

تأثير الهضم اللاهوائي لماء الجفت مع روث الأبقار على إنتاج الغاز الحيوي وعلى جودة سماد الغاز الحيوي الناتج

سقراط أحمد*⁽¹⁾ ومحمد منهل الزعبي⁽²⁾ وعيسى كيببو⁽¹⁾

(1) قسم علوم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية
(2) إدارة بحوث الموارد الطبيعية، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، دمشق، سورية
(* للمراسلة: م. سقراط أحمد، البريد الإلكتروني: socrates.82.sy@gmail.com)

تاريخ القبول: 2021 /11/4

تاريخ الاستلام: 2021/08/25

الملخص:

أجريت تجربة هضم لاهوائي مشترك لماء الجفت مع الروث البقري بنسبة (40:60) باستخدام الهاضم الموجود في موقع زاهد للزراعة العضوية، بمحافظة طرطوس، بهدف التخلص من مخلفات المزرعة النباتية والحيوانية بطريقة اقتصادية وآمنة صحياً ولحماية البيئة من التلوث، والحد من التأثير السلبي لماء الجفت على نظافة البيئة، مع إنتاج غاز الميثان كمصدر جديد ومتجدد للطاقة فضلاً عن إنتاج ما يصطلح على تسميته سماد الغاز الحيوي. تم مراقبة وقياس كمية الغاز الحيوي الناتجة وتقييم سماد الغاز الحيوي المنخلف عند نهاية عملية الهضم. أشارت النتائج إلى تأخر في إنتاج الغاز الحيوي بسبب الانخفاض بدرجة pH محلول التخمر في بداية عملية الهضم، بسبب الطبيعة الحامضية لماء الجفت، وبعد انقضاء 15 يوم من تغذية الهاضم بدأ الغاز الحيوي بالانطلاق واستمر لمدة 45 يوم، وبلغ الإنتاج الكلي 195.4 م³ تحت ضغط ثابت 0.02 بار. أظهرت نتائج تحليل سماد الغاز الحيوي المتبقي عند نهاية عملية الهضم، انخفاض نسبة المادة العضوية وارتفاع درجة الـ pH مقارنة بالمخلفات العضوية المستخدمة، كما انه يحتوي كميات جيدة من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى. وأشارت نتائج هذه الدراسة أن خلط ماء الجفت مع الروث البقري قد يكون فعالاً في تعزيز إنتاج الغاز الحيوي وإزالة الحمولة العضوية العالية من ماء الجفت.

كلمات مفتاحية: الهضم اللاهوائي، ماء الجفت، غاز حيوي، سماد الغاز الحيوي.

المقدمة :

برزت الحاجة إلى تنمية واستغلال مصادر الطاقة المتجددة والتي أهم أنواعها في الوقت الحالي ويمكن استخدامها في عمليات الإنتاج الزراعي على مستوى القرية، طاقة الرياح والطاقة الشمسية والغاز الحيوي (Merlin Christy *et al.*, 2014). تم تقييم إنتاج الغاز الحيوي من خلال عملية الهضم اللاهوائي كواحد من أكثر أنواع التقنيات الموفرة للطاقة والمفيدة بيئياً، من خلال الاستفادة من الموارد الطبيعية المتاحة محلياً وتوفير الأسمدة العضوية التي يمكن استخدامها كبديل للأسمدة المعدنية (Fehrenbach *et al.*, 2008). عُرف الغاز الحيوي Biogas باسم غاز المستنقعات، وهو عبارة عن غاز طبيعي عديم اللون والرائحة، ينتج عن تخمير أي مواد عضوية نباتية أو حيوانية المصدر بغياب الأوكسجين بواسطة مجموعات متخصصة من البكتريا اللاهوائية. يتكون بشكل رئيسي من الميثان CH_4 (بنسبة 55-70%) و CO_2 (30-45%) وقليل من الهيدروجين H_2 وأثار من كبريتيد الهيدروجين H_2S وغازات نادرة أخرى، وتختلف نسب هذه الغازات تبعاً لنوع المخلفات العضوية المستخدمة في عملية الهضم اللاهوائي (Moller *et al.*, 2004; Jonsson *et al.*, 2003). من جهة أخرى ينتج عن عملية الهضم مواد عضوية لها استخدامات مفيدة كسماد عضوي عالي الجودة. ينتج الغاز الحيوي من تحلل المواد العضوية الرطبة بمعزل عن الهواء بواسطة مجموعات متخصصة من البكتريا اللاهوائية حتماً، وذلك من خلال ما يسمى بالهضم اللاهوائي Anaerobic Digestion (Wilkie, 2008) وتعتبر هذه العملية البيوكيميائية مناسبة لمعالجة كل المخلفات العضوية السائلة المحتوية على مواد صلبة بتراكيز مقبولة (Adekunle and Okolie, 2015). المخلفات العضوية التي يمكن أن تستخدم في عملية الهضم اللاهوائي تأتي من مصادر متعددة أهمها روث الحيوانات و زرق الدواجن وبقايا المحاصيل ومخلفات الصناعات الغذائية.

