تأثير إضافة الدهن الخام في إنتاج الغاز الحيوي لمخلفات صناعة البصل

داود ملوك* جمال صالح كرك** محمود عبد اللطيف***

*داود ملوك: طالب دكتوراه – قسم الهندسة الريفية كلية الزراعة – جامعة دمشق

موبايل : 0992765291

dawod_81@hotmail.com

**الأستاذ الدكتور جمال صالح كرك: رئيس قسم علوم الأغذية في كلية الزراعة – جامعة الفرات

موبايل: 0937504411

Prof.k.jamal@gmail

*** الدكتور محمود عبد اللطيف: رئيس قسم الهندسة الريفية في كلية الزراعة – جامعة دمشق

موبايل: 0999360280

تأثير إضافة الدهن الخام في إنتاج الغاز الحيوي لمخلفات صناعة البصل

جمال كرك ، محمود عبد اللطيف ، داود ملوك

الملخص

تعد معالجة المخلفات الزراعية الثانوية باستخدام التخمر اللاهوائي خياراً جيداً للحفاظ على بيئة نظيفة ومصدر متجدد لإنتاج الطاقة.

هدف البحث دراسة تأثير إضافة الدهن الخام في إنتاج الغاز الحيوي لمخلفات صناعة البصل (OW)، حيث تمت إضافة الدهن بالنسب (5 – 15 – 30) %.

أجريت التجارب في مجموعة تخمير لاهوائية سعة كل منها لتر واحد، عند درجة حرارة 37.5 C° ولمدة خمسين يوماً.

تراوح حجم الغاز الحيوي الناتج بين 848–342 LN/Kg VS. لوحظ أن إضافة الدهن بنسبة 30% أدت إلى زيادة في إنتاج الغاز الحيوي وصلت إلى 147.9% بالمقارنة مع كمية الغاز الحيوي الناتجة من التخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل بدون إضافة الدهن.

أظهرت النتائج وجود علاقة خطية طرديه بين كمية الغاز الحيوي الناتج ونسبة الدهن في الخليط.

الكلمات المفتاحية: الغاز الحيوي، التخمر اللاهوائي، مخلفات صناعة البصل

The effect of adding fat on biogas production from by-products of onion processing

Karak J , Abdulateef M , Malouk D

Abstract

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

This research aims to investigate the effect of adding fat on biogas production from onion processing waste (OW). ratios of adding fat were (5 – 15 – 30) %.

Eudiometer batch digesters of one litre capacity were used and the temperature was set at 37.5 C°. Hydraulic retention time was 50 days. The amount of produced biogas ranged from 342 to 848 LN/Kg VS. The ideal percentage of adding fat was 30%, which increase the biogas production by 147.9%, compared whit the amount of biogas produced from anaerobic fermentation of (OW) without adding fat. The obtained results also show a linear relation between the amount of the produced biogas and the content of fat in the mixture.

Keyword: Biogas, Anaerobic digestion, By-products from onion processing.

1- المقدمة والدراسة المرجعة:

يتم أثناء التخمر اللاهوائي للمواد العضوية، أولاً حلمهة hydrolysis المواد العضوية المعقدة مثل البروتين والدهون والكربوهيدرات – وذلك بفعل بكتريا التحلل والتخمر – إلى مركبات أبسط (سكريات بسيطة و حموض دسمة وغليسرول وحموض امينية)، ثم تتفكك هذه المركبات لتشكل حموض عضوية بالإضافة إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) وغاز ثاني كبريت الهيدروجين (H_2S) والأمونيا، وذلك خلال مرحلة التحميض acidogenesis (المرحلة الثانية) [2,1].

يبين الجدول 1 أمثلة على منتجات مختلفة من تخمر سكر الجلوكوز خلال مرحلة الحلمهة [3].

الجدول 1 أمثلة على منتجات مختلفة من تخمر سكر الجلوكوز خلال مرحلة الحلمهة

النواتج	التفاعل
Acetate	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
Propionate + Acetate	$3C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4CH_3CH_2COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 2H_2O$
Butyrate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
Lactate	$C6H12O6 \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH$
Ethanol	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH3CH_2OH + 2CO_2$

في المرحلة الثالثة (مرحلة تشكل حمض الخل acetogenesis) تقوم البكتريا اللاهوائية باستهلاك الحموض العضوية (VFA) لتشكيل حمض الخل وغاز ثاني اوكسيد الكربون والهيدروجين.

يبين الجدول 2 تحول بعض الأحماض الدهنية المتطايرة الأساسية إلى حمض الخل CH_3COOH [3].

الجدول 2 تحول بعض الأحماض الدهنية المتطايرة الأساسية إلى حمض الخل CH_3COOH

الركيزة	التفاعل
Propionic acid	$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$
i–butyric acid	$CH_3(CHCH_3)COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
Butyric acid	$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
i–valeric acid	$CH_3(CHCH_3)CH_2COOH + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 3CH_3COOH + H_2$
Valeric acid	$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 3CH_3COOH + H_2$

وفي النهاية تقوم بكتريا الميثان بتحويل المنتجات السابقة إلى غاز الميثان، وذلك خلال مرحلة تشكل الميثان methanogensis، آخر مراحل عملية التخمر اللاهوائي حيث إن 70 %من كمية الغاز تتشكل عن طريق تفكك حمض الخل إلى غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون، وبإرجاع ثاني أوكسيد الكربون بالهدروجين يتم تشكيل الكمية المتبقية كما يتبين في المعادلتين التاليتين: [1، 2].

$$\text{Acetic acid} \xrightarrow{\text{Methane bacteria}} \text{Methane} + \text{carbon dioxide}$$

$$\text{Hydrogen} + \text{carbon dioxide} \xrightarrow{\text{Methane bacteria}} \text{Methane} + \text{water}$$

يتكون الغاز الحيوي بشكل رئيسي من غاز الميثان CH_4 (45 – 70)%، وغاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 (30 – 45)%، وأثار من الهيدروجين وبخار الماء والأوكسجين والأمونيا وغاز ثاني كبريت الهيدروجين H2S [4].

