جامعة البعث

كلية الهندسة الزراعية

قسم الهندسة الريفية

تأثير الهضم المشترك لمخلفات تصنيع البرتقال مع مخلفات الأبقار في إنتاجية الغاز الحيوي

* غنوة القهوجي: طالبة دراسات عليا– قسم الهندسة الريفية– كلية الزراعة– جامعة البعث.

** الأستاذ الدكتور محمود مريعي– قسم الهندسة الريفية– جامعة البعث

** الدكتور إيهاب الضمان – كلية الزراعة – قسم الاقتصاد– جامعة حماه

تأثير الهضم المشترك لمخلفات تصنيع البرتقال مع مخلفات الأبقار في إنتاجية الغاز الحيوي

ملخص البحث

تعد معالجة المخلفات الزراعية الثانوية باستخدام الهضم اللاهوائي خياراً جيداً للحفاظ على بيئة نظيفة، ومصدر جيد لإنتاج الطاقة.

هدف البحث دراسة تأثير الهضم المشترك لمخلفات تصنيع البرتقال(OPW)– الناتجة عن معامل العصير– مع روث الأبقار(CW) بنسب مختلفة، أجريت التجارب في وحدة تخمير لاهوائية سعة كل منها لتر واحد، عند درجة حرارة [Cº] 37,5، ولمدة 30يوماً.

أجريت سلسلة من التجارب بخمس نسب مختلفة من (OPW) و(CW) لمعرفة نسب الخلط المناسبة التي تعطي أعلى إنتاج للغاز الحيوي.

كان أعلى إنتاج تراكمي للغاز الحيوي في النسبة(OPW)%100، حيث بلغ إنتاج الغاز الحيوي [L_NKgVS]325، وبلغت نسبة غاز الميثان فيه 55%، وعلى مستوى الخلائط كان أعلى قيمة للغاز الحيوي عند النسبة (75%OPW:25%CW)، حيث بلغ الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي[L_NKgVS]303.3، وبلغت نسبة غاز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عنها 57%، ويمكن استخدام الراسب الناتج عن عمليات الهضم اللاهوائي كسماد صالح للأغراض الزراعية.

الكلمات المفتاحية:

الغاز الحيوي، الهضم اللاهوائي، الهضم المشترك، مخلفات تصنيع البرتقال.

"The Effect Of Co-Fermentation Of Orange Processing Waste With Cow Manure For Biogas Productivity"

Abstract

Anaerobic digestion is a promising option for environmentally friendly recycling of agricultural by-products and renewable resources for energy production.

This research aims to investigate the effect of co-fermentation of orange processing waste- produced from juice factory - with cow manure for biogas productivity by different mix proportions.

Eudiometer batch digesters of one liter capacity were used and the temperature was set at 37.5 [C]°. Hydraulic retention time was 30 days. a series of experiments were carried out with five different proportions of OPW and CW to obtain the suitable mix ratio which gives maximum biogas production. The highest cumulative biogas yield was measured from 100%OPW, Where the production of biogas was 325 [LNKgVS], and the proportion of methane gas in it was 55%, whilst the mix (75%OPW+25%CW) was found to be the optimum mix ratio which resulted in high biogas yield, maximum cumulative gas production was 303.3 [LNKgVS], and the methane gas content was 57%, The digested slurry can be used as a fertilizer for agricultural purpose.

Keywords: Anaerobic Digestion, Biogas, co-fermentation, orange processing waste.

1-المقدمة:

أهمية طاقة الكتل الحيوية:

تكمن أهمية طاقة الكتلة الحيوية في أنها تأتي في المرتبة الرابعة بالنسبة لمصادر الطاقة في الوقت الحاضر، حيث تشكل ما نسبته 14% من احتياجات الطاقة في العالم، وتزداد أهمية هذه الطاقة في الدول النامية حيث ترتفع تلك النسبة إلى حوالي35%من احتياجات الطاقة في تلك الدول، وخاصة في المناطق الريفية[1].

تشمل الكتلة الحيوية مخلفات نباتية، ومخلفات الحيوانات، والمخلفات الآدمية، ومخلفات الصناعة ذات التركيب العضوي، تتقسم الطرق المتبعة في معالجة الكتل الحيوية واستخلاص الطاقة منها بين آليات تقليدية غير مكلفة و أخرى معقدة نوعا ما ومختلفة الكفاءة في تحويل هذه الطاقة و يمكن إدراجها تحت نوعين المعاملة الحرارية والتقنيات الحيوية وينتج من استخدام التقنيات الحيوية إنتاج كحول الإيتانول وإنتاج الهيدروجينٌ وانتاج الغاز الحيوي من خلال عملية (الهضم اللاهوائي) وتعتبر عملية الهضم اللاهوائي واحدة من التقنيات الحيوية الواعدة لإنتاج طاقة نظيفة(الغاز الحيوي) والذي يستخدم كوقود، أو يستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية، و الحصول على السماد العضوي كأهم منتج مادي وكذلك جمع غاز الميثان الذي يفوق تأثيره تأثير ثنائي أكسيد الكربون على ظاهرة البيت الزجاجي، إضافة إلى الحصول على بيئة نظيفة والحد من انتشار الحشرات والأمراض، إضافة لكون هذه التقنية ذات قدرة عالية في المساهمة الكبيرة في التنمية الريفية[2].

الهضم اللاهوائي: تعرف عملية الهضم اللاهوائي بأنها عملية تحلل المواد العضوية من مصادر نباتية أو حيوانية بفعل الأحياء الدقيقة (ميكروبات) في غياب الأكسجين . ينتج عن هذه العملية خليط غازي يسمى الغاز الحيوي أهم مكوناته غازي

الميثان(CH_4)، وثاني أكسيد الكربون(CO_2)، وتتراوح نسبة وجودهما في الخليط بين 75–50% بالتوالي ، بالإضافة إلى مخلفات مستقرة نسبياً تعرف بسماد الغاز الحيوي وهي تحتوي على جميع العناصر الغذائية للمادة العضوية المخمرة ونسبة لنوع المادة العضوية المستخدمة ، قد يحتوي الغاز الحيوي على نسب ضئيلة أو بالأحرى آثار لغازات الهيدروجين، النيتروجين وكبريتات الهيدروجين[3].

محصول البرتقال:

تستخدم الحمضيات، بأنواعها، في سورية، للاستهلاك المحلي إما طازجة أو على شكل عصائر ونسبة بسيطة منها تصدر للخارج (لدول الخليج وبعض دول أوروبا)، علماً أن عملية تصنيع العصير تترك مخلفات بنسبة 70–60% من وزنها على الأقل مما يترك كمية كبيرة من المخلفات تتطلب المعالجة.

إن أكثر الأصناف إنتاجاً في سورية من الحمضيات هو صنف البرتقال أبوصرة وهو يشكل حوالي 21.9 % من إجمالي إنتاج الحمضيات، يليه صنف البرتقال اليافاوي بما يعادل 18.11%، ثم صنف البرتقال الفالنسيا بنسبة تصل إلى 13.4 %، جميع هذه الأصناف تنتمي إلى مجموعة البرتقال والتي تساهم بحوالي 61.34 % من إجمالي إنتاج الحمضيات في سورية[4].