ماء الجفت OMWW هو المنتج الثانوي السائل الناتج عن استخلاص الزيت من ثمار الزيتون وهو سائل حامضي تتراوح قيم درجة الـ pH بين (4-5) ودرجة ملوحة عالية تتراوح ناقليته ضمن المجال (4-18 dS/m) ويتميز بحمولة عضوية عالية وبلون بني محمر، له رائحة شبيهة برائحة زيت الزيتون الطازج لكن بمرور الزمن ونتيجة بعض التخمرات التي تحدث يصبح ذو رائحة غير مقبولة (Di Giovacchino *et al.*, 2002; Ginos *et al.*, 2006). يدرك مشغلو معاصر الزيتون بالسلوك السام لماء الجفت على الحياة النباتية ومع ذلك فإن التخلص منه مباشرة في الطبيعة ووصوله إلى المياه الجوفية أمر شائع ويؤدي إلى عواقب وخيمة على جودة ونظافة البيئة (Zenjari *et al.*, 2006) ويعود ذلك لمحتواه العالي من المركبات الفينولية التي تغلق مسام التربة وتسبب موت معظم الأحياء الدقيقة في التربة. إن طريقة المعالجة المجدية اقتصادياً والتي تقلل من المخاطر البيئية هي بمعالجة ماء الجفت مع غيره من المخلفات العضوية الموجودة في مناطق زراعة الزيتون باستخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي (Ioannis and Pilidis, 2018). إن اختيار المخلفات العضوية المناسبة يمكن أن يغير من نتائج عملية الهضم وقد يؤدي إلى زيادة إنتاج الغاز والحصول على سماد عضوي جيد (Aslanzadeh, 2014). تعد نسبة C/N للمخلفات العضوية المستخدمة في عملية الهضم اللاهوائي ذات أهمية كبيرة، حيث أن عملية الهضم تتحسن كثيراً عند خلط مخلفات عضوية من مصادر متعددة وبنسب صحيحة (Yen and Brune, 2007). لذا فإن خلط ماء الجفت مع روث الأبقار في الهاضم يمكن أن يوفر ظروفاً أفضل لنمو ونشاط ميكروبات التحلل اللاهوائي، ويحل مشكلة تراكم المركبات السامة والمثبطة لنشاط بكتريا الميثان (Wilkie, 2008).