يشتعل الغاز الحيوي دون أن يتصاعد منه دخان مكونا لهب أزرق شديد الحرارة، والطاقة الناتجة من 1 $م^3$ من الغاز الحيوي (نسبة الميتان 65%) تكافئ 0.7 لتر بنزين و 0.6 $م^3$ غاز طبيعي و 0.6 كيلوات/ساعة [5]، والطاقة الحرارية الناتجة عن حرق 0.8 كغ خشب (12% رطوبة). وبالنسبة للاستخدامات المنزلية فإن 1 $م^3$ من الغاز الحيوي تكفي لطهي ثلاث وجبات لعائلة مؤلفة من 5–6 أشخاص [6]. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه

بسبب الصفات الكيمائية والفيزيائية للغاز الحيوي، فإن مواقد غاز البوتان التجارية ليست ملائمة للغاز الحيوي، حيث يلزم 6 لتر من الهواء لحرق لتر واحد من الغاز الحيوي، لذلك نحتاج إلى مواقد ذات فوهات غاز أكبر [7]. الغاز الحيوي أخف من الهواء وتبلغ حرارة الاشتعال له 700 C° ومن الصعب إسالته، وهو غاز عديم اللون يتطاير بالهواء للأعلى كون وزنه أخف من الهواء (نصف كثافة الهواء) [8].

يمكن استخدام الغاز الحيوي كمصدر للطاقة في العديد من التطبيقات، مثل مواقد الطهي وتوليد الكهرباء، وتعتبر تكنولوجيا الغاز الحيوي في وقتنا الراهن، أحد أهم الخيارات الصديقة للبيئة، ليس فقط لإنتاج الطاقة، بل للحصول أيضاً على أسمدة عضوية نظيفة وعالية الجودة [2].

يزرع البصل في سورية وفق نمطين للحصول على البصل الأخضر والبصل الجاف، تصل المساحة المستثمرة سنوياً في زراعه البصل الجاف إلى ستة ألاف هكتار تعطي إنتاجاً يقدر بنحو 110 ألف طن وتتصدر المنطقة الوسطى الإنتاج بنحو ربع الإنتاج السنوي. يعد البصل الجاف أحد أهم المحاصيل الزراعية التي يشتهر بها ريف محافظة حماة كمحصول غذائي له مردود اقتصادي كبير للمزارعين، إذ يعتمد عليه الكثير من مزارعي المحافظة ولاسيما في منطقة السلمية التي تعدّ المنطقة الأنسب لهذه الزراعة. تبدأ زراعة البصل من 15 كانون الثاني وحتى 15 آذار، أما الحصاد فمن بداية شهر آب وحتى 15 أيلول. لمدينه السلمية حضور مهم على خارطة إنتاج البصل في سوريه، وذلك بسبب وجود شركة تجفيف البصل والخضار (معمل البصل)، ويعد معظم إنتاج معمل البصل للتصدير. يبلغ عدد أيام العمل سنوياً 105 أيام بمعدل وسطي 2520 ساعة سنوياً، ويقدر إجمالي البصل الداخل للمعمل سنوياً حوالي 9000 طن ينتج عنها مخلفات تقدر بحوالي (3000) طن سنوياً وهي عبارة عن الرأس والذيل الناتج عن التصريم اليدوي والغلاف الذي تتم إزالته آلياً [9].

حازت الدراسات الخاصة بإنتاج الغاز الحيوي عن طريق التخمر اللاهوائي المشترك مع الدهون اهتماماً واسعاً، حيث تمتلك الدهون أو اللبيدات (دهن – شحم – زيت) قدرة عالية على إنتاج الميثان مقارنة مع بقية الركائز مثل المخلفات النباتية وروث الأبقار والحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي [10]، وتعتبر مواد ملائمة للتحلل المشترك بسبب محتواها العالي من المادة العضوية والقدرة على التحلل البيولوجي [11].

نظراً لكون عملية التخمر اللاهوائي للدهون منفردة غير مجدية بسبب كمياتها الصغيرة نسبياً وارتفاع احتمال التثبيط نتيجة تراكم الحموض الدهنية طويلة السلسلة LCFA، لذلك فإن التخمر المشترك لهذه الدهون مع مواد أخرى هو الخيار الأفضل [12].

حصل فرناندیز وزملاؤه [13] على زيادة في إنتاج الميثان الناتج من التخمر اللاهوائي للمخلفات البلدية الصلبة وذلك بعد إضافة مخلفات صناعة اللحوم (دهن حيواني) بالنسب (4–7–14–21–28)%.

