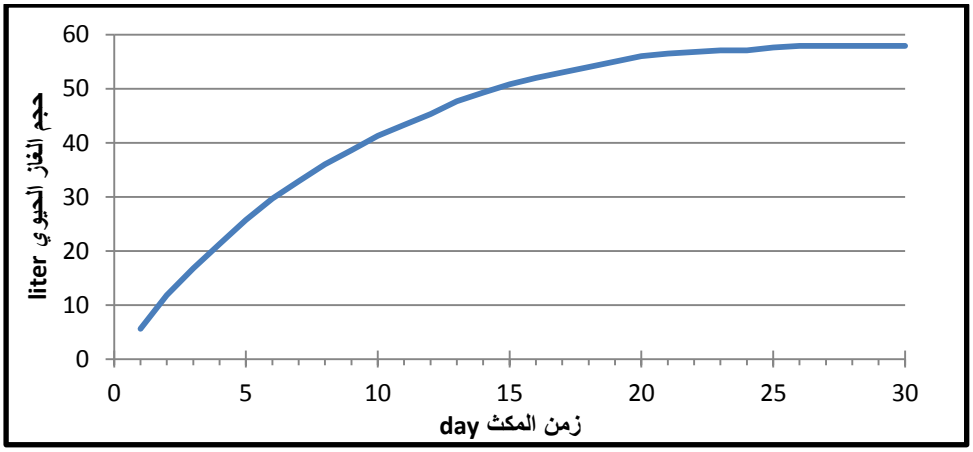


الشكل (4) الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي الناتج من هضم الحمأة الأولية

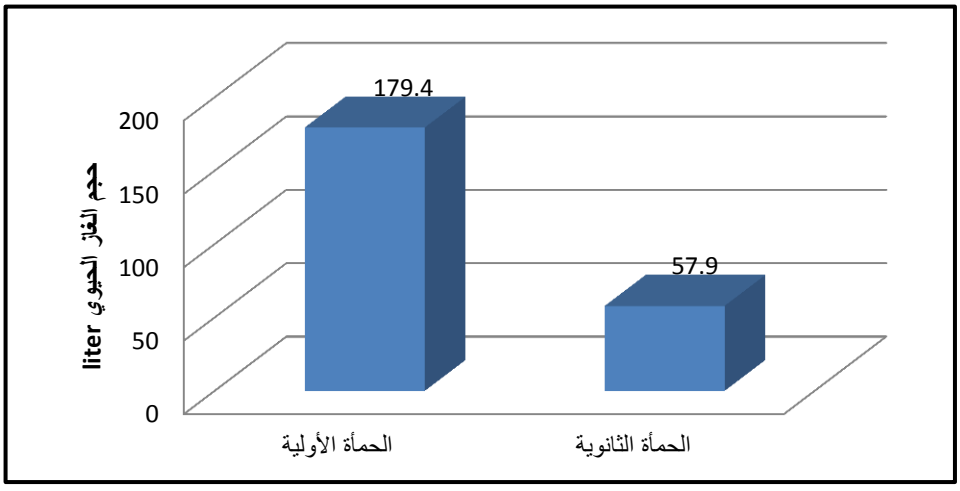


الشكل (5) حجم الغاز المنتج يومياً من هضم الحمأة الثانوية

نلاحظ من الشكل (5) أن انتاج الغاز الحيوي بدأ من اليوم الأول للهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية وأعطى أعلى قيم له(80% من الانتاج الكلي للغاز الحيوي) خلال الأيام ال 13 الأولى و سجلت أعلى قيمة له في اليوم الثاني حيث بلغت 6.2 liter لينخفض تدريجياً حتى اليوم 12 ليعاود الارتفاع في اليوم 13 حيث بلغ 2.4 liter ثم ينخفض ويستقر في الأيام 17,18,19,20ليعاود الانخفاض التدريجي حتى ينعدم في اليوم 24 ويعاود الانتاج في اليوم 25 ثم ينخفض في اليوم 26 و ينعدم حتى نهاية زمن المكث .



