مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (2) العدد (2) 2018
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (2) No. (2) 2018

تصميم هاضم حيوي لإنتاج غاز حيوي منزلي منخفض التكلفة

د.سامر ربيع**
د.علي خضور*

(تاريخ الإيداع 28 / 3/ 2018 قُبِل للنشر في 17 / 6 / 2018)

الملخص

إن الكتلة الحيوية لديها القدرة على خلق أنظمة الطاقة المستدامة، وهو أمر بالغ الأهمية للحياة الاجتماعية, ومن المسائل الرئيسية المتعلقة بموارد الكتلة الحيوية مخلفات النفايات العضوية المنزلية التي يتم التخلص منها بشكل عشوائي مسببة الكثير من المشاكل البيئية والاقتصادية والاجتماعية

يبين البحث أهمية استخدام الطاقات المتجددة المختلفة وطاقة الكتلة الحيوية بشكل خاص من خلال دراسة وتصميم هاضم حيوي يقوم بإنتاج الغاز الحيوي للاستخدامات المنزلية والبيئية إضافة للاستفادة من هذا الهاضم في توليد الطاقة الكهربائية. ويتضمن هذا البحث طرق تحويل الكتلة الحيوية إلى وقود حيوي والفوائد البيئية. وإجراء دراسة اقتصادية تبين زمن استرداد التكلفة الكاملة لهذا المشروع وفيما إذا كان استخدام هذا الهاضم مناسباً اقتصادياً للاستخدام من عدمه. كما يهدف البحث إلى التأكيد على أهمية طاقة الكتلة الحيوية في توليد الكهرباء كمساهمة جديدة طاقية وبيئية. ومن شأن هذه السياسة أن تؤدي إلى تقليل الاعتماد على النفط، وبالتالي تعزيز سلسلة إمدادات الكتلة الحيوية المستدامة.

الكلمات المفتاحية : طاقة الكتلة الحيوية، الطاقات المتجددة، الهاضم الحيوي، الجدوى الاقتصادية، البيئة.

*أستاذ مساعد في قسم تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس

** أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (2) العدد (2) 2018

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (2) No. (2) 2018

Design of the Bio-digester for the Low-cost Household Biogas Production

Dr.Ali Khadour *

Dr.Samer Rabih**

(Received 28 / 3 / 2018 . Accepted 17 / 6 /2018)

Abstract

Biomass has the potential to create sustainable energy systems, which is critical to social life. Key issues related to biomass resources include household waste, which is disposed of randomly, causing many environmental, economic and social problems

The aim of the paper shows the importance of the use of various renewable energies and biomass energy in particular through the study and design of a biopharmaceutical that produces biogas for domestic and environmental uses. This article includes ways to convert biomass into biofuels and environmental benefits. And an economic study showing the time of recovery of the full cost of this project and whether the use of this digester economically suitable for use or not. The research aims to emphasize the importance of biomass energy in generating electricity as a new energy and environmental contribution. Such a policy would reduce dependence on oil and thus enhance the sustainable biomass supply chain.

Keywords

Biomass energy, renewable energy, bio-digester, economic feasibility, environment.

* Assistant Professor, Department of Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

** Assistant Professor in Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Al-Baath University

المقدمة:

تتمتع سورية بمناخ متوسطي متعدد مصادر الطاقة (الشمسية, الريحية, النفطية, المائية...الخ) بالإضافة إلى إمكانية إنتاج الغاز الحيوي لكونه بلداً زراعياً يحتوي على أعداد كبيرة من الثروة الحيوانية التي تنتج حوالي 44 مليون طن روث وبول ينتج عنها حوالي $2.27\times10^6 m^3$ غاز حيوي, تختلف هذه النسبة حسب نوع العلف وكميته.

تم إنشاء بعض الوحدات التجريبية من قبل وزارة الزراعة والمركز العربي لدراسة المناطق الجافة الأراضي القاحلة (أكساد) وحالياً في الهيئة العامة للتقانة الحيوية والمركز الوطني لبحوث الطاقة [10]:

- الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية: قامت بإنشاء4 وحدات للغاز الحيوي لأغراض بحثية تجريبية إرشادية موزعة في مركز بحوث السلمية (تم إنشاؤها في عام 2000) وفي مركز بحوث درعا (محطة اليادودة للأبقار العكشية- محطة السماقيات لتربية الأغنام) وفي مركز بحوث طرطوس (محطة زاهد الشرقية للزراعة العضوية) تم إنشاؤها عام 2009.
- وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي: قامت بإنشاء وحدتي غاز حيوي في مبقرة الغوطة وفي قطنا.
- كلية الزراعة: أنشأت وحدة للغاز الحيوي في مزرعة كلية الزراعة في خرابو من صفائح الحديد المطلي ضد الصدأ وفوق سطح الأرض بسبب ارتفاع مستوى الماء الأرضي سعة $32m^3$ فكان متوسط إنتاج الغاز الحيوي $18.8m^3$ بمعدل $0.63m^3$ يومياً, ومحتوى الغاز من الميتان 66.3% [10].
- أكساد: أشادت وحدة بيوغاز في محطة ازرع.
- المركز الوطني لبحوث الطاقة: أشاد 19 وحدة للغاز الحيوي منزلية صغيرة في القرى الواقعة على طريق دمشق- السويداء.

لذا نأمل أن تحظى هذه الطاقة بالاهتمام من كافة قطاعات الدولة لما لها من ميزات إيجابية واضحة وإسهامها أيضاً في الحفاظ على البيئة [2], [3].