في تجربة للتخمر المشترك للحمأة مع الدهون الناتجة عن تصنيع اللحوم تم إضافة الدهن بالنسب (5–20–28–38–46–55–71)%، كان أعلى إنتاج للميثان للنسبة 46% بزيادة معنوية قدرها 39.9% بالمقارنة مع التخمر المفرد للحمأة [12]

وفي دراسة أخرى للتخمر اللاهوائي المشترك للحمأة مع الدهن (زيت عباد الشمس) تم إضافة الدهن بالنسب (20 – 40 – 60 – 80)%، كان أعلى إنتاج للغاز الحيوي عند إضافة 80%، بزيادة وصلت إلى 190% وذلك بالمقارنة مع التخمر المفرد للحمأة [14].

عندما أضاف غونزالز وزملائه [15] (5 – 15 – 35)% من الدهن الخام إلى المخلفات البلدية الصلبة، حصل على أعلى إنتاج للغاز الحيوي عندما كانت نسبة الدهن المضاف 15%.

بالإضافة إلى الغاز الحيوي، فإن عملية التخمر الاهوائي تنتج راسب والذي يمكن استخدامه كسماد للزراعة، بسبب أن العناصر الغذائية الموجودة في الركيزة الداخلة إلى المخمر تبقى بعد عملية التخمر اللاهوائي بشكل مركبات متاحة للنبات [16]. وإن استخدام الراسب لأغراض الزراعة يجب أن يعتبر عملية استرداد أو كقيمة مضافة لنظام التخمير [17]. يحتوي الراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي على تركيز مرتفع من P و K مقارنه بالأسمدة العضوية التقليدية والكومبوست، لذلك يعتبر استخدامه ملائماً كمكمل لنقص العناصر في التربة، خاصة وأن معظم الفوسفور والبوتاسيوم في الراسب يوجد بالشكل المتاح للنبات [18]. ومن ناحية أخرى إن استخدام الراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي هو مرهون بشكل أساسي بمحتواه من المعادن الثقيلة لذلك يجب أن يخضع لمعايير نوعية صارمة، لقد أشار بونيتا وزملاؤه [16] إلى أهميه تقييم المحتوى المعدني للراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي، نظراً للأخطار البيئية المرتبطة باستخدام هذا الراسب كسماد عضوي.

2- هدف البحث:

هدف البحث إلى دراسة تأثير إضافة الدهن الخام في إنتاج الغاز الحيوي لمخلفات تصنيع البصل (الرأس والذيل والغلاف)، والكشف عن إنتاج الغاز الحيوي.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- العينات: تم جمع مخلفات صناعة البصل من شركه تجفيف البصل والخضار (معمل البصل) في مدينة السلمية، وتم جمع عينات الدهن (دهن حيواني) من أحد المسالخ في مدينة السلمية. تم تفتيت العينات لتصبح بأبعاد (0.3 – 1) سم، وحفظت بدرجة حرارة 4 C° .

3-2- تصميم التجربة: لتحديد تأثير التخمر المشترك في إنتاجية الغاز الحيوي تم تصميم التجربة كما هو مبين في الجدول (3).

وسط التخمر: هو الراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي في وحدة التخمير، ويستخدم لتنشيط وتسريع عملية التخمر. في هذا البحث تم استخدام وسط التخمر الناتج من عملية تخمر لاهوائي لروث الأبقار، تم جمعه من وحدات التخمير في مخابر قسم الهندسة الريفية في كلية الزراعة – جامعة دمشق، وذلك في نهاية زمن التخمر اللاهوائي حيث يكون النشاط البكتيري في أدنى حدوده، وتم حفظه في ظروف لاهوائية.

جدول (3) مخطط التجربة

الخلائط	OW (%)	الدهن الخام (%)	مخلفات البصل (غرام/المادة العضوية)	الدهن (غرام/المادة العضوية)	وسط التخمر (غرام)
OW	100	0	8	0	800
خلطة1	95	5	7.6	0.4	800
خلطة 2	85	15	6.8	1.2	800
خلطة 3	70	30	5.6	2.4	800

OW: مخلفات صناعة البصل

تم إجراء التحاليل الكيميائية على مخلفات صناعة البصل وعلى وسط التخمر كما هو مبين في الجدول (4) قبل بدء التجارب

الجدول (4) نتائج تحليل مخلفات صناعة البصل ووسط التخمر

نوع التحليل	مخلفات تصنيع البصل	وسط التخمر
المادة الجافة %	27.2	3
المادة العضوية في المادة الجافة %	98.6	66
البروتين الخام % DM	15.1	n
الليف الخام % DM	47.3	n
دهن خام % DM	2.1	n
نشاء % DM	20.5	n
سكر % DM	13.6	n
رماد %	1.4	n