الشكل (6) الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي الناتج من هضم الحمأة الثانوية



الشكل (7) مقارنة بين الحمأة الأولية والحمأة الثانوية من حيث انتاج الغاز الحيوي

الشكل (8) اللهب الناتج عن احتراق الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية

الشكل (9) اللهب الناتج عن احتراق الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية

نلاحظ من الشكل (7) أن كمية الغاز الحيوي الناتجة عن الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية أكثر من كمية الغاز الحيوي الناتجة عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية حيث بلغت كمية الغاز الحيوي الناتجة عن الهضم اللاهوائي 179.4 liter و 57.9 liter للحمأة الأولية و الحمأة الثانوية على الترتيب وذلك خلال 30 يوم ضمن الظروف الطبيعية وهذا يتوافق مع نتائج الدراسات المرجعية والتي نذكر منها:

دراسة الباحثان Rittmann & M.C. Carty عام2000 حيث كان حجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية 375 ml/g vss وحجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية 275 ml/gvss [12] .

دراسة الباحث Sato عام 2001فكان حجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية

612 ml/g vss وحجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية 380 [14] . ml/g vss

دراسة الباحث Speece عام 2001 فكان حجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية

362ml/g vssو حجم الغاز الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية 281 [16] . ml/g vss

و يفسر ذلك بأن الحمأة الأولية قابلة للتحلل بسهولة حيث أنها تتكون من كربوهيدرات و دهون سهلة الهضم مقارنة بالحمأة المنشطة التي تتكون من كربوهيدرات معقدة و بروتينات وهيدروكربونات طويلة السلسلة.

إن تجربتنا أعطت معدلاً جيداً لإنتاج الغاز الحيوي ويعود ذلك لاحتواء الحمأة على الكربوهيدرات سريعة الهضم وهذا يتوافق مع دراسة أجراها الباحث Hartmanعام 2002

أن المخلفات العضوية ذات المحتوى العالي من الكربوهيدرات و التي لها قدرة عالية على التحطم البيولوجي تعطي معدلات عالية من إنتاج الغاز الحيوي[9].

إن المحتوى العالي من الكربوهيدرات سريعة الهضم في الحمأة جعل عملية التخمر اللاهوائي تبدأ في وقت مبكر، وأتاح الفرصة أمام مرحلة الحلمهه(أولى مراحل التخمر اللاهوائي)كي تأخذ دورها في تحويل سلاسل الكربوهيدرات المعقدة إلى سكريات بسيطة ذات سلاسل قصيرة، والتي بدورها سوف تعطي في المراحل اللاحقة منتجات وسيطة مثل حمض الخل الذي يعطي غاز الميثان و غاز ثاني أوكسيد الكربون في نهاية عملية التخمر اللاهوائي ،وهذا يتفق ايضاً مع ما توصل إليه الباحث Diazعام 2008 بأن المخلفات العضوية الغنية بالكربوهيدرات يمكن أن تنتج غاز حيوي بمعدلات عالية خلال الثلاثة أيام الأولى من عملية التخمر اللاهوائي وفي سياق متصل كما أشار الباحث Bee عام 2013أن الحلمهه العالية للمادة العضوية تؤدي إلى زيادة إنتاج بكتريا الميثان والتي تشكل العامل الأساسي في إنتاج غاز الميثان من حمض الخل[8] [7].

إن استخدام نظام الدفعة الواحدة Batch له أثر مهم في تحفيز وتسريع عملية التخمر اللاهوائي خاصة في الأيام الأولى من عملية التخمر اللاهوائي حيث أن الدور الأساسي في تجارب نظام الدفعة الواحدة يكمن في البادئ وخاصة في اليومين الأولين من عملية التخمر اللاهوائي، حيث تدخل بكتريا الميثان مرحلة التكاثر اللوغاريتمي وتبدي معدلات نمو عالية [7].