أهمية البحث، وأهدافه:

تعرف الطاقة على أنها المقدرة على القيام بعمل (أي إحداث تغيير)، وهناك أشكال عديدة للطاقة ضمن سياق العلوم الطبيعية، حيث يمكن لها أن تأخذ أشكالاً متنوعة : طاقة حرارية، كيميائية، كهربائية، إشعاعية، نووية، وطاقة كهرومغناطيسية...إلخ. فجميع أنواع الطاقات يمكن تحويلها من شكل إلى آخر بمساعدة أدوات بسيطة أو بتقنيات معقدة.

اعتمدنا في هذا البحث الاستراتيجية التجريبية لعينة من مخلفات عضوية منزلية, تم وضعها في هاضم حيوي مصمم لهذه الغاية ويعمل بطريقة التخمير اللاهوائية, وقياس كمية الغاز المنتج, وكمية السماد العضوي الناتج.

يعتمد البحث على استخدام المواد العضوية التي هي بقايا أطعمة ومواد عضوية منزلية لإنتاج الغاز الحيوي والاستفادة من السماد العضوي الناتج كسماد زراعي يساهم في تحسين بيئة التربة ويقلل من مشاكل التلوث البيئية.

يتلخص هدف البحث في النقاط الآتية

- ✓ تصميم هاضم حيوي لإنتاج الغاز الحيوي من أجل الاستخدامات المنزلية (التدفئة والطهي) باستخدام مواقد خاصة به .كما يمكن تشغيل المحركات المخصصة لتوليد الكهرباء والمستخدمة على المستوى الفردي والتي تستخدم البنزين بعد استبدال الحاقن بآخر مخصص للوقود الغازي.
- ✓ تخفيف العبء على المواطن من ارتفاع أسعار أسطوانة الغاز واحتكارها وانقطاعها بسبب الأزمة.

✓توفير السماد الحيوي المعقم للفلاحين لتخفيف العبء الناتج عن نقص الكيماويات والمغذيات الضرورية للنباتات.
✓تحقيق استدامة الموارد من خلال استرجاع أكبر قدر ممكن منها سواءً كانت من مخلفات الأنشطة البشرية, أو الحيوانية أم الزراعية أم الصناعية أم سوائل الصرف وغيرها.
✓تحويل المجتمع إلى مجتمع واعٍ يستفيد من الموارد المتوفرة لديه, وذلك بدمج التكنولوجيات الجديدة في خطط واستراتيجيات التنمية الاجتماعية.
✓المحافظة على البيئة وتخفيف مصادر التلوث ومعالجة النفايات العضوية وفق أسس علمية.

طريقة البحث، والمناقشة:

المواد العضوية:

المقصود بالمواد العضوية حواملُ الطاقة من مصادر حيوانية ونباتية. ففي قانون الطاقات البديلة الصادر في ألمانيا بتاريخ 2001/10/27، وُضِعَتْ لوائحُ قانونية منظمة لطاقة المادة العضوية ولاعتبارات متعلقة بسياسة البيئة والطاقة والمناخ. فقد تم استبعاد بعض المواد العضوية، على الرغم من قابليتها للاستعمال كحوامل طاقية. والمخلَّفات والمواد العضوية التي يحظِّر هذا القانون استخدامَها هي: مواد الاحتراق الأحفورية، القمامة المختلطة، الورق والكرتون، الحمأة الناتجة عن المصارف والمصافي، المواد القماشية، الأعضاء الحيوانية، الغاز المنبعث عن مكبَّات القمامة وكذلك عن محطات الصرف الصحِّي. أما المخلفات والمواد العضوية التي يُسمَح باستخدامها فهي: النباتات وبقاياها وبقايا الحصاد، الفضلات والمنتجات الثانوية من أصل حيواني ونباتي الناتجة عن الاقتصاد الغابيِّ والزراعي، وكذلك اقتصاد الثروة السمكية، والمخلَّفات العضوية الناتجة عن المطابخ والمطاعم وشركات تصنيع المواد الغذائية، الزيوت النباتية، والكحول المستخرج من المواد العضوية، وبقايا الخشب الصناعي والنشارة الخشبية، وأيضاً الأخشاب المزروعة لفترات قصيرة ومدروسة لأجل هذا الهدف.

طرق تحويل الكتلة الحيوية إلى وقود حيوي:

لتحويل الكتلة الحيوية طرائق كثيرة ومتنوعة يمكن بها إنتاج أنواع الوقود الجيد, ولكل نوع من أنواع الكتلة الحيوية (كالخشب والروث والفضلات النباتية) طرائق مختلفة لمعالجتها مما يتيح مجالاً واسعاً من المنتجات النافعة. ويتم اختيار العملية المناسبة اعتماداً على عدة عوامل منها : موقع المصدر, وحالته الفيزيائية, واقتصادية العمليات المنافسة وتوفر السوق للمنتج.

ولتحويل الكتلة الحيوية أشكال مختلفة:

1-تحويل كيميائي حراري.

2-تحويل كيميائي حيوي.

إن الاستثمار الطاقي لكتلة المادة العضوية يتم بشكل مباشر عن طريق عمليات الحَرْق في محطات حَرْق خاصة، أو بشكل غير مباشر عن طريق تحويل المادة العضوية إلى غازات. وبناءً عليه، يمكن التمييز بين الطرق المختلفة الآتية:

- توليد التيار الكهربائي عن طريق حوامل الطاقة الحيوية ذات الشكل الصلب: مثلاً، عن طريق حَرْق الأخشاب. لا تزال في طور البحث والدراسة.

- توليد التيار الكهربائي عن طريق حوامل الطاقة الحيوية ذات الشكل السائل: يتم الحصول على التيار الكهربائي عن طريق عَصْر النباتات الزيتية ومعالجتها وفق خطوات تقنية مدروسة؛ وهذا ما يُعرَف بإنتاج مواد الاحتراق الحيوية. [4].
- توليد التيار الكهربائي عن طريق حوامل الطاقة الحيوية ذات الشكل الغازي: إن طريقة تحويل الكتلة العضوية إلى حوامل طاقية ذات شكل غازي تعدّ التقنية الأساسية للاستثمار المستقبلي للطاقة الحيوية. ويتم الحصول على التيار الكهربائي عن طريق تخمير بقايا المواد العضوية [5].