أجرى Rubio وآخرون (2019) سلسلة من تجارب الهضم بنظام التشغيلية الواحدة Batch System في ظروف حرارة متوسطة Mesophilic لماء الجفت والروث البقري (CM) Cattle Manure بنسب مختلفة. أشارت النتائج أن مخلفات عصر ثمار الزيتون ذات قابلية منخفضة للتحلل البيولوجي، حيث تم الحصول على مستويات عالية من المادة العضوية (OM) الذائبة وانتاج متدني لغاز الميثان في نهاية الهضم. أما الهضم المشترك لهذه المخلفات العضوية نتج عنه تعزيز لمرحلة انتاج الأحماض العضوية كالأحماض الدهنية الطيارة وزيادة بإنتاج الغاز الحيوي نتيجة التحلل اللاحق لهذه الأحماض الدهنية من قبل بكتريا الميثان. واقترحت هذه الدراسة أن خلط هذه المخلفات العضوية (OMWW:CM) بنسبة (60:40) يكون فعالاً في تعزيز انتاج الغاز الحيوي وتقليص الحمولة العضوية العالية من ماء الجفت. وقد تم اختيار نسب هذه المخلفات بناءً على القيمة الأمثل لنسبة C/N وهي (30-20) من أجل عملية الهضم اللاهوائي (Yadvika, et al., 2004). وفي دراسة أخرى باستخدام هاضم سعة 50 L وتحت ظروف حرارة عالية Thermophilic وجد أن المعالجة المشتركة لماء الجفت مع الروث البقري يمكن تصنيفها كحل من الدرجة الأولى لمشكلة ماء الجفت حيث أن الهضم اللاهوائي أدى لتقليص الحمولة العضوية بنسبة 75% وزيادة في انتاج الغاز الحيوي بنسبة 50% فضلاً عن الحصول على سماد عضوي عالي الجودة (Ioannis and Pilidis, 2018). أجرى Dareioti وآخرون (2010) أيضاً دراسة حول استعمال ماء الجفت والروث البقري لإنتاج الغاز الحيوي باستخدام هاضم يعمل بنظام التغذية المستمرة Continuous Feeding وتحت ظروف حرارة متوسطة 35°C Mesophilic وجد أن الهضم المشترك للروث البقري مع ماء الجفت يحقق عدة فوائد أهمها استقرار عملية الهضم اللاهوائي AD وتحقيق التوازن الغذائي وخاصة نسبة C/N المناسب لنشاط ميكروبات تحلل المادة العضوية وبكتريا الميثان إضافة إلى تحسين إنتاجية غاز الميثان مقارنة بالهضم اللاهوائي لماء الجفت لوحده ويعود ذلك إلى تخفيف المحتوى العالي من المركبات الفيوليوية. والحصول على سماد عضوي متحلل وذو محتوى جيد بالعناصر المعدنية مما يسهم في ترشيد استخدام المخصبات المعدنية وتقليل كلفة الانتاج النباتي.

تم في هذا البحث استخدام طريقة المعالجة بالهضم اللاهوائي لماء الجفت مع الروث البقري الذي تم اختياره نظراً لوفرته ونتاجه المستمر على مدار العام، وعلى اعتبار أن الروث البقري ذو نسبة C/N منخفضة وماء الجفت يحتوي في تركيبه على نسبة عالية من المركبات الكربونية. تكمن أهمية هذا البحث في توظيف تكنولوجيا الغاز الحيوي من أجل معالجة ماء الجفت بطريقة اقتصادية وصديقة للبيئة عن طريق الهضم اللاهوائي لماء الجفت مع روث الأبقار للحصول على الغاز الحيوي والسماد العضوي المتخمر الغني بالعناصر الغذائية. بهدف قياس حجم الغاز الحيوي الناتج وإمكانية الاستفادة منه لتلبية احتياجات المزرعة (تدفئة، إنارة، طهي... الخ). وتقييم سماد الغاز الحيوي الناتج عن إضافة ماء الجفت إلى الروث البقري بعد تخميره لاهوائياً وتقدير محتواه من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى. والمساهمة في حل مشكلة بيئية تكمن في مياه معاصر الزيتون وتحويلها إلى مادة صديقة للبيئة.

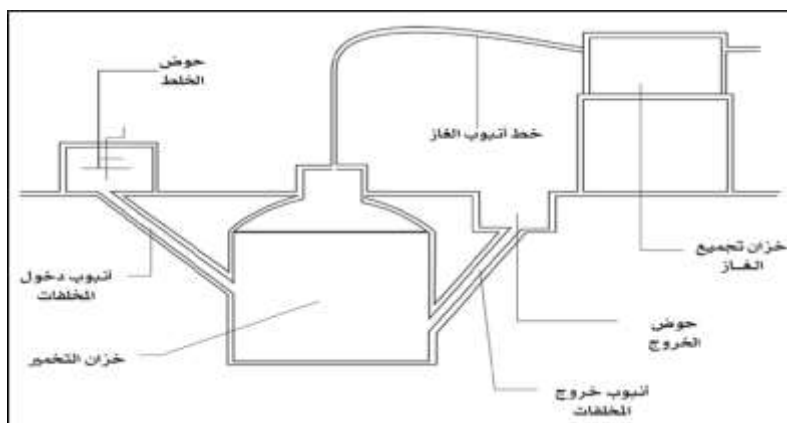
مواد البحث وطرائقه:

- وحدة الهضم (البيوغاز) :

نفذت تجربة الهضم اللاهوائي لماء الجفت OMWW مع الروث البقري CM في موقع زاهد للزراعة العضوية التابع لمركز البحوث العلمية الزراعية بطرطوس، باستخدام وحدة هضم (بيوغاز) سعة 14 م³ طراز (هندي - صيني)، باعتماد نظام التشغيل الواحدة Batch System. تتكون وحدة البيوغاز المستخدمة كما هو موضح في الشكل (1) من أربعة أجزاء رئيسية وهي حوض التغذية (حوض لخلط المخلفات العضوية) ، الهاضم (خزان التخمر) مزود بخلاط يدوي، خزان تجميع الغاز مزود بمحسبين للتحكم في دخول وخروج الغاز و حوض تجميع السماد العضوي (حوض الخروج).

• طريقة العمل :

تم الحصول على الروث البقري الطازج من مزرعة أبقار زاهد، وماء الجفت من معصرة زيتون تعمل بطريقة الطرد المركزي ثلاثي الأطوار في قرية الصفصافة. تم تغذية الهاضم بالمخلفات العضوية بواقع: 6 م³ ماء جفت + 4 م³ روث بقري + 4 م³ ماء عادي. تم اعتماد نسب خلط هذه المخلفات وفقاً لمقترحات Rubio و آخرون (2019). بدأ الغاز الحيوي بالانطلاق بعد 15 يوم وتمت عملية الهضم خلال 60 يوم، مع مراعاة التقليب الهادئ لمحتويات الهاضم. استخدم سماد الغاز الحيوي الناتج في زراعة محصول الذرة الصفراء (*Zea Mays L.*).



شكل(1): مكونات وحدة الهضم المستخدمة.

أجريت التحاليل المخبرية لعينات الروث البقري وماء الجفت قبل تغذيتها بالهاضم، جدول (1) و جدول (2). نفذت هذه التحاليل في محطة بحوث بيت كمونة وفق الطرائق المعتمدة من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية (الزببي وآخرون، 2013). حيث تم تقدير درجة الحموضة باستخدام جهاز الـ pH meter والناقلية الكهربائية باستخدام جهاز الـ EC كما تم هضم العينات بالطريقة الرطبة ($H_2SO_4 \cdot Se$) وتم تقدير النيتروجين الكلي والفوسفور الكلي باستخدام جهاز التحليل الآلي SKALAR والبوتاسيوم الكلي باستخدام جهاز التحليل الطيفي باللهب Flame Photometer. وقدرت كمية المادة الجافة عن طريق التجفيف على درجة حرارة 105 م° ونسبة المادة العضوية باستخدام طريقة الفقد بالترميد على حرارة 550 م°.

الجدول(1) : بعض مواصفات روث الأبقار المستخدم.

نسبة C/N	تركيز العناصر الكبرى (%)			OM, %	الرطوبة الوزنية	EC (1:5) (dS/m)	pH (1:5)
	K	P	N				
22.3	1.87	1.13	1.65	63.7	12.5 %	3.12	7.2

الجدول (2) : بعض مؤشرات ماء الجفت المستخدم.

تركيز العناصر الكبرى (mg/l)			المادة العضوية	المادة الجافة	EC	pH
K	P	N	(g/l)	(g/l)	(dS/m)	
5830	290	722	54.6	78.5	5.28	4.8

• حساب حجم الغاز الحيوي الناتج :

خزان الغاز اسطواني الشكل بقطر (1.7 م) وارتفاع (1.8 م) وزنه (450 كغ) وهو حر الحركة ضمن جراب اسمنتي مملوء بالماء ومزود بقميص من الصاج يزيد قطره قليلا عن قطر الخزان، وذلك من أجل ضمان وضع الخزان العائم في مكانه المناسب لمنع ميل الخزان أثناء حركته الحرة صعودا ونزولا.