وفي دراسة أُجريت عام2014 تم استخدام الحمأة الأولية في إنتاج الغاز الحيوي دون إضافة بادئ وذلك عند درجة حرارة 35c° وبزمن مكوث قدره 30 يوم وتبين إمكانية إنتاج الغاز الحيوي من الحمأة الأولية بمعدل إنتاج منخفض حيث بلغ 52.27cm³/day وتم تعليل الإنتاج المنخفض للغاز الحيوي بعدم استخدام بادئ في هذه التجربة والاعتماد فقط على الأحياء المجهرية الموجودة في الحمأة وبالتالي ضعف نشاط بكتريا الميثان [4].

يمكن تعليل التأرجح والاضطراب في إنتاج الغاز الحيوي بعدم ضبط ظروف التجربة بشكل مثالي حيث أن الهضم اللاهوائي حصل في الظروف الطبيعية .

تم اختبار الاحتراق و اللهب حيث تم تعريض الغاز إلى شعلة من النار و تم ملاحظة لهب أزرق اللون وهذا يعتبر مؤشراً قوياً لوجود غاز الميثان بنسبة تتراوح بين (55- 80%) وتم إجراء تحاليل فيزيائية وكيميائية للحمأة الأولية والثانوية بعد الهضم اللاهوائي موضحة في الجدول(3).

الجدول رقم (3): نتائج التحاليل المخبرية للحمأة الأولية و الحمأة الثانوية بعد الهضم اللاهوائي.

	حمأة أولية	حمأة ثانوية
PH	7.5	7.62
درجة الحرارة c°	30	29
الناقلية µs/cm	2514	1564
الأملاح الكلية الذائبة TDS (mg/l)	1634	1017
نسبة الرطوبة %	93.796	96.93
نسبة المادة الصلبة الكلية %	6.204	3.07
نسبة المادة العضوية من المادة الجافة %	48.06	51.60
نسبة المادة المعدنية %	51.94	48.40
نسبة الكربون العضوي%	27.875	29.928
النتروجين الكلي %	2.83	5.13
C/N	10:1	6:1

نلاحظ أن قيمة PH قريبة من الاعتدال تعتبر هذه القيمة ضمن الحدود المثالية لعمل بكتريا الميثان وهي المسؤولة عن انتاج غاز الميثان في المراحل الأخيرة لعملية الهضم اللاهوائي و في تجربة قام بها الباحثان

Minal and Worku للراسب الناتج عن الهضم اللاهوائي لمياه الصرف الصحي مع مخلفات المطبخ كانت قيم ال PH تتراوح بين 7.3–6.9 [11].

بينت نتائج التحليل الكيميائي الموضحة في الجدول أن الرقم الهيدروجيني للحمأة الأولية المخمرة والحمأة الثانوية المخمرة سجل ارتفاعاً في نهاية الهضم اللاهوائي ليبلغ (7.5) و(7.62) ، إن الزيادة في الرقم الهيدروجيني قد تكون ناشئة من استهلاك الأحماض العضوية و زيادة في القلوية نتيجة ذوبانية ثاني أكسيد الكربون المنتج خلال الهضم اللاهوائي و الذي يتحول إلى الكربونات فيؤدي ذلك لارتفاع الرقم الهيدروجيني للحمأة[1]

نلاحظ ازدياد قيمة الناقلية الكهربائية في الحمأة الأولية والثانوية المخمرة بسبب تحلل المادة العضوية وتحولها إلى مكوناتها المعدنية هو السبب الذي يؤدي إلى ارتفاع محتواها من الأملاح وارتفاع قيمة الناقلية الكهربائية للراسب في نهاية عملية التخمر اللاهوائي[1].

لا توجد مواصفات قياسية تحدد قيم الناقلية الكهربائية للراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي من أجل الاستخدام لأغراض التسميد الزراعية، لذلك يجب أن يكون هناك حذر عند استخدام الراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي في التسميد، حيث أن الكميات الكبيرة أو الإضافات المستمرة للتربة يمكن أن يؤدي إلى تراكم الأملاح في التربة[6].