إن نواتج الهاضم ذات الشكل الغازي يمكن أن يستفاد منها في توليد الكهرباء من إجراء تعديلات في الآلة لتناسب الوقود الطاقي الناتج. لكن في هذا البحث لن نتطرق إلى التعديلات على الآلة.

مبدأ تحرير طاقة الغاز الحيوي:

تعتمد تقنية إنتاج الغاز الحيوي على تفكُّك المواد العضوية وتحلُّلها إلى مكوّناتها العضوية، وذلك بواسطة بكتيريا الميتان الخاصة، وهذا ما يُعرَف بعملية التخمير. وهذه العملية يجب أن تتم في ظروف لاهوائية، في درجات حرارة ملائمة للعمليات الحيوية التي تقوم بها البكتيريا الموجودة في مُفاعِل الغاز الحيوي (حوض التخمير). وبشكل عام، هناك ثلاثة مجالات حرارية يتم فيها توليد الغاز الحيوي [6]، وهي:

- التخمير البارد، وذلك ضمن مجال حراري يتراوح بين 15 إلى 20 درجة مئوية, وفيه تكون مدة بقاء المادة العضوية في المخمِّر طويلة نسبيًّا وكمية الناتج الغازي لكلِّ متر مكعب من حجم المخمِّر قليلة.
- التخمير الساخن، وذلك ضمن مجال حراري يتراوح بين 25 إلى 40 درجة مئوية, وفيه تكون مدة بقاء المادة العضوية في المخمِّر متوسطة وكمية الناتج الغازي لكلِّ متر مكعب من حجم المخمِّر متوسطة.
- التخمير الحار في مجال حراري يتراوح بين 40 إلى 65 درجة مئوية, وفيه تبقى المادة العضوية في المخمِّر وقتاً قصيراً وكمية الناتج الغازي لكلِّ متر مكعب من حجم المخمِّر كبيرة.

يُستخدم اليوم شكلان من أشكال منشآت توليد الغاز الحيوي:

- المنشآت التي تستعمل فقط المنتجات الزراعية وبقايا الإنتاج الزراعي.
- المنشآت التي تستخدم المنتجات الزراعية، بالإضافة إلى الفضلات العضوية من المنازل والمطاعم. هذا وينبغي التمييز بين المنشآت الريفية والمنشآت في المدن الكبيرة والصغيرة.

آلية العمل ضمن الهاضم:

توضع المخلفات العضوية في وعاء يدعى الهاضم، ولا يسمح للأكسجين بالدخول إلى حيث توجد المخلفات, فتقوم البكتيريا بتحليل المخلفات في جو خال من الأكسجين، ينتج عن هذه العملية خليط قابل للاحتراق مكون من غازات الميثان وثاني أكسيد الكربون (يدعى الغاز الحيوي). وينتج أيضاً سماد طبيعي معالج على شكل سائل.
يُجمع الغاز الناتج في خزانات حيث يبلغ حجم الغاز الناتج ما يعادل (2.5 – 1.5) مرة من حجم الهاضم نفسه, وتحتوي المخلفات التي تبقى بعد إنتاج الغاز على النتروجين وهو الذي تحتاجه النباتات, لذلك فإن مخلفات عملية الهضم اللاهوائي تستعمل أسمدة للنباتات في المزارع.

تشغيل منشآت إنتاج الغاز الحيوي واستثمارها:

ملء المخمر بالمخلفات:

عادة يكون المخمر مملوءاً بالماء عند الاختبار، ولذلك يجب سحب المياه من المخمر بحيث يتبقى في المخمر حولي ثلث حجمه مملوء بالماء، ويتم البدء بتغذية المخمر بالمخلفات العضوية غير المتخمرة ويحتاج المخمر إلى كمية كبيرة في هذه المرحلة من التغذية. فإذا كانت التغذية من روث الماشية فيجب تجميع الروث مسبقاً لمدة أسبوع على الأقل مع تغطيته لمنع جفافه حتى لا يتعذر الخلط بعد ذلك. ويفضل الحصول على روث طازج. يجب أن يكون الروث خالٍ من أعواد القش والرمل والأتربة، حيث أنها تسبب مشاكل في التشغيل. فالقش والأعشاب ونشارة الخشب قد تسد الفتحات كما أنها تكون رغوة صلدة وتؤثر على حركة الخزان [8]. تغلق بوابة الدخول ويوضع الروث في حجرة التغذية ويضاف إليه كميات ملائمة من الماء, ويخلط جيداً باستخدام الخلاط اليدوي حتى يصبح مخلوطاً متجانساً، سهل السريان، تفتح بوابة التغذية فيندفع المخلوط إلى داخل المخمر في أسفل الحجرة الأولى. يجب أن يكون تركيز محلول التغذية بحدود 10%–8 مادة صلبة.

إضافة البادئات:

البادئات هي مخلوط نشط يحوي على أعداد ملائمة من بكتيريا التخمر اللاهوائي. ويمكن الحصول عليها إما من وحدة إنتاج غاز حيوي أخرى وإما تحضيرها.