يتم إنتاج البرتقال بشكل أساسي للاستهلاك الطازج أو الحصول على العصير، وأيضاً في صناعة التعليب لإنتاج المرملاد والزيوت العطرية، ويتم تصنيع 85 % من البرتقال لإنتاج العصير مما يخلف أطناناً من المنتجات الثانوية، وتستحوذ المنتجات الثانوية منذ مدة على اهتمام كونها مادة عضوية غنية بالكربوهيدرات والألياف والمواد المغذية.

قام بعض الباحثين بتقييم مردود العصير لبعض أصناف البرتقال المزروعة في سورية (أبو سرة، الماوردي، فالنسيا، شموطي)حيث بينت النتائج أ ن صنف فالنسيا كان الأعلى بمردود العصير فبلغ 55.16 % [5].

بعض الدراسات والأبحاث التي تناولت طرق إنتاج الغاز حيوي من مخلفات البرتقال والخلط بين المخلفات العضوية:

إن احتواء مخلفات قشور البرتقال على الكربوهيدرات يساهم في زيادة التحلل البيولوجي لها مما يزيد إنتاج الغاز الحيوي ويرفع نسبة غاز الميثان فيه، حيث أن قشور البرتقال تحتوي بشكل عام حوالي 74,5% كربوهيدرات،7,7%بروتين[4]، و تم حساب كمية الغاز الحيوي الناتجة نظرياً في التجربة حيث قدرت [LN/kg VS] 450 وذلك يعود لامتلاكها القدرة العالية للتحلل البيولوجي يجعل من الضروري استثمار الطاقة الكامنة فيها، بالإضافة لتلافي الأثر السلبي لتراكمها والذي يخلق مشاكل عديدة[7].

في دراسة أجريت على الهضم اللاهوائي لقشور البرتقال في ظروف درجة الحراة 55C° وباستخدام مخمر يعمل بنظام الدفعة الواحدة (batch)، كان متوسط إنتاج غاز الحيوي [LN /Kg VS] 408، وذلك بعد 50 يوماً من بدء عملية الهضم اللاهوائي. أشار الباحثان إلى أن الإنتاج الجيد للغاز الحيوي يعود سببه إلى احتواء قشور البرتقال على نسبة عالية من المواد العضوية، والتي وتمتلك مجموعة متنوعة من البولميرات الكربوهيدراتية [8].

أجريت تجربة على الهضم اللاهوائي لمخلفات تصنيع البرتقال، مع مخلفات نبات الجاتروفا (تفل البذور بعد استخلاص الزيت منها)، ضمن ظروف درجات الحرارة المعتدلة C° 32–27، وفق أربع نسب للخلط في أربع مخمرات مخبرية، وأظهرت البيانات التجريبية أقصى إنتاج تراكمي للغاز بقيمة [L] 1,140 عند الخلط بنسبة(60% مخلفات

برتقال:30% مخلفات بذور الجاتروفا)، وكانت نسبة غاز الميثان في الغاز الحيوي 75%، أما الراسب الناتج فكان سمادا زراعياً، أظهرت التجربة أن للتخمر المشترك أهمية عالية تكمن في إمكانية التحكم بالنسبة C/N، فهو يوفر توازن الغذائي أفضل للبكتريا، وبالتالي يحسن أداء الهضم اللاهوائي، ويزيد إنتاجية الغاز الحيوي ونسبة الميثان[9].

أما فيما يتعلق بالهضم اللاهوائي لمخلفات تصنيع الحمضيات ككل، فقد أُجري اختبار للهضم اللاهوائي لمخلفات الحمضيات مخبرياً، وكانت نسبة المادة الجافة في المادة المضافة (TS) 4,6% ونسبة المادة العضوية (VS) 4.3%، وكان العائد التراكمي لغاز الميثان [L/g VS]0,28 بعد 10أيام من بدء الهضم، ووصلت إلى مستوى ثابت 0.36 [L/g VS] بعد 30يوماً، وكان 90% من إنتاج غاز الميثان قد أنتج في الفترة بين 15– 20 يوماً [8].

إن الهضم المشترك للمخلفات النباتية مع روث الحيوانات يزيد كفاءة إنتاج غاز الميثان، حيث أنه يوفر المغذيات اللازمة لنمو البكتريا، وخاصة بكتريا الميثانوجين –المنتجة لغاز الميثان– في المخمر، مما يؤدي لاستقرار عملية الهضم اللاهوائي، فعندما تم خلط روث الأبقار مع مخلفات المطبخ أدى ذلك لزيادة كبيرة في إنتاجية غاز الميثان بنسبة تتراوح بين 47%–24 مقارنة فيما لو تم تخمير مخلفات المطبخ بشكل منفرد [10].

في بحث تم الخلط فيه بين مخلفات الأبقار والمخلفات الزراعية بنسب مختلفة حُقق أعلى إنتاج لغاز الميثان عند خلط مخلفات الأبقار مع مخلفات الخضار والفواكه حيث بلغ [LN/Kg VS] 450 بنسبة خلط(50;50) [11] .

أجرى الباحث ملوك تجربة لاختبار الهضم اللاهوائي المشترك لمخلفات تصنيع البصل مع روث الأبقار بنسب مختلفة، بنتيجة التجربة تفوقت المعاملة 100% بصل على باقي المعاملات معنوياً في إنتاج الغاز الحيوي، حيث أعطت [LN/KgVS] 168، ولم تؤدي

إضافة الروث إلى زيادة معنوية في إنتاج الغاز الحيوي، وقد يعود السبب إلى احتواء هذه المخلفات على الكربوهيدرات سريعة الهضم (سكر 13% ، النشاء 20%)، ومن ناحية أخرى تلعب النسبة C/N (24.6) في مخلفات البصل دوراً هاما في استقرار عملية الهضم اللاهوائي، وزيادة إنتاج الغاز الحيوي والميثان، حيث أن هذه النسبة كانت ضمن الحدود المثالية، والملائمة لعملية الهضم اللاهوائي [12]، حيث أن تركيز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للدهن الخام قد بلغ 71 % ، بينما كان تركيز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي للبروتين61 % [13] .

إن الأسمدة العضوية كواحدة من نواتج الهضم اللاهوائي يمكن أن تعود بنتائج إيجابية على النظام الزراعي وزيادة الإنتاج بشكل عام، بسبب المحتوى العالي من المغذيات والهرمونات والأنزيمات.

تتكون المخلفات الناتجة عن تصنيع البرتقال من (القشور، أغشية اللب، البذور)، ونسبة المادة العضوية في المخلفات21%–17، ويرمز للمخلفات في التجارب(OPW) اختصاراً للكلمات Orange peel waste، ووجد أن استخدامها كعلف للحيوانات ذو قيمة منخفضة وإن عملية التجفيف ليست اقتصادية بسبب احتواء هذه المخلفات على رطوبة عالية [8].