n: غير مقاس، DM: مادة جافة

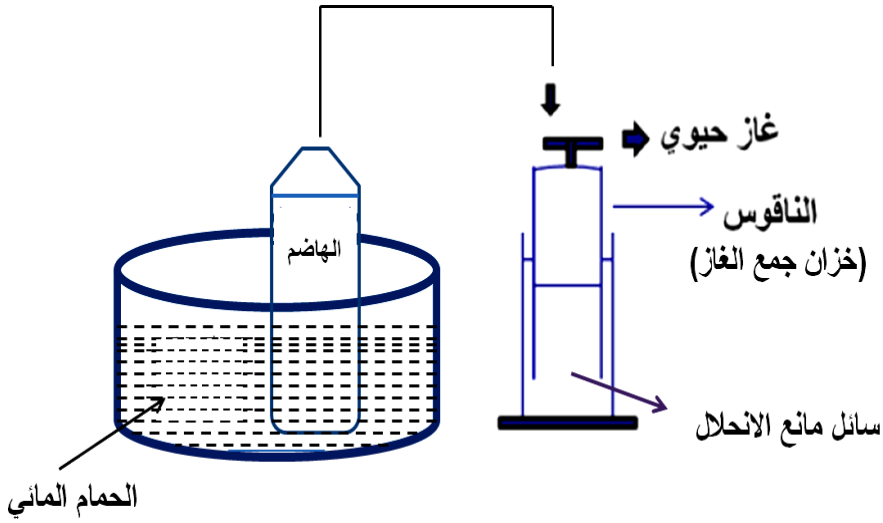
تم تقديرٌ البروتين الكلي بطريقّة كلداهل، والنشاء باستخدام جهاز Polarimeter،. تم تقدير السكاكر بالمعايرة الحجميه بإرجاع النحاس (طريقه لان واينون)، وتقدير الدهن بطريقّة سكسوليه حيث يقوم المبدأ الجهاز على استخلاص اللبيدات من العينة بواسطة الهكسان. أما بالنسبة للألياف الخام، فبعد هضم العينة بحمض الكبريت وماءات البوتاسيوم يتم وضعها في بوتقة تركب على جهاز استخلاص الألياف، ثم يضاف حمض الكبريت وتسخن البوتقة ثم يتم تفريغ البوتقة بالترشيح عبر مضخة (فاكيوم)، ثم يضاف ماءات البوتاسيوم وتكرر العملية، ويتم تقدير النسبة المئوية للألياف بعد تجفيف وترميد العينة المتبقية في البوتقة. تم الحصول على الرماد بعد وضع العينة في المرمدة على درجة C° 550 لمدة 24 ساعه.

3- 3- اختبارات الهضم اللاهوائي:

أجريت تجارب التحري عن الإنتاج الأعظمي للغاز الحيوي من مخلفات محصول البصل وخلائط الدهن الخام، في مخابر قسم الهندسة الريفية – كلية الزراعة – جامعة دمشق، وذلك في وحدة تخمير لاهوائية.

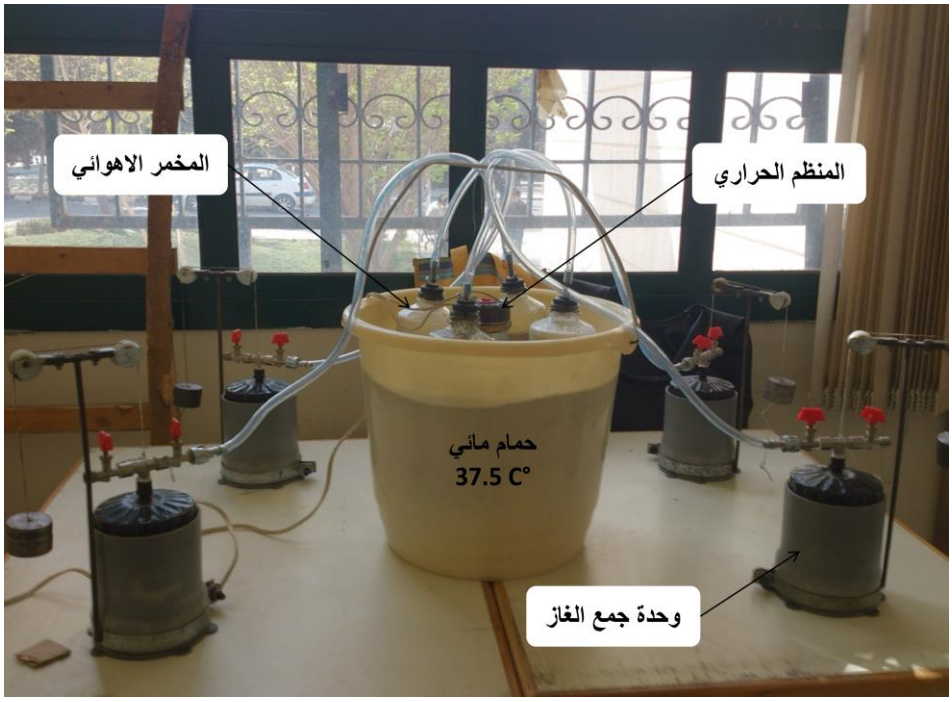
تتألف وحدة التخمير من أربعة مخمرات سعة 1 لتر، تم تزويد كل مخمر بفتحة تغذية علوية يتّم من خلالها اضافة مواد التجربة و يمكن إغلاقها بشكل محكم لمنع حدوث تسريب للغاز الناتج والحفاظ على الظروف اللاهوائية وذلك باستخدام موانع تسريب خاصة (جوانات.). توضع المخمرات ضمن حمام مائي مزود بترموستات للتحكم بدرجة الحرارة المطلوبة بدرجة حرارة 37.5 C° ولمدة 50 يوماً، حيث تم إنهاء الاختبارات عندما أصبح إنتاج الغاز الحيوي اليومي يساوي أو أقل من 1٪ من إنتاج الغاز الحيوي التراكمي [14].