مراقبة الغاز :

يحتوي الغاز المنتج في بداية التخمر على نسبة مرتفعة من غاز ثاني أكسيد الكربون, كما أنه يحتوي على نسبة مرتفعة من الأوكسجين, مما يجعله عرضة للانفجار عند الاستخدام, ولذلك يفضل تفريغه بالهواء لعدة مرات بدون إشعال إلى أن ترتفع نسبة غاز الميتان وتنعدم نسبة الأوكسجين. ويجب الاهتمام بما يأتي :

- ملء مصافي المياه بالماء لمنع تسرب الغاز منها .
- التأكد من أن المواقد قد تم تعديلها كما يجب .
- التعود على غلق المحبس الرئيسي بعد الاستخدام تلافيا لحدوث أي تسرب غير متوقع.

استخدام الغاز:

- يستخدم الغاز في معدات الاستخدام المختلفة ويتم التأكد من اشتعال الغاز بكفاءة وبشعلة زرقاء, وعندما تكون الشعلة حمراء أو مصحوبة بدخان، يتم التأكد من فتحة الهواء الأولى.

- يجب تنظيف طربوش الموقد بين الفترة والأخرى, وعند تجمع قشور على ثقوب الموقد يجب إزالتها حتى لا تصغر أقطار الثقوب مما يؤثر على كفاءة الاحتراق.

الحراقات المستعملة لحرق الغاز الحيوي الناتج:

بالنسبة إلى الحراقات المستعملة فهي نوع خاص، وتصمم حسب كمية الغاز، ودرجات الحرارة ....الخ, تستعمل في أغلب الأحيان الحراقات الهوائية, حيث يتم مزج الهواء مع الغاز الحيوي بنسبة معينة، والغاز الحيوي يتطلب القليل فقط من الهواء، إذ يتطلب الاحتراق الكامل حوالي 5.7 من الهواء لكل لتر من الغاز مقارنة مع غاز المطبخ التقليدي المعبأ بالأسطوانات (غاز البوتان) الذي يتطلب حوالي $30.9 Litres$ من الهواء [11].

مواد البحث وطرائقه

تصميم هاضم منزلي:

يمكن تلخيص المكوِّنات الأساسية للمنشأة بما يأتي:

✓حوض التخمير (مُفاعِل الغاز الحيوي): ويمثل النواة الأساسية في المنشأة، حيث تقوم البكتريا بعملية تجزئة المادة العضوية التي قد تبقى في المخمِّر مدةً تتراوح بين 10 و35 يوماً، وتتم تغذية جهاز التخمير بشكل مستمر أو متقطِّع وغير منتظم [7]. يمكن بناء هيكل حوض التخمير بشكل أفقي أو عمودي, والمواد المستخدمة قد تكون من البيتون أو المعدن المعالج، كما هو شائع في ألمانيا، أو من الصفائح الفولاذية بشكل قابل للفكّ، كما في الدانمارك، وأحيانا من البلاستيك. إن عملية التخمير يمكن أن تكون رطبة أو جافة، إلا أن معظم المنشآت في القطاع الزراعي تعمل على مبدأ التخمير الرطب.

✓حوض (مستودع) تخزين المواد العفنة التي لا تُستثمَر مباشرة.

✓حوض الإدخال: يفضَّل أن يكون على اتصال مباشر مع المخمِّر والمزرعة، مثلاً، أو الحظيرة أو حوض تجميع القمامة.

✓أجهزة تفتيت (طحن) المواد العضوية وفَرْزِها وتنقيتها من العناصر غير المرغوبة.

✓مضخات من أجل تغذية جهاز التخمير وتفريغه.

✓أنابيب نقل الغاز، عدَّادات، مكثِّفات، خزانات وأجهزة وقاية وحماية وأمان.

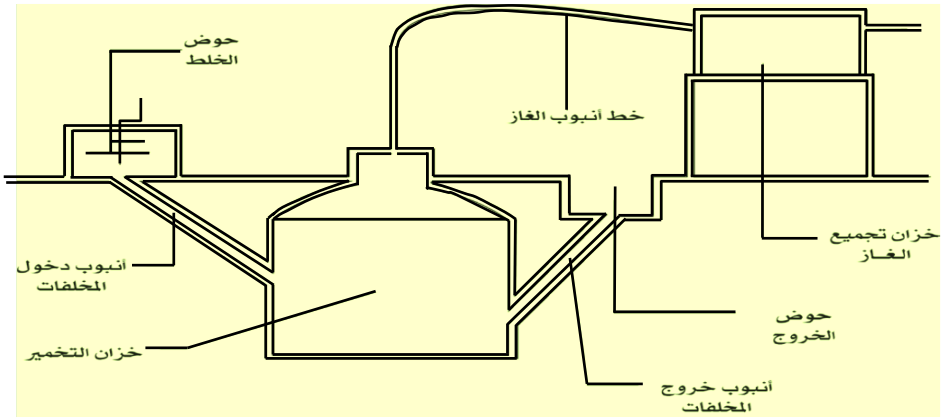
✓تجهيزات لاستخلاص المواد الكبريتية، مثل كبريتيد الهيدروجين H_2S.

✓حوض لتخزين الغاز الناتج.

✓محطة لتوليد التيار الكهربائي والحراري الناتجين عن الغاز الحيوي.

✓محرك احتراق داخلي لتشغيل المحطة.

ويوضح الشكل (1) مكونات الهاضم الحيوي.



الشكل (1) : مكونات الهاضم الحيوي.