نستنتج مما سبق ذكره أن كمية المخلفات كبيرة وهي ذات محتوىً عالٍ من المواد العضوية، وفي حال تم استخدامها لإنتاج الغاز الحيوي يمكن أن تساهم في تغطية جزء كبير من الاحتياجات الحرارية، والكهربائية اللازمة لتصنيع العصير، أو الاستفادة منها في تغطية احتياجات المزارع من الطاقة فيما لو وزعت على المزارع القريبة.

2-هدف البحث:

قياس الإنتاج الأعظمي للغاز الحيوي الناتج من تخمير مخلفات تصنيع البرتقال.

3- مواد وطرائق البحث:

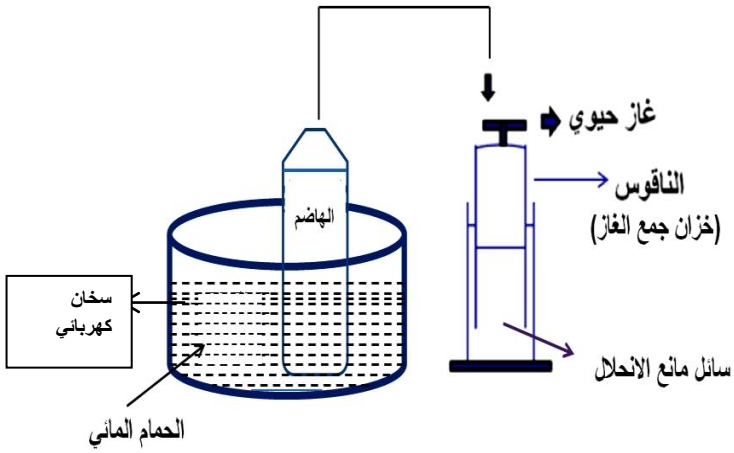
3-1 - تصميم المخمر اللاهوائي:

تمت التجربة في وحدة تخمير مكونة من أربع وحدات تخمير مخبرية سعة كل منها ليتر واحد، موضوعة في حمام مائي، وتمت تغذية المخمرات الأربع وفق نظام التغذية دفعة واحدة، ويوضح الشكل(1) وحدة الهضم المخبرية المستخدمة [14]، و الشكل(2) يوضح صورة فوتوغرافية لوحدة الهضم المخبرية المستخدمة في التجربة، حيث يتكون كل مخمر من المخمرات من المكونات التالية:

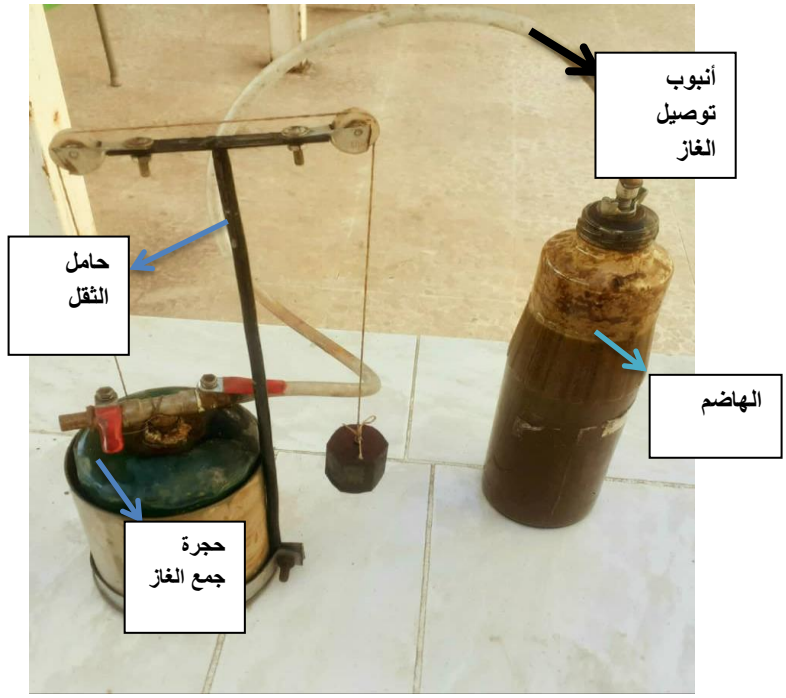
- فتحة علوية لإدخال مواد التجربة مزودة بإطار مطاطي يمنع دخول الهواء خلال التجربة.
- أسطوانة جمع الغاز: تكون مملوءة بسائل مانع للانحلال، ومزودة بناقوس، وبثقل مساوٍ له، حيث يقاس حجم الغاز بمقدار ارتفاع الناقوس تحت تأثير حجم الغاز المنطلق، وذلك بواسطة مسطرة مدرجة دقيقة.
- أنبوب مطاطي لإيصال الغاز لأسطوانة جمع الغاز.

وتم تزويد الحمام المائي بترموستات لضبط حرارة التجربة غلى 37.5C°.

الشكل (1) يبين مكونات وحدة الهضم اللاهوائية المخبرية المستخدمة[14]



الشكل(2) يبين صورة فوتوغرافية لوحدة الهضم المخبرية المستخدمة في التجربة



3-2 - تحضير العينات:

a) عينة البرتقال: أخذت عينة ثمار البرتقال من السوق المحلية وطبقت آلية تحاكي آلية استخراج العصير بالضغط الميكانيكي في المصنع ، ومن ثم تقطيع العينة بأبعاد (0.5-0.3سم) لزيادة أسطح التلامس أثناء عملية الهضم اللاهوائي، مما يسهل و يسرع عملية التحلل البيولوجي، حيث يلعب حجم المخلفات دوراً هاماً في زيادة إنتاج غاز الميثان [15].

b) عينة روث الأبقار: تم جمع عينات من مخلفات الأبقار من مزرعة الأبقار في الثانوية الزراعية في مدينة السلمية.

تم وضع العينات في أكياس بلاستيكية وحفظها في حرارة 4 درجة مئوية حفظها شروط VDI [16].

c) البادئ: وهو عبارة عن الراسب الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي في وحدة الهضم، و يستخدم البادئ بشكل عام لتسريع عملية الهضم وإنتاج الغاز الحيوي [15].تم استخدام بادئ متشكل من تخمير روث الأبقار في نهاية زمن الهضم اللاهوائي وتم حفظه في ظروف لاهوائية لحين الاستخدام.

3-3-التحاليل الكيميائية للعينات:

تقدير الرطوبة: يؤخذ وزن معلوم من العينة، ويجفف حتى ثبات الوزن في فرن، ويمثل الفقد في وزنها محتوى العينة من الرطوبة.

تعيين الرماد و المادة العضوية: إن تقدير محتوى العينة من المعادن يتم بتقدير محتواها من الرماد وهو البقايا اللاعضوية المتبقية بعد حرق المادة العضوية، وتم الكشف عن تواجد العناصر المعدنية بالعينات بجهاز الامتصاص الذري.

تقدير الصوديوم والبوتاسيوم الذائبين: بعد ترميد العينة يذاب الرماد بحمض كلور الماء وبعد تسخين خفيف نرشح ثم يتم قياس الصوديوم و البوتاسيوم بواسطه جهاز Flame photometer.

تعيين العناصر المعدنية: ترمد العينة أولا ويذاب الرماد في حمض كلور الماء ثم تقدر العناصر المعدنية بقياس طيف الامتصاص الذري.