تم إضافة الخلطات دفعة واحدة، وجُمع الغاز الحيوي المنطلق في خزانات جمع الغاز المملوءة بسائل مانع للانحلال يتكون من حمض كبريت مركز وكبريتات الصوديوم وبرتقالي الميثيل، حيث يتم تحديد حجم الغاز الحيوي الناتج من حساب ارتفاع الناقوس عند تدفق الغاز الحيوي إلى الخزان كما هو مبين في الشكل (1). تم إجراء ثلاث مكررات لمعاملات التجارب، وقيس حجم الغاز الحيوي الناتج من وسط التخمر بشكل مستقل، وطُرحت كميته من كمية الغاز الحيوي الناتج من تخمر العينة مع وسط التخمر، وذلك للوقوف على الكمية الفعلية للغاز الحيوي الناتج من العينة [19] جرى تحريك العينات داخل الهاضم يدوياً عن طريق رج الهواضم يومياً [20]. تم قياس حجم الغاز الحيوي الناتج يومياً، وقيس في الشرطيين النظاميين من الحرارة 273 K ، والضغط 1013 ميلي بار. قيس حجم الغاز الحيوي في لتر نظامي لكل كيلو غرام من المادة العضوية (LN/Kg VS) [21].



الشكل (1) وحدة التخمير اللاهوائية المخبرية المستخدمة في التجربة

يبين الشكل (2) صورة فتوغرافية لوحدة التخمير اللاهوائية المستخدمة في التجربة بكافة مكوناتها.



الشكل (2) وحدة التخمير اللاهوائية المخبرية المستخدمة في التجربة

يبين الشكل (3) صورة فوتوغرافية لإحدى وحدات جمع الغاز المستخدمة في التجربة بكافة مكوناتها.

الشكل (3) وحدة جمع الغاز المستخدمة في التجربة

3-4- التحليل الإحصائي:

تم تصميم التجربة وفق التصميم العشوائي الكامل، حيث تم إجراء تحليل التباين أحادي الاتجاه *one way ANOVA*، ثم قورنت المتوسطات بإجراء اختبار أقل فرق معنوي LSD عند مستوى ثقة 95%. لإثبات صلاحية النموذج الخطي تم إجراء اختبارات جودة توفيق للنموذج الخطي وأهمها: اختبار T (مستوى معنوية 5%)، اختبار معنوية النموذج عن طريق اختبار F (مستوى معنوية 5%)، ولتقييم دقة الشكل الرياضي للدالة والتحقق من درجة تمثيل النموذج الخطي للبيانات تم حساب قيمة معامل التحديد R^2 .

4- النتائج والمناقشة:

4-1- تأثير إضافة الدهن الخام في إنتاج الغاز الحيوي:

يبين الجدول (5) حجم الغاز الحيوي التراكمي الناتج من التخمر المشترك لمخلفات صناعة البصل مع الدهن الخام (95% مخلفات البصل+5% دهن خام) Mix1، (85% مخلفات البصل+15% دهن خام) Mix2، (70% مخلفات البصل+30% دهن خام) Mix3، بالإضافة إلى الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

بلغ حجم الغاز الحيوي التراكمي الناتج عن التخمر المشترك لمدة 50 يوماً وعند درجة الحرارة C° 37.5 لمخلفات البصل منفردة والخلائط Mix1– Mix2 –Mix3 (342 – 406 – 695– 848) LN/Kg VS على التتالي.

دلت الدراسة الإحصائية على وجود فروق معنوية في كمية الغاز الحيوي الناتج من التخمر اللاهوائي للخليط Mix3 مقارنة مع كمية الغاز الحيوي الناتج من التخمر اللاهوائي لمخلفات البصل منفردة والخليطين Mix1 و Mix2 عند مستوى 5%، حيث كانت كمية الغاز الحيوي الناتجة عن التخمر اللاهوائي للخليط Mix3 أعلى بنسبة (147.9– 108.8 – 22)% على التتالي.

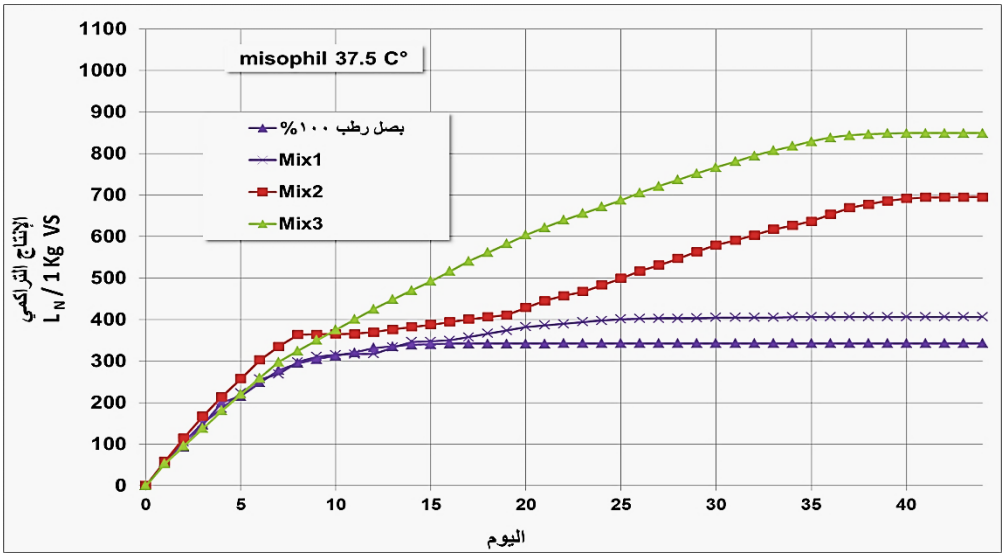
كان إنتاج الغاز الحيوي من المعاملة Mix2 قريب لما حصل علية يفاريز وليدين [22] في تجربة للتخمر اللاهوائي المشترك لمخلفات الخضار والفواكة (والتي كانت تحتوي على قشور البصل) مع مخلفات مسالخ الأبقار والخنازير (مزيج من المعدة والأحشاء والدم) بنسبة خلط (50%)، حيث كان إنتاج الغاز الحيوي 640 LN/KG VS.