توصيف الهاضم الحيوي المدروس

وستعتمد في هذا البحث على تصميم مخمر أو هاضم منزلي نظام الدفعة الواحدة لأغراض بسيطة كتشجيع للاستثمار المنزلي من جهة، والتخفيف من التلوث البيئي من جهة أخرى. كما أنه يمكن الاستفادة من الغاز الحيوي الناتج كوقود لمحركات الاحتراق الداخلي حيث أن كل $1m^3$ من الغاز يولد كهربائياً $(6-9)kWh$.
فللهاضم عدة فوائد ا: اقتصادية وبيئية. وخطوات التصميم كالآتي:
الخطوة الأولى في تصميم الهاضم يتم وفق العلاقة الرياضية الآتية [12], [13] :

$$V_d = S_d \times R_T \qquad (1)$$

V_d : حجم الهاضم الحيوي مقاساً بـ m^3

S_d : كمية المخلفات المضافة يومياً (Kg/day)

R_T : زمن التخمر والتحلل اليومي (day)

كما أنه يجب إضافة كمية من الماء إلى الهاضم, حيث كمية الرطوبة الداخلية غير كافية, فتصبح الكتلة على النحو الآتي :

$$V_d = S_d \times R_T = (B+W).R_T \qquad (2)$$

B : كتلة المخلفات والنفايات مقرة بـ Kg.

W : كمية الماء المضافة بـ $Litre$.

ومن هنا يمكن استنتاج حجم الغاز المولد من الهاضم هو جداء كتلة المخلفات بكتلة الغاز المنتجة يومياً من كل مكون من مكونات المخلفات:

$$G = (V_S.G_y) \qquad (3)$$

V_S : كتلة المخلفات التي يتم إضافتها إلى الهاضم مقدرة بـ(Kg)

G_y : كمية الغاز المنتجة يومياً من كل مكون للمخلفات العضوية m^3

G : كمية الغاز المنتجة m^3

يتم حساب معدل الغاز المنتج يومياً لكل متر مكعب من خلال قسمة الإنتاجية الكلية على حجم الهاضم وفق العلاقة الآتية:

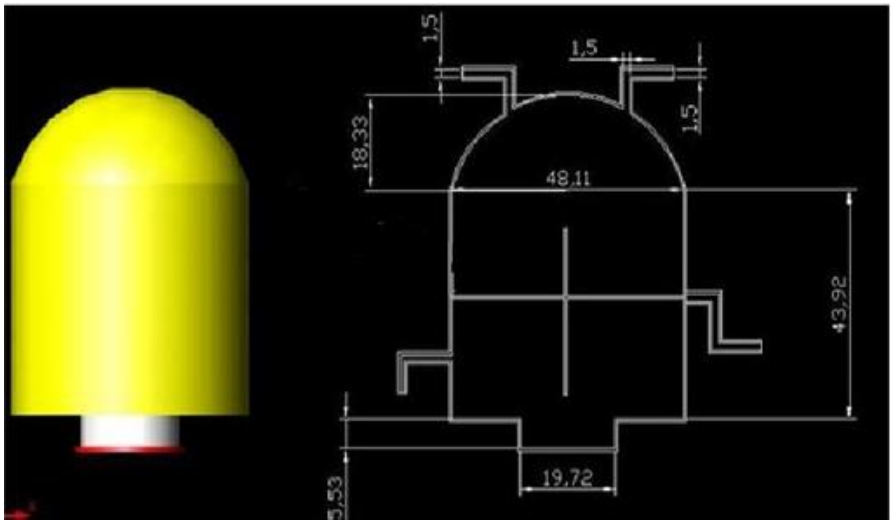
$$G_P = G/V_d \qquad (4)$$

V_d : حجم الهاضم مقدراً بـ m^3

G_P : معدل الغاز المنتج يومياً لكل متر مكعب

G : الغاز المنتج مقدراً بـ m^3

يمثل الشكل (2) مخططاً للهاضم المنزلي الذي تم تصميمه مرفقاً بالأبعاد الأساسية, حيث تم اعتماد هاضم حيوي بحجم $100Litres$ وقاعدتيه على شكل قبة لتحمل الضغوط الناتجة. وتم اختيار الفتحات بما يتناسب مع مقاييس الأدوات المتوفرة كما هو مبين بالشكل (2).



الشكل (2) : مخطط للهاضم المنزلي موضوع البحث.

مكونات الهاضم:

يتكون الهاضم المدروس من المكونات الآتية:

1-جسم الهاضم : مصنوع من الحديد بسماكة $3mm$ وبحجم $100Litres$ وصمم من الأعلى والأسفل بشكل قبة ليكون قادراً على تحمل الضغط.

2-آلية الحركة: وهي يدوية لصغر حجم الهاضم, وفي التصاميم الكبيرة لا بد أن تكون ميكانيكية.

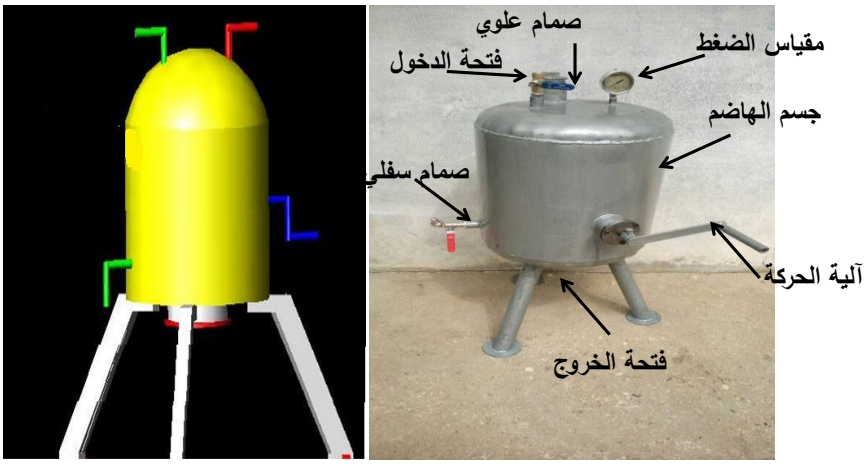
3-مقياس الضغط.

4-صمامان: علوي لتعديل الضغط، وجانبي لأخذ عينات من المواد داخل الهاضم.