تقدير السكاكر بالمعايرة الحجمية(طريقة لان واينون): يتم تعيين السكاكر بطرائق المعايرة الحجمية التي تعتمد على استعمال محلول كبريتات النحاس القلوية التي ترجعها السكاكر إلى أكسيد النحاس الأحمر. في هذه الطريقة يعين حجم محلول السكر اللازم لإرجاع حجم معلوم من محلول فهلنغ باستعمال أزرق المتيلين كمشعر داخلي.

تقدير الآزوت والبروتين الكلي (كلداهل): يتم تقدير الأزوت الكلي في العينة و تحويل النسبة المئوية للآزوت إلى بروتين على فرض أن كل الآزوت في العينات على شكل بروتين، وباستعمال عامل يعتمد على النسبة المئوية للأزوت في بروتين الغذاء ويعادل6.25. يتم تحويل الأزوت في المواد الأزوتية إلى نشادر وذلك بهضمهما مع حمض الكبريت المركز، ومن ثم تقطير النشادر بوجود وسط قلوي، وفي المرحلة الأخيرة تتم المعايرة بحمض كلور الماء.

تقدير النشاء:تعتمد الطريقة على استخدام جهاز الدوران النوعي(polarimeter) للسكاكر وذلك بقياس الاستقطاب الضوئي للمحلول السكري بعد المعالجة.يتم إضافة حمض كلور الماء المركز و محلول من خلات التوتياء مع فيروسيانات البوتاسيوم إلى العينة وبعد التنقية والترشيح يتم قياس قيمة الاستقطاب الضوئي، وذلك كمرحلة أولى.

وفي المرحلة الثانية يتم حل العينة بالكحول الإيتيلي ويخض المحلول ضمن حمام مائي ثم يبرد ويرشح وتقاس قيمة الاستقطاب الضوئي. قيمة النشاء في العينة هي عبارة عن الفرق بين القيمتين مضروب بعامل تصحيح معين.

تقدير الدهن في العينة بجهاز سكسوليه: يقوم مبدأ الجهاز على استخلاص اللبيدات من العينة بواسطة الهكسان.

تقدير الألياف الخام: تشكل الألياف الخام بعد هضم العينة بحمض الكبريت وماءات البوتاسيوم راسبا مؤلفا من مادة السيللوز والهيميسللوز واللغنين .وعند معالجة هذا الراسب المتبقي بالتجفيف ثم الترميد نحصل على كربوهدرات متبقية.

يتم وضع العينة في بوتقة تركب على جهاز استخلاص الألياف(نوع سيليكا إسباني)، ثم يضاف حمض الكبريت وتسخن البوتقة ثم يتم تفريغ البوتقة بالترشيح عبر مضخة (فاكيوم)، ثم نضيف ماءات البوتاسيوم ونكرر العملية.يتم تقدير النسبة المئوية للألياف بعد تجفيف وترميد العينة المتبقية في البوتقة.

3-4-الخلطات:

تم تحديد الكميات التجريبية لعينات التجربة وفق المواصفات الألمانية القياسية [16]والتي اعتمدت من قبل الجامعات العالمية:

1- أن لا تتجاوز المادة العضوية الموجودة في البادئ 2% من وزنه وفقاً للمواصفات الألمانية القياسية.

2- أخذ البادئ من مخمر سابق بعد أن ينخفض معدل إنتاج الغاز الحيوي فيه إلى حدوده الدنيا وذلك كون إنتاج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي يتناسب طرداً مع

التفكك المكروبيولوجي للمادة العضوية، وبالتالي مع انخفاض المادة العضوية تنخفض كمية الغاز الحيوي.

يتم حساب وزن العينة Ms الواجب إضافتها إلى وسط الهضم بالغرام بحيث تتحقق الشروط السابقة، وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$\frac{Ms * Cs}{Mo * Co} \leq 0{,}5$$

إذ أن :

Ms: وزن العينة الواجب إضافتها g Cs : تركيز المادة العضوية في العينة المدروسة VS/FM وتؤخذ كنسبة مئوية.

Mo :وزن وسط الهضم g Co : تركيز المادة العضوية في وسط الهضم VS/FM وتؤخذ كنسبة مئوية

FM المادة الخام بدون أية معالجة.

ويبين الجدول التالي(1) كمية المادة المضافة من كل عينة وفق نسب الخلط المختلفة واعتماداً على المعادلة السابقة لاختيار نسبة الخلط الأفضل:

الجدول(1) كمية المادة المضافة من كل عينة وفق نسب الخلط المختلفة

الخلطات	OPW% مخلفات تصنيع البرتقال	CW% روث الأبقار	OPW [g] DM	CW [g] DM	IM البادئ FM [ml]
1	100%	0	8.51	0	800
2	75%	25%	6.4	2.3	800
3	50%	50%	4.26	4.3	800
4	25%	75%	2.3	7.7	800
5	0	100%	10.3	0	800

3-5 تجارب الهضم اللاهوائي: تم إجراء التجارب في مخابر كلية الزراعة في مدينة السلمية وذلك ضمن درجة الحرارة 37 [C°] وهي الدرجة المثالية لنشاط البكتريا في المخمرات. وتم إجراء ثلاثة مكررات لكل نسبة خلط.

تم تحديد حجم الغاز الحيوي الناتج من خلال قياس ارتفاع الناقوس الناتج عن تدفق الغاز الحيوي إلى الخزان، وكررت عملية قياس ناتج الغاز الحيوي ثلاث مرات للعينة المدروسة عند كل نسبة خلط، وتم قياس حجم الغاز الحيوي الناتج من البادئ بشكل مستقل، وطرحت كميته من كمية الغاز الحيوي الناتج من تخمر العينة مع البادئ، وذلك

لتحديد كمية الغاز الحيوي الناتج من العينة، وتم قياس حجم الغاز الحيوي في لتر نظامي لكل واحد كيلو غرام من المادة العضوية في المادة الجافة [LN/ Kg VS].

أجريت عملية تحريك العينة والبادئ يدوياً عن طريق رج المخمرات بشكل يومي وذلك لتحاكي المخمرات الريفية، تم التحري عن نوعية الغاز الحيوي بدءاً من اليوم الخامس من عملية الهضم اللاهوائي وقيس حجمه في الشرطيين النظاميين من الحرارة [K] 273، والضغط 1013[ميلي بار].

تم تحليل الغاز الناتج باستخدام جهاز تحليل الغازات.

3-6 التحليل الإحصائي:

أجري التحليل الإحصائي للنتائج باستعمال برنامج التحليل الإحصائي SPSS، وفق تصميم One way- ANOVA ، وتم تحليل البيانات واستخدام الانحراف المعياري لمقارنة الفروق المعنوية بين البيانات حيث حُسبت قيمة أقل فرق معنوي (LSD) بين العوامل المدروسة لمقارنة الفرق بين المتوسطات عند مستوى ثقة 5% .