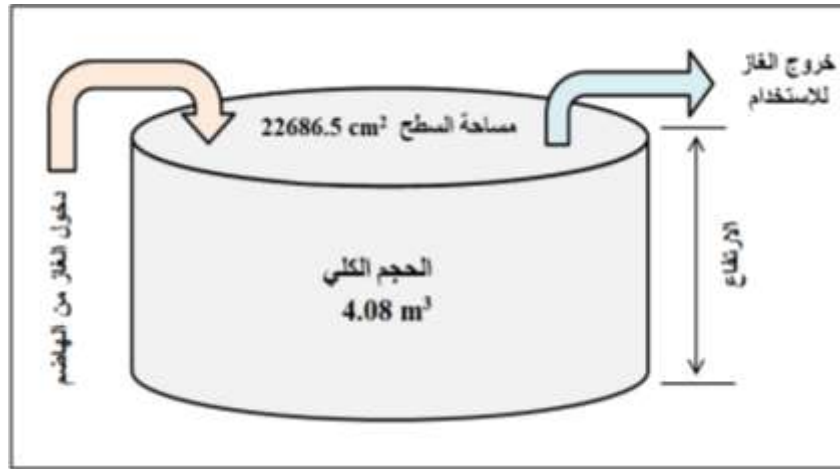
إن وزن الغطاء المعدني (خزان الغاز) مع حرية حركته لأعلى وأسفل على سطح الماء يعمل على ثبات ضغط الغاز ضمن الخزان مهما تغير حجمه، ويمكن حساب ضغط الغاز الحيوي ضمن الغطاء كالتالي:

$$\text{الضغط} = \text{وزن الغطاء المعدني} / \text{مساحة السطح} = 0.0198 \text{ (كغ/سم}^2\text{)} = 0.02 \text{ بار}$$

وهذا الضغط ثابت مهما تغير حجم الغاز ضمن الخزان.

تم تقدير حجم الانتاج اليومي والكلي للغاز الحيوي الناتج حسابياً عن طريق مراقبة وتسجيل ارتفاع الخزان يومياً والتحكم في محابس دخول وخروج الغاز كما في شكل (2):

$$\text{حجم الغاز (م}^3\text{)} = \text{ارتفاع الخزان (م)} \times \text{مساحة سطحه (م}^2\text{)}$$



الشكل (2): مخطط خزان الغاز.

• سماد الغاز الحيوي :

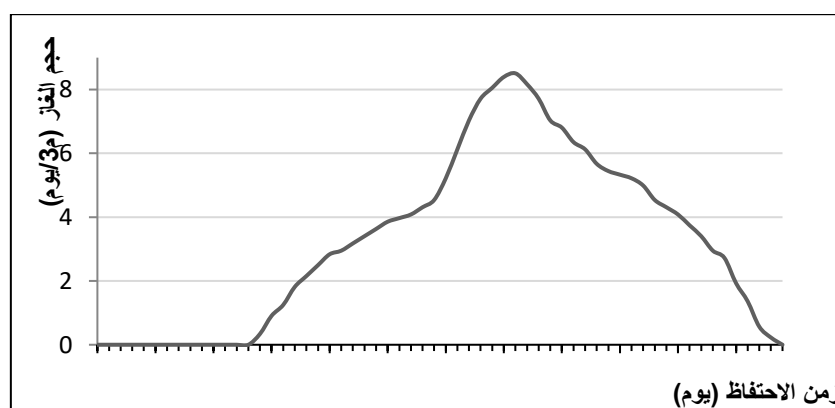
المواد السائلة المتخلفة عند نهاية عملية الهضم وإنتاج الغاز أخذت عينة منها وأجريت عليها التحاليل المخبرية لتحديد صفاتها وتقدير محتواها من المادة العضوية والعناصر الغذائية الكبرى والصغرى. حيث تم قياس درجة الـ pH والناقلية الكهربائية في العينة مباشرة. قدرت نسبة المادة العضوية كنسبة مئوية من الوزن الجاف تماماً باستخدام طريقة الفقد بالترميد. هضمت العينة بطريقتين: باستخدام حمض الكبريت المركز على حرارة 150 م° لتقدير محتواها الكلي من N ، وباستخدام حمض الأزوت وحمض البيركلوريك على حرارة 200 م° لتقدير محتواها الكلي من عناصر P ، K و العناصر

الصغرى (Fe, Mn, Zn and Cu). أجريت جميع هذه التحاليل وفق الطرائق المعتمدة طبقاً لـ (الزعيبي وآخرون، 2013).