5-فتحة دخول النفايات العضوية المخلوطة من الأعلى، وفتحة خروج السماد الحيوي من الأسفل.

6-إطار مطاطي لجمع الغاز الحيوي.

7-خرطوم للغاز مزود بمنظم متغير من الأعلى.



الشكل (3) الهاضم المدروس.

يبين الجدول (1) حجم الهاضم المنزلي المصمم والتوصيف الكمي لنسبة النفايات العضوية في الخليط السائل وفترة التخمير وكمية الغاز الناتج في نهاية هذه الفترة.

إن كمية الماء يجب أن تشكل ثلث حجم الخزان بشكل عام, وفترة التخمر لا تقل عن ثلاثون يوماً حسب طبيعة المادة المضافة وتأثير درجات الحرارة حيث مع ازدياد درجة الحرارة تزداد سرعة التفاعل. وهذا ما ساعدنا كون أن الاختبارات قد أجريت خلال شهري أيار وتموز. في هذا البحث لم ندرس مقدار تأثير درجة الحرارة على الأداء.

الجدول (1) حجم الهاضم المنزلي.

نوع الهاضم	نظام الدفعة الواحدة
حجم الهاضم	100 L
نفايات عضوية صلبة	30 Kg
الماء المضاف	30 L
زمن التخمر	30 Day
الغاز المنتج	4000g

نبدأ بتغذية الهاضم بـ $30Kg$ بأنواع مختلفة من النفايات العضوية المنزلية الشكل (4) (خضراوات, فضلات الطعام...إلخ) بعد أن يتم خلطها باستخدام خلاط يدوي مع $30Litre$ من الماء للحصول على خليط متجانس بالإضافة إلى البادئ الذي تم تحضيره مسبقاً كما هو مبين في الشكل (5), ويغلق الهاضم بشكل تام يمنع دخول الهواء إلى داخله بأي شكل بحيث تبدأ مرحلة التخمر اللاهوائية, وبعد الانتظار لمدة $30Days$ نتوقف ونجمع الغاز المتولد وهو حوالي $4000g$ من الغاز الحيوي. علما أن الغاز الحيوي سيبدأ بالتشكل من الأيام الأولى، ولكن بشكل قليل ثم يبدأ بالتزايد ليصل لقيمة عظمى ليعود مرة ثانية للانخفاض وذلك في نهاية فترة التخمر.

وفي النهاية تم إشعال الغاز الناتج من خلال الموقد كما هو موضح في الشكل (6).

الشكل (4) : النفايات العضوية المنزلية

الشكل (5) : تحضير البادئ.

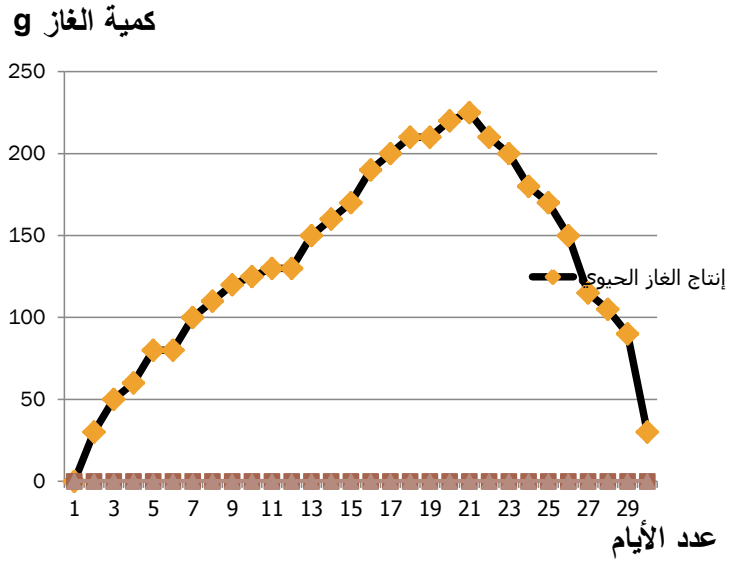
الشكل (6) : إشعال الغاز الناتج.

لقد تم قياس كمية الغاز المتولدة يومياً خلال شهر أيار وحزيران وفق الجدول (2) .

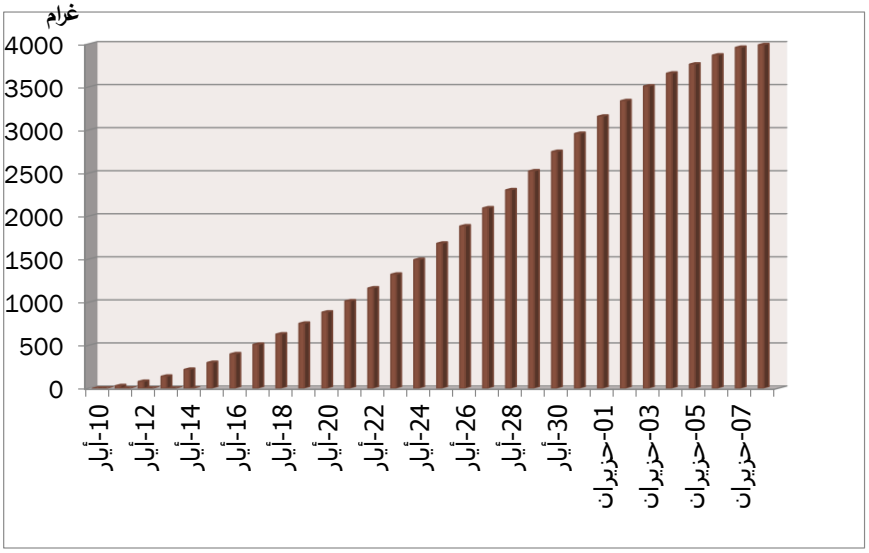
الجدول (2) : كمية الغاز المتولدة يومياً.