أثناء عملية التخمر اللاهوائي يتحول الأزوت العضوي إلى أمونيوم وذلك كنتيجة لعملية التحطم البيولوجي [10]،إن عملية تمعدن الأزوت العضوي تؤدي إلى زيادة نسبة الأمونيوم لتتجاوز 50 % من نسبة الأزوت الكلي في الراسب وهذه الزيادة تؤدي ارتفاع

قيمة الراسب كسماد أزوتي[15]،وبلغت نسبة المواد الصلبة الكلية TS في الحمأة الأولية(9.41%) و بلغت نسبة المواد العضوية الطيارة VS (53.05%) وقد أدت عملية المعالجة اللاهوائية إلى خفض كمية المواد الصلبة الكلية لتصبح (6.204%)TS و المواد العضوية الطيارة (48.06%)VS أي أن معدل الإزالة للمواد الصلبة الكلية في الهاضم 26% و معدل إزالة المواد الصلبة الطيارة 33%.

وبلغت نسبة المواد الصلبة الكلية TS في الحمأة الثانوية(3.214%) و بلغت نسبة المواد العضوية الطيارة VS (66.1509%) وقد أدت عملية المعالجة اللاهوائية إلى خفض كمية المواد الصلبة الكلية لتصبح (3.07%)TS و المواد العضوية الطيارة (51.6%)VS أي أن معدل الإزالة للمواد الصلبة الكلية % 7.2 و معدل إزالة المواد الصلبة الطيارة 27.3%.

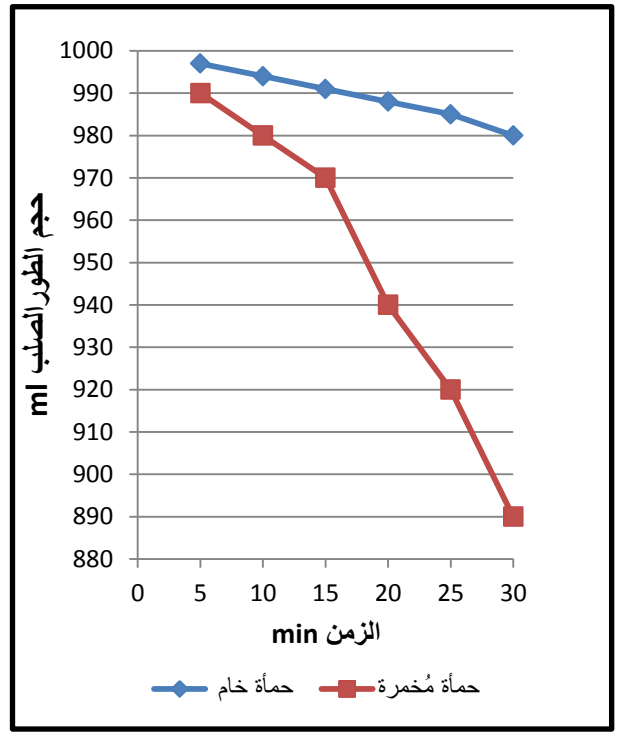
و قد تم إجراء مقارنة بين سرعة تكثيف الحمأة قبل الهضم اللاهوائي (الخام)و بين الحمأة بعد الهضم اللاهوائي (المخمرة) حيث تم وضع 1000 ml من الحمأة في سلندر وتمت مراقبة تغير حجم المياه الرائقة(الطور السائل) و الراسب(الطور الصلب) مع الزمن وتم تسجيل النتائج الموضحة في الجدول (4)و(5) وتم تمثيلها بيانياً حيث يوضح الشكل(10)والشكل(11) مقارنة بين الحمأة الأولية الخام والمُخمرة من حيث تغير حجم الطور الصلب وتغير حجم المياه الرائقة مع الزمن على الترتيب أما الشكل(12)والشكل(13) فيوضح مقارنة بين الحمأة الثانوية الخام والمُخمرة من حيث تغير حجم الطور الصلب وتغير حجم المياه الرائقة مع الزمن على الترتيب .

الجدول رقم (4) :تغير حجم المياه الرائقة والطور الصلب مع الزمن للحمأة الخام.