4- النتائج ومناقشتها:

الهضم اللاهوائي لمخلفات تصنيع البرتقال و روث الأبقار بدون خلط:

إنتاج الغاز الحيوي لكل من مخلفات تصنيع البرتقال و روث الأبقار: تم قياس متوسط الإنتاج الكلي من الغاز الحيوي و غاز الميثان لمعاملات التجربة و عرضها في الجدول(2) الذي يظهر متوسط إنتاج الغاز الحيوي و غاز الميثان لكل معاملة من معاملات التجربة:

الجدول(2) متوسط إنتاج الغاز الحيوي لمعاملات التجربة

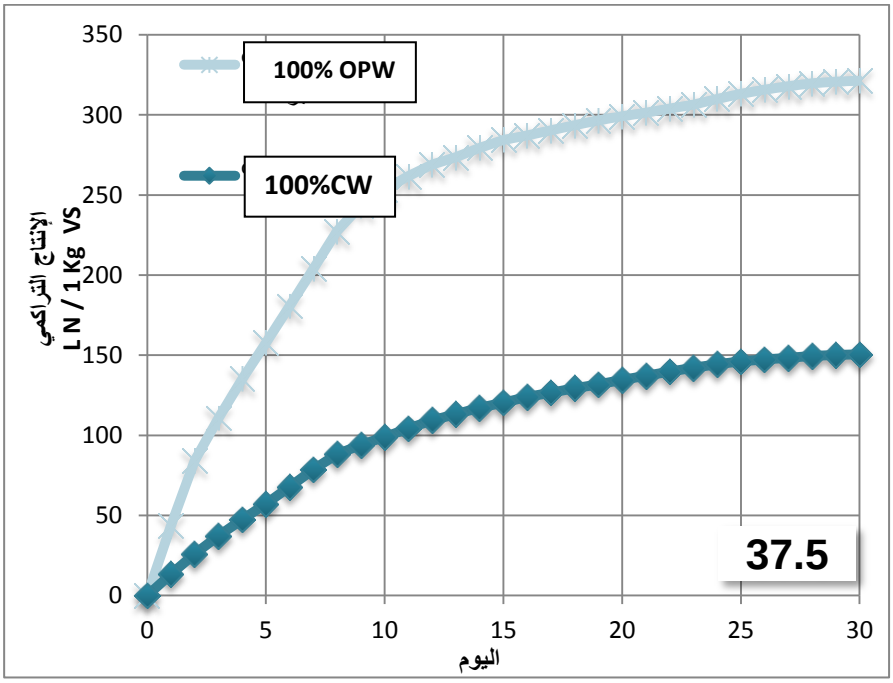
العينات	عدد المكررات	متوسط إنتاج الغاز الحيوي LN/Kg VS	متوسط إنتاج غاز الميثان LN/Kg VS
OPW100%	3	325	176.7
Mix1	3	303.3	166.7
Mix2	3	260	149
Mix3	3	196.3	109.8
CW100%	3	138.3	84.2

دلت الدراسة الإحصائية وجود فرق معنوي في كمية إنتاج الغاز الحيوي في المعاملة (100%OP)، و بين المعاملة (100%CW) حيث تفوقت معاملة مخلفات تصنيع البرتقال في إنتاج الغاز الحيوي على معاملة مخلفات الأبقار بنسبة 57% ، ففي مخلفات الأبقار يتحول قسم من المواد الليغنوسيللوزية في معدة المجترات إلى معقد كربوهيدراتي ليغنيني ذائب وقسم آخر يتم هضمه مما يقلل نسبة الغاز الحيوي [17].

حيث أن احتواء مخلفات تصنيع البرتقال على الكربوهيدرات (74,5% كربوهيدرات) ساهم في زيادة التحلل البيولوجي لهذه المادة [18]، وأدى إلى زيادة إنتاج الغاز الحيوي بشكل ملحوظ، حيث نلاحظ في السطر الرابع وجود فرق معنوي بين إنتاج الغاز الحيوي من المعاملة 100%OPW و المعاملة 100%CW.

يبين الشكل (4) الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي لعينة مخلفات تصنيع البرتقال و عينة روث الأبقار حيث أنه قيس الإنتاج الأعظمي من الغاز الحيوي بعد وضع عينات مخلفات تصنيع البرتقال و روث الأبقار في وحدات الهضم المخبرية في ظروف الحرارة 37.5درجة مئوية، وقد بدأ إنتاج الغاز الحيوي من اليوم الأول لكلتا العينتين، و بلغت كمية الغاز الحيوي الناتجة عن الهضم اللاهوائي لعينة مخلفات تصنيع البرتقال[L_N/KgVS]325، وفيما بلغت [L_N/KgVS] 138.3 لعينة روث الأبقار، وذلك خلال زمن الهضم وقدره 30يوماً.

الشكل(3) يبين مخططا بيانياً لمنحني الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي لعينة مخلفات قشور البرتقال وعينة مخلفات الأبقار



يعود السبب في الإنتاج المرتفع من الغاز الحيوي لعينة مخلفات تصنيع البرتقال مقارنة مع عينة مخلفات الأبقار بسبب احتوائها على نسبة مرتفعة من الكربوهيدرات حيث بلغت نسبتها 70.5%من المادة الجافة بينما بلغت نسبة المواد الكربوهيدراتية في روث الأبقار 21.4% في المادة الجافة، و تتصف المواد الكربوهيدراتية بقدرة عالية على التحلل وهذا يتوافق مع ما تُوصل له نتيجة البحث في أن المواد الغنية بالمواد الكربوهيدراتية تؤدي لزيادة إنتاج الغاز الحيوي بنسبة [19]40%، ونلاحظ انخفاض نسبة الكربون في روث الأبقار، والذي يفسر بأن معظم الكربون القابل للتحلل يتم هضمه في القناة الهضمية بواسطة الأحياء الدقيقة الموجودة فيها [2]، وهذا يفسر زيادة إنتاج الغاز الحيوي في عينة مخلفات قشور البرتقال عنه في عينة مخلفات الأبقار.

تتوافق نتيجة البحث مع الدراسة التي أجريت على الهضم اللاهوائي لمخلفات تصنيع البرتقال حيث بلغ إنتاج الغاز الحيوي من مخلفات تصنيع البرتقال[L_N/KgVS] 408 على حرارة 55 مئوية وكان محتوى القشور من الكربوهيدرات 74.5% وكان 90% من الإنتاج الكلي للغاز الحيوي خلال 15–10 يوماً [20]. ويعود السبب في ارتفاع إنتاج الغاز الحيوي عنه في تجربتنا إلى أن ارتفاع درجة الحرارة إلى 55 مئوية يؤدي لزيادة إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 30% [2].

لم تساهم إضافة الروث إلى مخلفات تفل الزيتون في تحسين نسبة الغاز الحيوي بل انخفضت بقيم تتراوح بين 16.7%–7.5 مقارنة مع الهضم اللاهوائي لتفل الزيتون بشكل منفرد [14]، و قد يكون السبب في تجربتنا في عدم تأثير إضافة مخلفات الأبقار مقارنة بتخمر قشور البرتقال بشكل منفرد هو المحتوى العالي من المواد الكربوهيدراتية في مخلفات تصنيع البرتقال مقارنة مع مخلفات الأبقار.