$N^0 day$	date	Bio-gas/g	$N^0 day$	date	Bio-gas/g
1	10-أيار	0	16	25-أيار	190
2	11-أيار	30	17	26-أيار	200
3	12-أيار	50	18	27-أيار	210
4	13-أيار	60	19	28-أيار	210
5	14-أيار	80	20	29-أيار	220
6	15-أيار	80	21	30-أيار	225
7	16-أيار	100	22	31-أيار	210
8	17-أيار	110	23	1-حزيران	200
9	18-أيار	120	24	2- حزيران	180
10	19-أيار	125	25	3- حزيران	170
11	20-أيار	130	26	4- حزيران	150
12	21-أيار	130	27	5- حزيران	115
13	22-أيار	150	28	6- حزيران	105
14	23-أيار	160	29	7- حزيران	90
15	24-أيار	170	30	8- حزيران	30

وتم التعبير عن الجدول (2) بالمنحني الذي يبن كمية إنتاج الغاز خلال الفترة المدروسة من خلال الشكل (7)



الشكل (7) : كمية الغاز المتولد.



الشكل (8) : الإنتاج التراكمي للغاز خلال فترة التخمر

الدراسة الاقتصادية والبيئية:

الطاقة الناتجة عن الميثان الحيوي:

تقاس الطاقة الناتجة عن الميثان الحيوي $Kcal/m^3$ من الغاز، ويعطي غاز الميثان الصافي طاقة تعادل $9000Kcal/m^3$ في درجة حرارة $15C^0$ وضغط جوي واحد، أما الغاز الحيوي فيعطي $4000-7000Kcal/m^3$. هذه النتائج مرجعية تساهم في تحليل الجدوى الاقتصادية للهاضم [9].

يبين الجدول (3) التكاليف التأسيسية للمخمر المدروس وستتم المقارنة مع سعر اسطوانة الغاز المنزلية.

الجدول (3) التكاليف التأسيسية للمخمر وفق الأسعار المحلية

المكونات	التكلفة
جسم الهاضم/حديد	80 دولار
القبتين	30 دولار
آلية الحركة/يدوية	20 دولار
ساعة الضغط	14 دولار
خرطوم غاز+ إطار تجميع الغاز	10 دولار
محبس ومفاتيح وبلوف	7 دولار
التكلفة الكلية	161 دولار

للتسهيل نقدم المعطيات الآتية [9]:

✓إن متر مكعب واحد من الغاز الحيوي يمكن أن يولد طاقة كهربائية ومن خلال مولد طاقة كهربائية صغير ومتنقل تساوي $1.8kWh/m^3$، وهذا يعني تشغيل 18 مصباح استطاعة كل واحد منها $100Watte$ لمدة ساعة.

✓إذا تم استخدام هذه الطاقة في استخراج المياه فيمكن استخدام الغاز الحيوي لرفع $48m^3$ من الماء وذلك باستخدام مضخة غاطسة بقوة $1.5HP$ واستطاعة $1.1kW$ وذلك عند تشغيلها لمدة $4h/day$

سيتم بحساب زمن الاسترداد بمقارنة غاز الميتان بتكاليف أسطوانات البوتان المنزلية المستخدمة حيث أن فعالية $1Kg$ من غاز البوتان المنزلي تقابل فعالية $2Kg$ من غاز الميتان الناتج عن التخمر اللاهوائي, أي أن أسطوانة غاز الميتان يفترض أن يكون وزنها $16Kg$ لتعادل فعالية أسطوانة غاز البوتان المستخدمة في منازلنا والمتوفرة بالسوق بسعر $5.4\$$. الهاضم المنزلي المصمم ينتج حوالي $4Kg$ بالشهر.

الإنتاج السنوي لهذا الهاضم من غاز الميتان = الإنتاج الشهري ×12= 48kg

أي أن الإنتاج السنوي من الميتان لهذا الهاضم يعادل 3 أسطوانات من البوتان المنزلي بتكلفة تساوي $16.2\$$

زمن الاسترداد يساوي التكلفة الكلية للهاضم مقسوماً على تكلفة الإنتاج السنوي :

$$time = \frac{161}{16.2} = 10 years$$

وهذه الحسابات لم تأخذ بعين الاعتبار إمكانية بيع السماد الحيوي الناتج حيث أن بيع السماد الناتج سيقلل زمن الاسترداد بشكل كبير. حيث أن سعر الكيلو غرام من السماد يساوي تقريبا $0.06\$$والهاضم ينتج عنه شهريا سماد عضوي حوالي $30Kg$ ومنه:

الشكل (9) : السماد العضوي.

سعر السماد المباع شهريا يساوي:

$$30 \times 0.06 = 1.8\$$$

سعر السماد المباع سنوياً يكون $1.8 \times 12 = 21.6\$$

فيصبح زمن استرداد الهاضم بعد احتساب سعر السماد العضوي المباع كالتالي

$$time_{total} = \frac{161}{16.2 + 21.6} = 4.3 years$$

كما أن هناك فوائداً بيئية يجب أن تؤخذ بالحسبان, فاستخدام الهواضم سيقلل من حجم النفايات العضوية ويخفف من حجم الأراضي المستخدمة كمكبات وتخفيف الانبعاث التي تسبب الاحتباس الحراري والناتجة عن حرق هذه النفايات في المكبات وغيرها من الفوائد الصحية.

الاستنتاجات والتوصيات:

يتبين من البحث أهمية الغاز الحيوي كطاقة بديلة وصديقة للبيئة، ورخيصة وضرورية في ظروف الحياة العصرية في ظل نضوب مصادر الطاقة، وتزايد عوامل تلوث البيئة، والتخفيف من خطر التلوث بهدف حماية الانسان.
ويرتبط أداء الهاضم بالنقاط الآتية :

❖كفاءة الهاضم المستخدم.