الجدول (5) إنتاج الغاز الحيوي من التخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل والدهن الخام

معاملات التجربة		ناتج الغاز الحيوي LN/Kg VS	
	N	المتوسط	S.D
مخلفات البصل	3	342	13
Mix1	3	406	28
Mix2	3	695	48
Mix3	3	848	44

Mix1:بصل 95%+دهن خام5%، Mix2:بصل 85%+دهن خام 15%، Mix3:بصل 70%+دهن خام30%، S.D: الانحراف المعياري، N: عدد المكررات.

تبين المنحنيات المرسومة في الشكل (4) إنتاج الغاز الحيوي التراكمي من مخلفات تصنيع البصل مع إضافة الدهن الخام بالنسب (5 – 15 – 3030) % وذلك ضمن ظروف درجة الحرارة المعتدلة 37.5 C°.

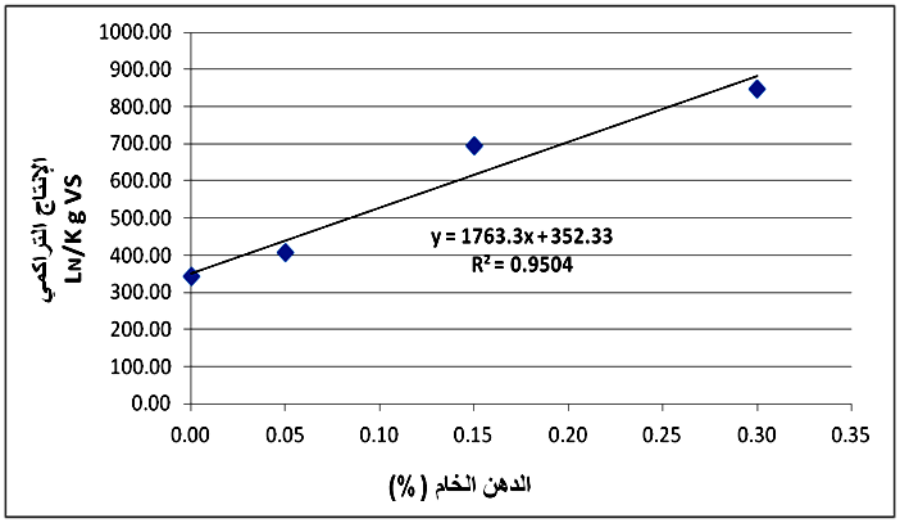


الشكل (4) الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي من مخلفات صناعة البصل مع إضافة الدهن الخام بالنسب (5 – 15 – 30) % وذلك ضمن ظروف درجة الحرارة المعتدلة 37.5 C°.

لقد ازداد إنتاج الغاز الحيوي بازدياد نسبة الدهن الخام في الخليط، كما هو مبين في المنحنيات المرسومة في الشكل (4)، وهذا يتوافق مع ما توصل إليه نوتسوبولوس وزملاؤه [23] في تجربة للتخمر اللاهوائي للحمأه مع إضافة الدهن بالنسب (0 – 20 – 40)%، حيث كان إنتاج الغاز الحيوي (754 – 864 – 1084) LN/Kg VS على التتالي. وعندما خمر دافيدسون وزملاؤه [24] الحمأة مع الدهن (الشحم الناتج عن تصنيع اللحوم) بالنسب (0 – 10 – 30)% زاد إنتاج الغاز الحيوي أيضاً بازدياد نسبة الدهن في الخليط، وقد بلغ (416 – 446 – 498) LN/Kg VS على التتالي. قد يعود السبب إلى انخفاض التأثير المثبط للحموض الدهنية طويلة السلسلة LCFAS والناتجة عن التحلل البيولوجي للدهون، خصوصاً في ظل درجات الحرارة المعتدلة، وهذا يتوافق مع ماتوصل إليه غرودير ونيكزاج [25] في تجربة للتخمر اللاهوائي للحمأه مع إضافة الدهن (الشحم الناتج عن تصنيع اللحوم) تحت ظروف درجة الحرارة المعتدلة 37 C°، حيث لاحظ الباحثان زيادة معنوية في إنتاج الغاز الحيوي والميتان بازدياد نسبة الدهن في الخليط، وعلل الباحثان السبب إلى عدم التأثر بتراكيز الحموض الدهنية طويلة السلسلة LCFAS، حيث كان تركيز حمض البالمتيك Palmitic Acid وحمض الأوليك Oleic Acid وحمض الستريك Stearic Acid (321.92 – 595.89 – 182.19) mg/L على التتالي. وهنا، وضمن هذا السياق، أكد كلاً من شاين وزملاؤه وهو وزملاؤه [26]، [27] أنه عند التخمر اللاهوائي ضمن ظروف درجة الحرارة المعتدلة فإن التراكيز المثبطه للحموض الدهنية طويلة السلسة، يمكن أن ترتفع نوعاً ما بالمقارنة مع التخمر اللاهوائي عند درجات حرارة عالية، حيث أنه عند ظروف درجات الحرارة المعتدلة فإن التراكيز المثبطة لحمض البالمتيك وحمض الأوليك وحمض الستريك تصل إلى (1100 – 1214 – 1500) mg/L على التتالي.