هذا يتوافق مع دراسة أجريت على الهضم اللاهوائي المشترك لمخلفات تصنيع البصل مع روث الأبقار بالنسب (100:0,75:25,50:50,25:75,0:100)% على الترتيب، حيث أنه بنتيجة التجربة تفوقت المعاملة 100% مخلفات تصنيع البصل على باقي المعاملات معنوياً في إنتاج الغاز الحيوي، حيث أعطت [LN/Kg VS]168، ولم تؤدي إضافة الروث إلى زيادة معنوية في إنتاج الغاز الحيوي، وقد يعود السبب إلى احتواء هذه المخلفات على الكربوهيدرات سريعة الهضم (سكر 13% ، النشاء 20%)، ومن ناحية أخرى تلعب النسبة (C/N =24.6) في مخلفات البصل دورا هاما في استقرار عملية الهضم اللاهوائي، وزيادة إنتاج الغاز الحيوي والميثان، حيث أن هذه النسبة كانت ضمن الحدود المثالية، والملائمة لعملية الهضم اللاهوائي، مع الأخذ بعين الاعتبار احتواء روث الأبقار على كميات عالية من الألياف صعبة التحلل وصلت إلى (20%)، والتي أدت

إلى انخفاض القدرة على التحطم البيولوجي للروث، وعرقلة عملية الهضم عند الخلط مع مخلفات البصل، تجدر الإشارة هنا إلى أن نسبة غاز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن المعاملة 100% بصل كانت منخفضة 55%، وقد يعود السبب إلى المحتوى المنخفض من الدهن الخام في مخلفات البصل (% 2.1) ، وأيضاً المحتوى العالي من البروتين الخام في هذه المخلفات (15.1%) [14].

لدى الهضم المشترك لزرق الدواجن مع مخلفات البرتقال تفوقت المعاملة(75%op:25%PM) على المعاملة (100%OPW)، حيث بلغ إنتاج الغاز الحيوي [ml] 768، 218 على الترتيب لكل غرام VS وقد يكون السبب في ارتفاع إنتاج الغاز الحيوي في الخلطة في هذه التجربة أن الهضم المشترك خفف من تأثير مركب الليمونين وهو يشكل نسبة 90% من الزيت العطري الموجود في الخلايا العطرية وهو مركب مضاد للميكروبات تشكل نسبته 3%–2 من المادة الجافة للبرتقال وهو شديد السمية في عملية الهضم اللاهوائي[21]. بينما في تجربتنا فإن هذا المركب يتم استخلاصه بالتزامن مع عملية الحصول على العصير من ثمرة البرتقال.

وتتوافق نتيجة البحث مع ما توصل له في الدراسة الذي تم فيها الهضم اللاهوائي لروث الأبقار في حرارة 37.5C° حيث بلغت كمية إنتاج الغاز الحيوي الناتجة 153[LN/Kg VS] عند الهضم اللاهوائي بشكل منفرد[12]. بينما بلغت [LN/Kg VS] 82 في تجربة أخرى أجريت عن الهضم اللاهوائي للروث في ظروف الحرارة المعتدلة 37.5C° [2]، ويعود الاختلاف في القيم لاختلاف نوع التغذية المقدمة والنوع والسلالة حيث تلعب هذه العوامل دورا هاما في كمية إنتاج الغاز الحيوي الناتج عن هضم مخلفات الماشية[2].

نوعية الغاز الحيوي:

تم قياس نسبة الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن عينات التجربة بواسطة جهاز تحليل الغازات و يبين الجدول (4) نسبة غاز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي لمخلفات تصنيع البرتقال(100%OPW) و مخلفات الأبقار(100%CW) حيث كانت نسبة غاز الميثان في مخلفات تصنيع البرتقال 55% ، فيما بلغت 60% في مخلفات الأبقار بينما شكلت النسب المتبقية غاز ثاني أوكسيد الكربون والأكسجين وكبريت الهيدروجين بتركيز بسيط، يعود السبب في انخفاض نسبة غاز الميثان في مخلفات تصنيع البرتقال إلى احتواءها تركيز منخفض من البروتين الخام والدهن الخام حيث بلغت نسبتيهما في المادة الجافة (3.6%) و(1.2%) على الترتيب.

الجدول(4) متوسط تركيز غاز الميثان في المعاملات100%OPWو100%CW

المعاملة	نسبة الميثان
OPW 100%	%55
CW 100%	%60

يعود السبب في ارتفاع نسبة غاز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي لمخلفات الأبقار بسبب احتوائها نسبة أعلى من الدهن الخام في المادة الجافة 4.1% فيما بلغت 1.2% في المادة الجافة في مخلفات تصنيع البرتقال وأيضا بسبب احتواء مخلفات روث الأبقار نسبة بروتين خام أعلى 11.1% في المادة الجافة مقارنة مع نسبتها 3.6% فيي مخلفات تصنيع البرتقال، حيث أشار البحث [21] أن تركيز الميثان في الغاز الحيوي بلغ 71%عند هضم الدهن الخام و بلغ 60% عند هضم البروتين الخام بشكل منفرد.

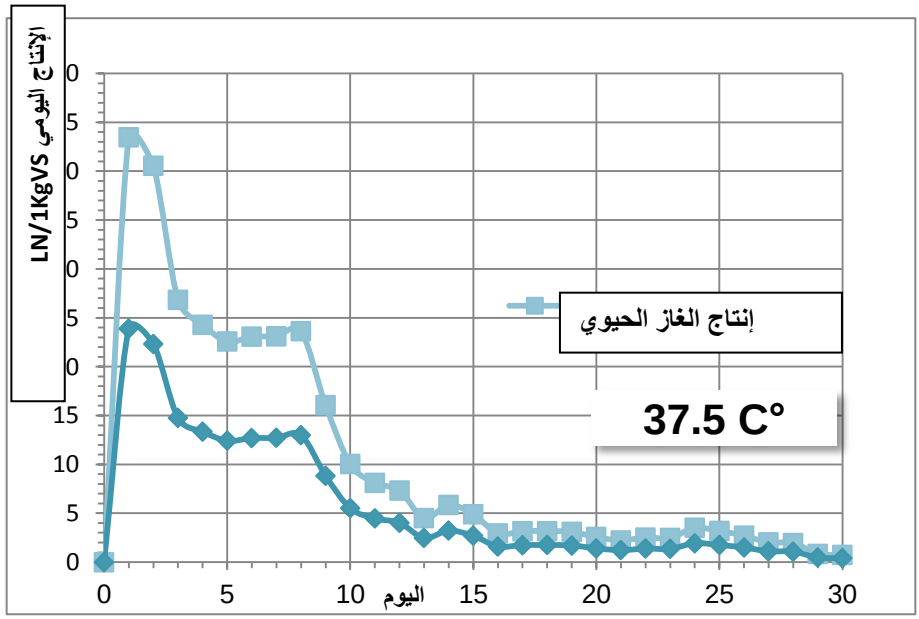
وحيث أنه يتم إنتاج كميات متساوية من غاز الميثان و CO_2 من الهضم اللاهوائي للسيللوز والنشاء و السكريات، بينما هضم الدهون والبروتينات يعطي نسبة أعلى من غاز الميثان في الغاز الحيوي[14].