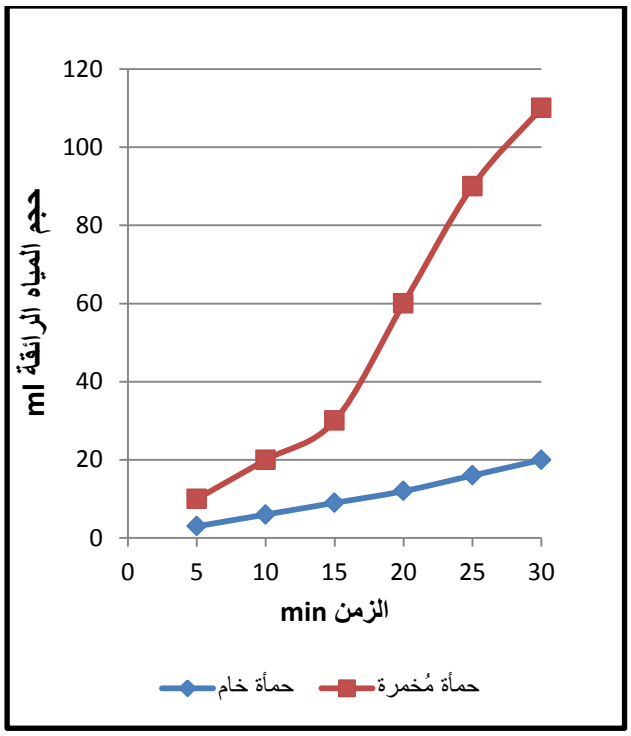
الوقت	قبل الهضم			
	الحمأة الأولية		الحمأة الثانوية	
	حجم المياه الرائقة ml	حجم الطور الصلب ml	حجم المياه الرائقة ml	حجم الطور الصلب ml
5 min	3	997	880	120
10 min	6	994	890	110
15 min	9	991	900	100
30 min	20	980	910	90

الجدول رقم (5):تغير حجم المياه الرائقة و الطور الصلب مع الزمن للحمأة المُخمرة.

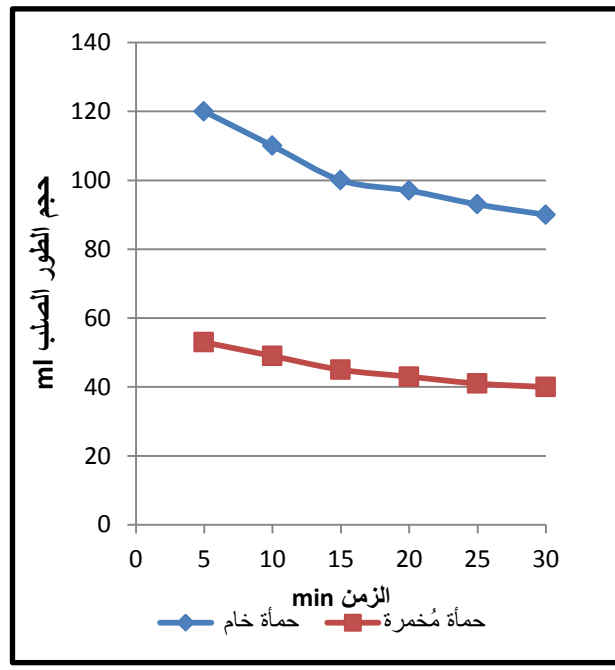
الوقت	بعد الهضم			
	الحمأة الأولية المُخمرة		الحمأة الثانوية المُخمرة	
	حجم المياه الرائقة ml	حجم الطور الصلب ml	حجم المياه الرائقة ml	حجم الطور الصلب ml
5 min	10	990	947	53
10 min	20	980	951	49
15 min	30	970	955	45
30 min	110	890	960	40