4-2- استقراء إنتاج الغاز الحيوي:

تم تقدير علاقة الانحدار الخطي البسيط Simple Linear regression وذلك بهدف قياس تأثير الكمية المضافة من الدهن الخام على إنتاج الغاز الحيوي. يظهر الشكل (5) العلاقة بين إنتاج الغاز الحيوي التراكمي وإضافة الدهن الخام بالنسب المختلفة (0 – 5 – 15 – 30)% للتخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل وذلك تحت ظروف درجة الحرارة المعتدلة 37.5 C° ولمدة 50 يوماً.



الشكل (5) العلاقة بين إنتاج الغاز الحيوي التراكمي وإضافة الدهن الخام بالنسب المختلفة (0 – 5 – 15 – 30)% للتخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل وعند ظروف درجة الحرارة المعتدلة 37.5 C°.

يمكن التعبير عن العلاقة بين الإنتاج التراكمي والنسبة المئوية للدهن الخام المضاف من خلال المعادلة الخطية التالية:

$$Y = 352.3 + 1763.3\,X \qquad (1)$$

$$(7.3)^* \qquad (6.2)^*$$

$$R^2 = 0.95 \qquad F = (38.3)^*$$

يظهر من العلاقة الخطية المقدرة (المعادلة 1) أن زيادة كمية الدهن تؤدي إلى زيادة كمية الغاز الناتج، وأن زيادة محتوى الدهن بنسبة 1% تؤدي إلى زيادة في إنتاج الغاز الحيوي التراكمي بمقدار 17.6 LN/Kg VS.

بناء على اختبارات جودة التوفيق Goodness of fit نلاحظ أن تقدير معالم الدالة a و B معنوي وذلك بملاحظة اختبار T (حيث أن قيمة *P–value* لكل من a و B تساوي 0.03 و 0.02 على التتالي وهي أصغر من 0.05 (الجدول 6)).

الجدول (6) "جدول المعاملات coefficients" مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P–value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	352.33	48.29	7.30	0.02	144.54	560.13	144.54	560.13
الدهن الخام	1763.33	284.83	6.19	0.03	537.83	2988.84	537.83	2988.84

كما أن النموذج معنوي وذلك من خلال ملاحظة معنوية اختبار F (حيث أن قيمة *P–value* تساوي 0.03 وهي أصغر من 0.05 (الجدول 7)).

الجدول (7) "جدول ANOVA" مخرجات برنامج SPSS

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1.00	163240.58	163240.50	38.33	0.03
Residual	2.00	8518.17	4259.08		
Total	3.00	171758.75			

ونلاحظ من قيمة معامل التحديد R^2 أن نسبة الدهن تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي بمعدل 95%، بينما يعود 5% إلى عوامل غير مدروسة. (كلما اقتربت قيمة معامل التحديد من الواحد كلما كان العامل المدروس أكثر أهمية وتأثيراً (الجدول 8)).

الجدول (8) مخرجات برنامج SPSS – قيمة معامل التحديد R^2

Regression Statistics	
Multiple R	0.97
R Square	0.95
Adjusted R Square	0.93
Standard Error	65.26
Observations	4.00

بعد رسم العلاقة الخطية بين إضافة الدهن الخام وإنتاج الغاز الحيوي التراكمي (الشكل 5)، حيث كان معامل التحديد R^2= 0.95، وعند إجراء الاختبارات الإحصائية لإثبات صلاحية النموذج الرياضي، يمكن الاستنتاج أن العلاقة يمكن أن تُمثل على شكل انحدار خطي، وتبين هذه العلاقة الخطية أنه لا يوجد ميل أو نزعة لتثبيط طويل الأمد لعملية التخمر اللاهوائي ناتج عن إضافة الدهن الخام (دهن الخروف) في هذه الدراسة.

5- الاستنتاجات :

تعتبر مخلفات صناعة البصل مادة جيدة لإنتاج الغاز الحيوي، ويتبين من خلال نتائج هذا البحث الحصول على نتائج إيجابية عند إضافة الدهن الخام لمخلفات البصل. وقد حققت إضافة الدهن بنسبة 30% أعلى قيمة في إنتاج الغاز الحيوي، بزيادة في إنتاج الغاز وصلت إلى 147.9% بالمقارنة مع كمية الغاز الحيوي الناتجة من التخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل بدون إضافة الدهن. ولقد أظهرت النتائج وجود علاقة خطية بين الغاز الحيوي الناتج ونسبة الدهن في الخليط.

6- التوصيات:

1- القيام بالمزيد من التجارب والأبحاث على مخلفات صناعة البصل كمادة جيدة لإنتاج الغاز الحيوي، من أجل الاستفادة قدر الإمكان من الطاقة الكامنة في هذه المخلفات، وإجراء التخمر المشترك مع المخلفات الحيوانية.

2- ضبط درجة الPH والتي تلعب دوراً هاماً في زيادة أمثلة عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل.

3- متابعة الأبحاث التجريبية لتوصيف الراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات صناعة البصل وخلائط الدهن الخام، وتحديد ملائمة هذا الراسب لمختلف أنواع الترب السورية.

4- في ظل الفجوة الطاقية التي يعاني منها القطر، يجب تكثيف الأبحاث المتعلقة بالطاقات المتجددة ووضع المجدي منها حيز التنفيذ.