زمن الحضانة الهيدروليكي(HRT):

تمت دراسة إنتاج الغاز الحيوي من العينات في الساعة لتحديد زمن الحضانة الهيدروليكي(HRT) ويبين الشكل(4) إنتاج الغاز الحيوي وغاز الميثان لعينة مخلفات تصنيع البرتقال(100%OPW) خلال زمن الهضم وقدره 30يوماً، ونلاحظ أن إنتاج الغاز الحيوي قد بدأ من اليوم الأول وكان الإنتاج عالٍ في اليوم الخمس أيام الأولى ثم بدأ بالانخفاض حتى اليوم العاشر ومن ثم يعاود الانخفاض التدريجي حتى المرور بمرحلة استقرار حيث بلغت أقل قيمة له في اليوم 23 مستمرا بالاستقرار حتى نهاية عملية الهضم اللاهوائي، ويعزى الإنتاج العالي من الغاز الحيوي في الأيام الأولى بسبب المحتوى العالي من الكربوهيدرات في مخلفات تصنيع البرتقال، وأيضا فإن احتواء البادئ على كمية عالية من البكتريا في بداية التجربة سرع من عملية تفكك المواد العضوية[8] أما الانخفاض الملاحظ في الأيام 10-9-8 قد يعود سببه إلى استهلاك الركيزة السريعة التحلل من قبل البكتريا، وبالمقابل فإن هذا الاستهلاك للركيزة أدى لانخفاض نشاط البكتريا بسبب انخفاض نسبة المواد المغذية، و أيضا قد يعود إلى تراكم مواد مثبطة وهذا يوافق ما توصل له الباحث [18] الذي أشار إلى أن تراكم الحموض الدهنية المتطايرة الناتجة عن التحلل البيولوجي للعينات يسبب تثبيط عملية الهضم اللاهوائي نتيجة انخفاض الPH بالإضافة لكون مخلفات تصنيع البرتقال المستخدمة في التجربة أعطت PH منخفضاً حيث بلغ PH=5,3.في حين أن للروث دورا مهماً في تعديل ال PH أثناء عملية التخمر اللاهوائي، حيث أشار الباحث[23] بأن روث الأبقار يؤمن القلوية اللازمة

لتعديل قيم ال PH، حيث أن إضافته إلى خلطة المواد المستخدمة في التخمر اللاهوائي تزيد من النتروجين العضوي والذي يسبب زيادة في تركيز الأمونيا، وهذا بدوره يخفف من أثر الحموضة الناتجة عن تراكم الحموض العضوية داخل المخمر مما يزيد أهمية الهضم المشترك للمخلفات العضوية .

الشكل(4) يبين مخططا بيانياً لمنحني الإنتاج اليومي للغاز الحيوي وغاز الميثان للمعاملة 100%OP



إن ارتفاع نسبة C\N في مخلفات تصنيع البرتقال يعتبر ذو أثر سلبي خاصة في نهاية عملية الهضم بسبب انخفاض كمية الآزوت اللازمة لنمو البكتريا[22]، حيث بلغت نسبة C/N فيها (89:1).دلت التجربة أن 80% من كمية الغاز الحيوي تم إنتاجه خلال 11 يوماً، وبالتالي فإن زمن الهضم المثالي المقترح للمخمر هو 11 يوم، ويفسر الزمن القصير لارتفاع محتوى قشور البرتقال من المواد سريعة التفكك واستخلاص زيت البرتقال من القشور أثناء عملية العصر والذي يعيق عملية الهضم اللاهوائي في حال بقاءه. في

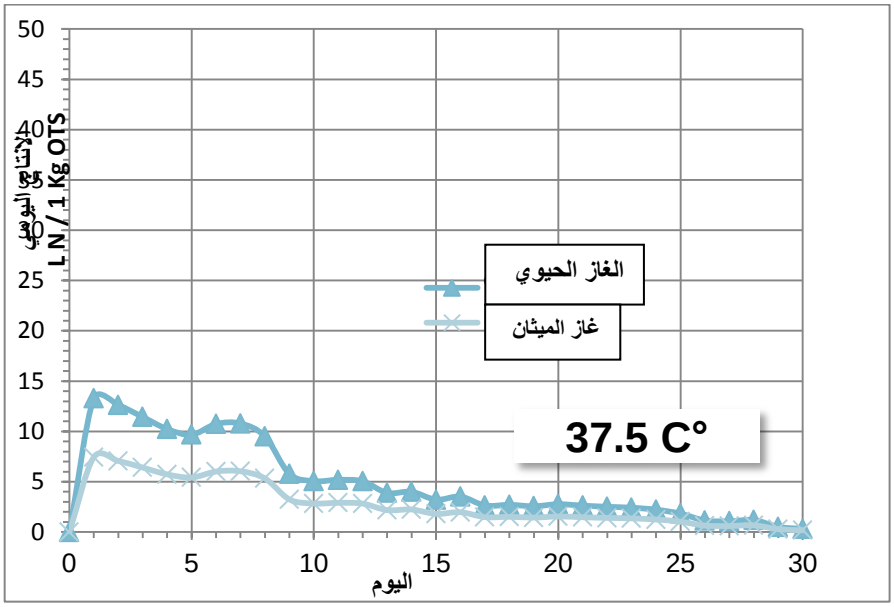
بحث أجري على الهضم المشترك لزرق الدواجن مع مخلفات تصنيع البرتقال، بدأ إنتاج الغاز الحيوي في اليوم الأول للتجربة، و يعزى السبب وجود كمية كبيرة من المواد العضوية القابلة للتحلل والتركيز العالي للميكروبات اللاهوائية في البادئ في بداية التجربة وذلك كون إنتاج الغاز الحيوي يعود إلى محتوى المادة الأولية من المواد العضوية وقابليتها للتحلل، لوحظ في المعاملة 100%OP توقف الإنتاج بشكل نهائي في اليوم 17 قد يعود السبب في ذلك إلى وجود مركب الليمونين الذي يعيق عملية الهضم اللاهوائي [23].

أجري بحث على الهضم اللاهوائي لمخلفات تصنيع البرتقال والتي تعتبر مادة أولية مرغوبة لإنتاج الغاز الحيوي لاحتوائها الكربوهيدرات بنسبة 74.5% ، تمت التجربة على حرارة C° 0.5±35 و كان أعلى إنتاج للغاز الحيوي خلال ال 15 يوماً الأولى ، حيث تناقصت المواد العضوية مع زيادة الوقت وبعد 30يوما كانت الكتلة الحيوية مستقرة ، وتم تحقيق 70%–60 من إنتاج الغاز الحيوي في العشرين يوما الأوليين.