النتائج والمناقشة:

• الغاز الحيوي:

يتحرر الغاز الحيوي بفعل عملية الهضم اللاهوائي تبعاً لزمان بقاء المادة العضوية ولا بد من التنويه أنه من الصعب التنبؤ بسلوك تخمر المواد العضوية تبعاً لتركيبها الكيميائي وإنما يجب تقديرها بالتجربة. أظهرت تجربة الهضم اللاهوائي لماء الجفت OMWW مع الروث البقري CM أن إنتاج الغاز الحيوي قد بدأ بعد 15 يوم من تغذية الهاضم واستمر لمدة 45 يوم. إن التأخر في إنتاج الغاز الحيوي لوحظ أيضاً من قبل الباحث (Erguder et al., 2000) عند المعالجة اللاهوائية لمخلفات عصر ثمار الزيتون وفسر ذلك بوجود بعض المركبات المثبطة لنشاط بكتريا الميثان مثل البولي فينولات في هذه المخلفات. إن الانخفاض السريع بدرجة الـ pH في بداية عملية الهضم قد أحر من إنتاج الغاز الحيوي، لكن توقف الانخفاض بعد حوالي 15 يوم ثم عاد ليرتفع تدريجياً إلى الحدود الملائمة لنشاط بكتريا الميثان (pH 6.8-7.4) حتى نهاية عملية الهضم حيث أصبحت المجموعات الميكروبية متأقلمة مع مواد التخمر، ذكر Ioannis و Pilidis (2018) أن هذا الانخفاض بسبب الطبيعة الحامضية لماء الجفت إضافة إلى تراكم الأحماض الدهنية الطيارة VFA في بداية عملية الهضم (مرحلة إنتاج الأحماض العضوية). وفي هذا السياق ذكر الباحث (Wang et al., 2009) أن تراكم أحماض البروبيونيك $C_3H_6O_2$ و الكافيينك $C_9H_8O_4$ التي يرجح أنها ناتجة عن استقلاب المركبات الفينولية الموجودة بكثرة في ماء الجفت خلال المراحل الأولى لعملية الهضم تؤدي إلى تثبيط نمو ونشاط البكتريا المنتجة للميثان. تباين إنتاج الغاز الحيوي من يوم لآخر ويظهر في الشكل (3) الزيادة التدريجية في إنتاج الغاز حتى اليوم 30، يزداد بعدها إنتاج الغاز بشكل كبير ليصل أقصى إنتاج له في اليوم 38 ويعتقد أن هذه الزيادة بسبب تقلب محتويات الهاضم في اليوم 30 حيث أن التقلب من العوامل التي تساعد على رفع كفاءة عملية الهضم اللاهوائي و زيادة إنتاج الغاز الحيوي.