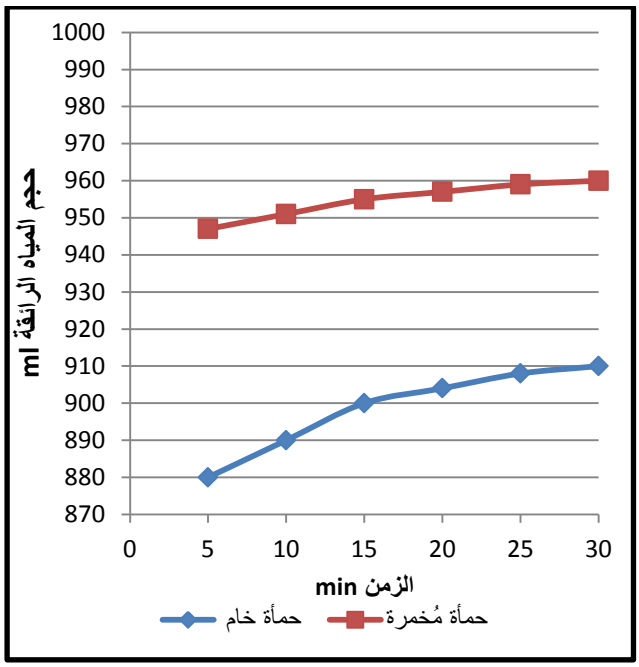
الشكل(10):مقارنة بين الحمأة الأولية الخام المُخمرة ومن حيث تغير حجم الطور الصلب مع الزمن.



الشكل(11):مقارنة بين الحمأة الأولية الخام المُخمرة من حيث تغير حجم المياه الرائقة مع الزمن.



الشكل (12):مقارنة بين الحمأة الثانوية الخام والمُخمرة من حيث تغير حجم الطور الصلب مع الزمن.



الشكل(13): مقارنة بين الحمأة الثانوية الخام والمَخمرة من حيث تغير حجم المياه الرائقة مع الزمن.

من خلال الجدولين رقم (4) و (5) و المخططات رقم (10) و(11) و(12) و(13) نلاحظ أن الحمأة المُخمرة تتميز بسهولة نزح المياه بشكل أسرع و أسهل من الحمأة الخام قبل الهضم اللاهوائي وهذا ينعكس ايجابياً من الناحية البيئية والاقتصادية للهضم اللاهوائي .

5- نتائج البحث و المقترحات و التوصيات:

5-1- نتائج البحث Search results :

1-تعتبر مخلفات الصرف الصحي مواد جيدة لإنتاج الغاز الحيوي و الميثان حيث بلغ حجم الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الأوليةvss.kg/l 46. 544,فيما بلغ حجم الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية 6 .490.L/kg.vss

2- كمية الغاز الحيوي الناتجة خلال 30 يوم من الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية أكبر من كمية الغاز الحيوي الناتجة خلال الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية بثلاث أضعاف تقريباً، حيث تم انتاج غاز حيوي من الهضم اللاهوائي للحمأة الأولية 179.4literو 57.9liter عن الهضم اللاهوائي للحمأة الثانوية.

3-إن 80% من الغاز الحيوي الناتج عن هضم الحمأة الأولية خلال كامل فترة التخمر(30يوم) أمكن الحصول عليه خلال الأيام ال 17 الأولى، وإن 80% من الغاز الحيوي الناتج عن هضم الحمأة الثانوية خلال كامل فترة التخمر(30يوم) أمكن الحصول عليه خلال الأيام ال 13 الأولى.

وبالتالي فإن زمن البقاء المقترح للمخمر الذي حدث خلاله أعلى معدل من التحلل البكتيري للحمأة 17 يوم لهضم الحمأة الأولية و 13 يوم لهضم الحمأة الثانوية.

4- إن نسبة إزالة المواد العضوية من الحمأة الأولية 33% بينما نسبة إزالة المادة العضوية من الحمأة الثانوية 27.3%.

5- الحمأة المخمرة ذات قابلية لنزح الرطوبة منها بشكل أسرع و أسهل من الحمأة قبل التخمير.

6-إن الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي للحمأة الأولية و الحمأة الثانوية يعتبر محسن للتربة ذو مواصفات جيدة من ناحية احتواءه على المادة العضوية و العناصر الكبرى N,P,K .

5-2- مقترحات البحث :

1- تطبيق طريقة الهضم اللاهوائي في محطة الدوير لمعالجة الحمأة والاستفادة من الغاز الحيوي و السماد العضوي.