أشارت الدراسات أن تحديد زمن الهضم الأمثل يعتمد على نوع العينات وطريقة معالجتها [8]، وتكمن أهمية معرفة زمن الهضم المثالي في تأثيره على تكاليف إنشاء المخمر حيث أن تقليل زمن الهضم(HRT) يقلل من حجم المخمر، وبالتالي يوفر تكاليف الإنشاء، مع المحافظة على كمية ونوعية الغاز الحيوي الناتجة. يبين الشكل(5) منحني الإنتاج اليومي لمعاملة روث الأبقار100%CW حيث بدأ إنتاج الغاز الحيوي في اليوم الأول من بدء عملية الهضم اللاهوائي لمخلفات الأبقار وكان أعلى معدل له خلال الأيام العشرة الأولى، وازداد معدل إنتاج الغاز الحيوي ليبلغ أعلى قيم له خلال الأيام من 8–2، تم إنتاج 80% من الغاز الحيوي من مخلفات الأبقار خلال 15 يوما من بداية زمن الهضم الكلي، ونلاحظ من الشكل أن منحى إنتاج الغاز الحيوي بدأ

بالانخفاض بشكل شبه مستقر حتى نهاية عملية الهضم، وقد يعود السبب في ذلك إلى احتواء مخلفات الأبقار ألياف صعبة التحلل تحتاج وقت أطول للتفكك خلال عملية الهضم اللاهوائي بالإضافة لما سبق ذكره بأن مخلفات الأبقار تخضع لعملية تخمر لاهوائي أولي الذي في معدة الحيوانات قبل طرحها الأمر الذي يؤدي إلى تحويل المركبات المعقدة إلى مركبات أبسط، إضافة إلى ذلك فإن الدهن الخام الموجود في مخلفات الأبقار يحتاج فترة زمنية أطول للتحول إلى مركبات بسيطة سهلة التفكك.

الشكل(5) يبين مخططا بيانياً لمنحني الإنتاج اليومي لمعاملة روث الأبقار100%CW



5-الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات: تعتبر مادة مخلفات تصنيع البرتقال مادة مناسبة لإنتاج الغاز الحيوي حيث أعطت إنتاجاً عالياً من الغاز الحيوي فقد بلغ حجم الغاز الحيوي الناتج 325[LNKgVS] في ظروف درجة الحرارة 37.5C°، وبلغت نسبة غاز الميثان في الغاز الناتج 55% عند المعاملة(100%) من مخلفات تصنيع البرتقال.

التوصيات:

1- القيام بمزيد من الدراسات التجريبية على مخلفات تصنيع البرتقال كونها مادة جيدة لإنتاج الغاز الحيوي من أجل تحقيق أكبر قدر من الاستفادة من الطاقة الكامنة فيها.

2- متابعة الأبحاث فيما يخص الراسب الناتج و وضع مقاييس تحدد التركيب المثالي للسماد العضوي الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي ودراسة تأثيره على التربة والنباتات.

3- تكثيف الأبحاث حول استغلال مصادر الطاقة المتجددة ووضعها حيز التنفيذ لتعويض النقص في مخزون الطاقة في القطر.

6-المراجع:

1- Sahli.M,Talbi.M,2008-The importance of renewable energy in protecting the environment for sustainable development.Albahethmagazine,vol-6.(In Arabic)

2- Alsleman.KH, Study of the effect of temperature and fermentation of cottonwood with some animal wastes on the production of methane gas. Master Thesis. Rural Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Damascus: Syria(In Arabic)

3- Khois.T.2013. Biogas technologies and their dissemination in the Arab countryside. Arab Center for Studies of Arid Zones and dry Lands: Damascus.(In Arabic)

4-Citrus office. (2017). Latakia Agriculture Directorate, Ministry of .Agriculture and Agrarian Reform(In Arabic)

5-Jamal.N, 2016- Study of the effect of adding the waste powder resulting from the juice of oranges and carrots and some enzymatic improvers on the most important properties of biscuits. Master's thesis. Tishreen University, Faculty of Agriculture, Syria.(In Arabic)

6-Escobedo-Avellaneda, Z.; Gutierrez-Uribe, J.; Valdez-Fragoso, A.; Torres, J.A.; Welti-Chanes, J. (2014). Phytochemicals and antioxidant activity of juice, flavedo, albedo and comminuted orange. J. of Functional Foods, (6), 470 – 481.

7- Wikandari,R. Millati,R. Cahyanto,M,N. & Taherzadeh,M.(2014). BiogasProduction from Citrus Waste by Membrane Bioreactor. Membranes Journal, PP596-607.

8- Özmen,P. & Aslanzadeh,S.(2009). Biogas production from municipal waste mixed with different portions of orange peel. University of Borås, School of Engineering.

9- Elaiyaraju , P.& Partha,N.(2011).Biogas production from co-digestion of orange peel waste and jatropha de-oiled cake in an anaerobic batch reactor. Department of Chemical Engineering. AnnaUniversity,African Journal of Biotechnology Vol. 11(14), pp. 3339-3345.

10-Gashaw,A.& Teshita,A.(2014).Co-Digestion of Ethiopian Food Waste with Cow Dung for Biogas Production. International Journal of Research,Vol-1, Issue-7.

11- Esposito,G. Frunzo,L.& Giordano,A.(2012). Anaerobic co-digestion of organic wastes. Review Paper,Springer Science,Business Media,Puplished on line:05,April ,2012.

12- Malouk, D. 2016. The effect of co-fermentation of onion industry residues with cow residues on the productivity of methane

and organic manure, Master's Thesis, Department of Rural Engineering, Faculty of Agriculture – Damascus University .(In Arabic)

13-Buswell, A. M., and Sollo, F. W., 1948. The mechanism of methane fermentation, J. Amer. chem. Soc., 7, 1778-1780.Energy from citrus wastes in belize.(1991). Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington, Virginia.

14- Alafif.R,Amon.T,2008. Biogas production from olive pomace and livestock waste. Damascus University, Journal of Science.24,16-121.(In Arabic)

15-VDI4630, 2006- Fermentation of organic materials . Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data , fermentation tests. VDI Richtlinien 4630. Düsseldorf, 200.

16- Malouk, D. 2021. Effect of adding crude fat on biogas production from onion waste,Al-Baath University Journal, Volume 43 Issue 10.(In Arabic)

17-Weiland, P., 2010- biogas production: current state and perspectives. Appl microbial biotechnol , 85: 849-860.

18-Angelidaki, I and Ahring, B.K. 1993. Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. Appl Microbiol Biotechnol 1993;38:560-4.

19- Bafrani ,M,P.(2010).Citrus Waste Biorefinery, Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers university of technology,Göteborg,Sweden.

20-Moller, K and Muller, T., 2012.Effcts of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Institute of Crop Science,Fertilization & Soil Matter Dynamics, University Hohenheim, Stuttgartm Germany

21- Dobre.P, Nicolae.F,Matei.F,2014,Main factors affecting biogas production -an overview,University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine,Romanian Biotechnological Letters Vol.19, No3.

22- Bee, T.S., Nithiyaa, M., Sin, L.T., Tee, T.T and Rahmat, A.R., 2013.Investigation of biogas production and its residue with fertilization effect from municipal waste. Pakistan Journal of Biological Science. 16(20): 1104-1112,2013

23-Dias, M. T., Fragoso, R., Duarte, E. 2014. Anaerobic co-digestion of dairy manure and pear waste. Bioresource Technology 164(2014)420-423.