8- المراجع:

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

2- Haryanto, A., Hasanudin, U., Afrian, C., Zulkarnaen, I., 2018- Biogas production from anaerobic codigestion of cowdung and elephant grass (*Pennisetum Purpureum*) using batch digester. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 141- 012011.

3- Xie, Sihuang., 2012- Evaluation of biogas production from Anaerobic digestion of pig manure and grass silage. doctoral dissertation. National University of Ireland, Civil Engineering, Ireland.

4- Gomez, C. D. C., 2013- Biogas as an energy option: an overview. *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*, eds A Wellinger, J Murphy and D Baxter. (Cambridge: Woodhead Publishing Limited) pp 1-16.

5- Dasilva, E. J., 1978- "Biogas Generation: Development, Problems an Tasks." *conference on the state of the art of Bio conversion of Organic Residues for Rural Communities, Institute of Nutrition of Central America and Panama, Guatemala City*.

6- AL Afif, R., 2015- Biogas Production - Biomass Energy. Basic principles and Invest the digester, Training course, National Energy Research Center. (In Arabic)

7- Bond, T and Templeton, R.M., 2011- History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Science Direct. Energy for Sustainable Development*, 15: 347-354.

8- Bilal, E., 2004- Optimal use of wastewater in residential complexes "Biogas production and reuse of treated water in Andalus district for popular housing". Thesis prepared to fulfill part of the University of Khartoum requirements for obtaining a master's degree in renewable energy technology. Mechanical Engineering Department, College of Engineering and Architecture, University of Khartoum. (In Arabic)

9- Brochure of the Onion and Vegetables Dehydration Company - Salmiya (Onion Plant), General Corporation for Food Industries, Ministry of Industry - Damascus - Syria, 10/28/2018.

10- Salama, S.E., Saha, S., Kurade, K.M., Dev, S., 2019- Recent trends in anaerobic co-digestion: Fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation. *Science Direct, Progress in Energy and Combustion Science*, 70: 22-42.

11- Yang, H.Z., Xu, R., Zheng, Y., Chen, T., Zhao, J.L., Li, M., 2016- Characterization of extracellular polymeric substances and microbial diversity in anaerobic co-digestion reactor treated sewage sludge with fat, oil, grease. *Science Direct, Bioresource Technology,* 212: 164-173.

12- Luostarinen , S., Luste, S., Sillanpaa, M., 2009- Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. *Science Direct, Bioresource Technology,* 100: 79-85.

13- Fernandez, A., Sanchez ,A., Font, X., 2005- Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. *Biochemical Engineering Journal*, 26: 22-28.

14- Habashi, N., Mehrdadi, N., Mennerich,A., Alighardashi, A., Torabian, A., 2016- Hydrodynamic cavitation as a novel approach for pretreatment of oily wastewater for anaerobic co-digestion with waste activated sludge. *Science Direct, Ultrasonics Sonochemistry*, 31: 362-370.

15- Gonzalez, M.L., Colturato, F.L., Font, X., Vicent, T., 2010- Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. *Waste Management*, 30(10): 1854-1860.

16- Bonetta, S., Ferretti, E., Fezia, G., Gilli, G and others. 2014- Agricultural reuse of the digestate from anaerobic co-digestion of organic waste : microbiological contamination , metal hazards and fertilizing performance . Water Air Soil Pollut, 225: 2046.

17- Alburquerque, J.A., Fuente, C., Costa, A.F and others, 2012- Assessment of fertilizer potential from farm and and agroindustrail residues. Sciverse ScienceDirect. Biomass and Bioenergy, 40: 181-189.

18- Tambone, F., Scaglia, B and others. 2010- Assessing amendment and fertilizing properties of digestate from anaerobic digestion through a comparative study with digestated sludge and

compost. Chemosphere. Vol.81, No 5. (Oktoper 2010), pp. 577-583, ISSN 0045-6535.

19- Bayr, S., Rantanen, M., Kaparaju, P., Rintala, J., 2012 - Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes. *Science Direct. Bioresource Technology,* 104: 28-36.

20- Lattef and others, 2014- Batch anaerobic co-digestion of cow manure and waste milk in tow stage process for hydrogen and methane productions. *Bioprocess Biosyst Engineering,* 37(3): 355-363.

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

22- Alvarez R. and Lidén G., 2008- Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Science Direct, Renewable Energy,* 33: 726-734.

23- Noutsopoulos, C., Mamais, D., Antoniou, K., Avramides, C., San Miguel, G., Rincon, S.L, 2012- Increase of biogas production through co-digestion of lipids and sewage sludge. *Global Nest journal,*14(2):133-40.

24- Davidsson, A., Lovstedt, C., La Cour Janse, J., Gruvberger, C., Aspergen, H., 2008- Codigestion of grease trap sludge and sewage sludge. *Waste Manage*, 28(6):986-992.

25- Grosser, A and Neczaj, E., 2016- Enhancement of biogas production from sewage sludge by addition of grease trap sludge. *Science Direct, Energy Conversion and Management,* 125: 301-308.

26- Shin, S.H., Kims, H.S., Lee C.Y., Nam Y.S., 2003- Inhibitory effects of long chain fatty acids on VFA degradation and b-oxidation. *Water Sci Technol:* 47(10):139-49.

27- Hwu, S.C and Lettinga, G., 1997- Acute toxicity of oleate to acetate-utilizing methanogens in mesophilic and thermophilic anaerobic sludges. *Enzyme Microb Technol*: 21(4):297-301.

.