2- تصميم الهواضم اللاهوائية بعد السيور الضاغطة لتقليل حجم الحمأة و بالتالي تقليل حجم الهواضم وكلف التشغيل.

3-تطبيق تقنيات معالجة مسبقة على الحمأة تعزز من انتاج الميثان.

4- تنفيذ ساحات تجفيف للحمأة المهضومة للتخلص من رطوبتها و حيث تعتبر فترة تعقيم وانضاج لمحسن التربة.

5-3-التوصيات Recommendations:

1- القيام بمزيد من التجارب و الأبحاث على الحمأة الأولية والثانوية كمواد عضوية منتجة للميثان و ذلك للاستفادة من الطاقة الكامنة في هذه المخلفات .

2-ضبط درجة الحرارة خلال الهضم اللاهوائي حيث أن بكتريا الميثان ذات حساسية عالية لتغير درجة الحرارة مما يؤدي لاستقرار عملية الهضم و بالتالي زيادة كمية انتاج الغاز الحيوي.

6-المراجع References:

1 -العفيف, رأفت,2010 . محاضرات ماجستير , قسم الهندسة الريفية – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

2-المركز الوطني لبحوث الطاقة, 2012 ,تقييم واقع و آفاق استثمار الكتلة الحيوية في الجمهورية العربية السورية.

3- بوعيسى ، عبد العزيز و سمرا ، بديع و يوسف ، علي. 2009 . دراسة إمكانية إنتاج سماد عضوي من حطب القطن . برنامج الندوة العلمية " تحسين خواص التربة والتقنيات الزراعية الحديثة "، كلية الزراعة – جامعة البعث.

4-عمر محمد حسن،حميد سلمان خميس . 2014 . إنتاج الغاز الحيوي من حمأة المجاري بوساطة الهضم اللاهوائي . مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة , العدد الاول . المجلد الثامن .

5-محمد,وكاع. 2010 .هندسه الطاقات المتجددة والمستدامة . مجلة فيلادلفيا الثقافية , العدد (6) (116-122).

6- ASTALS, S., Ardevol, N. V., Alvares, M. J, 2012 Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate.
Bioresource and Technology. 110. 63-70.

7- BEE, T.S., Nithiyaa and Rahmat, A2013 Investigation of biogas production and its residue with fertilization effect from municipal waste Pakistan Journal of Biological Science, 16(20): 1104-1112,2013.

8- DIAZ, J2008. Giogas production from kitchen waste/refuse. Bwanika,Tumwesige,205P.

9- HARTMANN, H2002- Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste with recirculation of process water. PhD. Thesis, Technical University of Denmark,198p.

10- MASSE, D2007 The fate of crop nutrients during digestion of swine manure in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactor. Bioresour Technol. 98. 2819-2823.

11-MINALE, M and WORKU, T 2012 anaerobic co-digestion of sanitary waste water and kitchen solid waste for biogas and fertilizer production under ambient temperature : waste generated from condominium house , Tnt.j.Environ.Sci.Techol, 11. 509 – 516.

12- Rittmann, B. & McCarty, P. (2000). Environmental Biotechnology: Principals and Applications. McGraw-Hill, New York, 768 pp.

13-SAKAVELI F, PETAL M, TSIRIDIS V, Darakas E 2021 Enhanced Mesophilic Anaerobic Digestion of Primary Sewage Sludge, Application of Biological and Chemical Processes to Wastewater Treatment,VOL 13(3),1-21.

14- Sato, K., Ochi, S. & Mizuochi, M. (2001). Up-to date modification of the anaerobic sludge digestion process introducing a separate sludge digestion mode. *Water Science and Technology* **44**:143-147.

15- SCHIEVANO, A., DIMPORZANO, G., SALATI, S., ADANI, F., 2011. On-field study of anaerobic digestion full-scale plant (Part I): An on-field methodology todetermine mass, carbon and nutrients balance. Bioresource Technology .102. 7737-7744

16- Speece, R.. (2001). Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Archae Press, Nashville, Tenessee, 394 pp.