❖درجة الحرارة الموافقة لعملية التحلل،

❖توافر الرطوبة المناسبة فالبيئة الصحراوية لا تساعد على عملية التحلل ولذلك يجب ترطيب النفايات حتى نسمح لعملية التحلل بالاستمرار.

❖كما تؤثر نعومة هذه الفضلات على سرعة التحلل،

من خلال هذه الدراسة نتوصل إلى :

✓إن الهاضم المدروس ذو حجم $100 Litres$ يساهم في إنتاج كمية من الغاز حوالي $4000 g$ خلال ثلاثون يوماً من التخمر.

✓إن المادة العضوية متوفرة في كل منزل فلذا يمكن اعتبارها مجانية.

✓إن فترة الاسترداد للهاضم حسب الأسعار المحلية هي حوالي أربع سنوات

✓الاعتماد على الهواضم الحيوية يخفف من المشاكل البيئية، وينتج سماداً عضوياً معقَّم وبجودة عالية مقارنة مع السماد العادي.

✓يفضل عدم وضع مواد مختلفة ضمن الخزان نفسه.

✓يجب عند اختيار المواد المراد وضعها داخل الهاضم أن تكون مواد عضوية، وأن يتم فصلها بشكل كامل عن النفايات غير العضوية التي تعمل كمثبطات لعملية إنتاج الوقود الحيوي.

✓الغاز الحيوي الناتج يجب أن تتم تنقيته باستخدام أجهزة خاصة لتخليصه من غاز ثاني أكسيد الكربون وهيدروجين الكبريت للحصول على الميتان النقي، حيث أن وجود هذه الغازات تسبب انخفاضاً في كفاءة احتراق الغاز الحيوي.

✓الاستفادة من الغاز الحيوي الناتج كطاقة حرارية.

ومن بعض التوصيات العامة التي يمكن ذكرها :

- لا ينصح باستخدام المواقد المنزلية التي تستخدم لحرق البوتان إلا بعد تعديلها لأنها ذات كفاءة متدنية في حرق الغاز الحيوي وإنما يجب استخدام مواقد تعمل بالغاز الحيوي.
- يوصى بتطبيق هاضم حيوي منزلي، حيث أن هذا النظام المنزلي سيوفر شراء الغاز ويسترجع ثمنه خلال زمن بسيط.
- إن حصة توليد الطاقة من طاقة الكتلة الحيوية منخفضة، فضلاً عن نقص المشاريع المستقبلية، سواء من حيث الحجم أم العدد. وفيما يتعلق بالوقود الحيوي السائل، يجب مواصلة تطوير البحث والتطوير من أجل تحسين منتجاته، فضلاً عن العمليات المحددة لتنميتها الصناعية، بهدف تمكين إنتاج هذه الأنواع من الوقود على مستويات هائلة ومستقرة.

- التشجيع على توليد الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة والمستدامة التي يمكن أن تتنافس مع مصادر الطاقة التقليدية، بغية تحقيق قفزة كبيرة في مجال توليد الكهرباء باستخدام مصادر الطاقة المتجددة، والاستخدام المستدام للموارد الطبيعية للبلد.

المراجع:

- Sadhan Kumar Ghosh" Biomass & *Bio*-waste Supply Chain Sustainability for *Bio*-energy and *Bio*-fuel Production" , Procedia Environmental Sciences, Volume 31, 2016, Pages 31-39
- L.J.R.Nunes et all "Biomass in the generation of electricity in Portugal: A review". Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 71, May 2017, Pages 373-378
- MuhammadNaqvi "Off-grid electricity generation using mixed biomass compost: A scenario-based study with sensitivity analysis" Applied Energy. Volume 201, 1 September 2017, Pages 363-370
- RobertWhite "Thermodynamic modelling and energy balance of direct methanation of glycerol for Bio-SNG production" Energy Conversion and Management. Volume 160, 15 March 2018, Pages 354-363
- Rawan Hakawati, "What is the most energy efficient route for biogas utilization: Heat, electricity or transport? Applied Energy. Volume 206, 15 November 2017, Pages 1076-1087
- R.G.HamidR.E.Blanchard "An assessment of biogas as a domestic energy source in rural Kenya: Developing a sustainable business model". Renewable Energy. Volume 121, June 2018, Pages 368-376
- SujitGhosh "Unraveling the microbial interactions in coal organic fermentation for generation of methane A classical to metagenomic approach" International Journal of Coal Geology. Volume 125, 1 May 2014, Pages 36-44
- Siti-NurainiMohd-Noor "Optimization of self-fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid and protein yields" Renewable Energy. Volume 111, October 2017, Pages 646-654
- S. Sathish, S. Vivekanandan, "Parametric optimization for floating drum anaerobic *bio-digester* using Response Surface Methodology and Artificial Neural Network" , Alexandria Engineering Journal, Volume 55, Issue 4, December 2016, Pages 3297-3307

- Patrick Mukumba "A possible design and justification for a biogas plant at Nyazura Adventist High School, Rusape, Zimbabwe" J. energy South. Afr. vol.24 n.4 Cape Town Apr. 2013
- Robert Kigozi "Sizing of an Anaerobic Biodigester for the Organic Fraction of Municipal Solid Waste" October 2014
- د. أحمد جاد الله المقداد "الغاز الحيوي صديق للبيئة وأمل المستقبل: دمشق 2015 الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية
- عادل الأمين, فاروق الشوا, صقر الغضبان: تصميم وحدة الغاز الحيوي و انشاؤها وتشغيلها بكلية الزراعة (خرابو) في جامعة دمشق. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية -2007 المجلد-23. العدد2