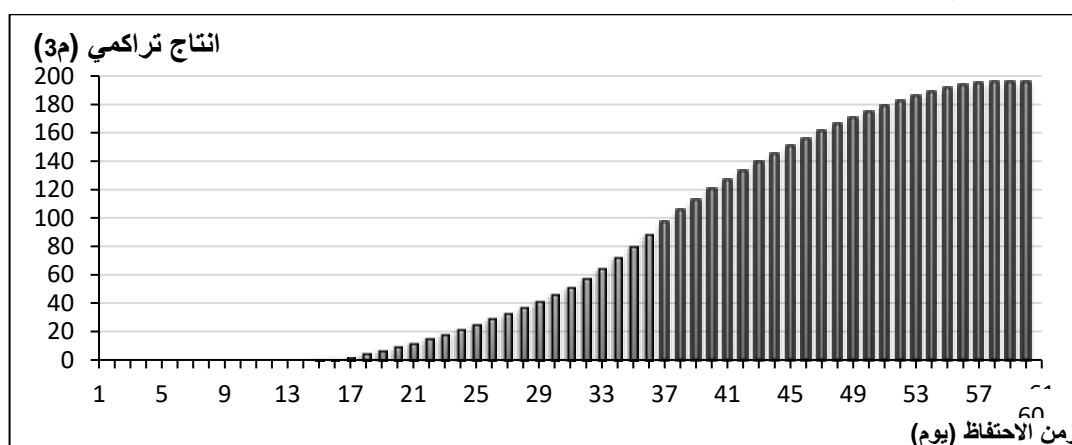


الشكل (3): الإنتاج اليومي من الغاز الحيوي خلال فترة الهضم.

حيث أشار Yadvika وآخرون (2004) بأن التقلب الهادئ لمحلول التخمر يكسر طبقة الخبث ويمنع تكون طبقات منفصلة في محلول التخمر كما يزيد من فرص تلامس المواد المتخمرة مع البكتريا، ويساعد على تجانس درجة الحرارة، و

يسهل من تصاعد فقاعات الغاز. وقد حصل الأمين (2006) عند استخدام مخمر نموذج القبة الثابتة (النموذج الصيني) وتشغيل خلاط ميكانيكي بعدد دورات (35 دورة / د) على إنتاج للغاز الحيوي بمعدل يومي (18.8 م³/يوم) بالمقارنة مع (11.3 م³/يوم) دون تشغيل الخلاط.

بكل الأحوال فإن أقصى إنتاج للغاز الحيوي وجد بعد 23 يوم من بدء تحرر وانطلاق الغاز وبلغ (8.51 م³) ليبدأ بعد ذلك بالانخفاض التدريجي ويصبح أقل من (0.3 م³) في اليوم 59 وتوقف إنتاج الغاز تماماً في اليوم 60. بلغ الإنتاج التراكمي (شكل 4) من الغاز الحيوي خلال فترة التخمير (195.4 م³) تحت ضغط ثابت 0.02 بار. وبذلك كان متوسط الإنتاج اليومي من الغاز الحيوي (4.34 م³). والحقيقة أن إنتاجية الغاز الحيوي تتأثر بكثير من العوامل منها ما يتعلق بظروف المخمر ونظام التغذية وبطبيعة المخلفات العضوية المستخدمة.



الشكل (4): الإنتاج التراكمي للغاز الحيوي خلال فترة الهضم.

درس الأمين (2006) تأثير درجة الحرارة على إنتاج الغاز الحيوي باستخدام هاضم سعة 32 م³ وفق نظام التغذية المستمرة للروث البقري وكانت كمية الغاز الحيوي الكلية الناتجة (276.2 م³) عند حرارة 25 °C وحوالي (339 م³) عند درجة حرارة 35 °C. بينما حصل غانم وإبراهيم (2014) على إنتاج كلي من الغاز الحيوي (48 م³) باستخدام مخمر (نموذج هندي) حجمه 9 م³ بمتوسط إنتاج يومي (1.6 م³/يوم) وذلك وفق نظام التشغيلية الواحدة التي تعتبر ذات كفاءة منخفضة نسبياً في إنتاج الغاز لكنها تعتبر من أفضل التصاميم في حال كان الهدف الأساسي منها هو الحصول على سماد بيوغاز ذو محتوى جيد من الـ OM المتحللة جزئياً (Gerardi, 2003; Alseadi et al., 2008) إذ يتم هدم نسبة تتراوح بين (30-50%) من المواد العضوية الموجودة في المخلفات وذلك بحسب مدى قابليتها للتحلل البيولوجي وبحسب زمن بقاء هذه المخلفات في الهاضم أما الباقي فيجمع كسماد عضوي ممتاز (Wilkie, 2008; Marcato et al., 2009) أيضاً استطاع الباحثان (Ioannis and Pilidis, 2018) الحصول على إنتاجية من الغاز الحيوي بمعدل يتراوح بين 1,3 - 2 (لغاز/لهاضم / يوم) عند المعالجة اللاهوائية المشتركة لماء الجفت مع الروث البقري بنسب مدروسة. وجد Rubio وآخرون (2019) أن زيادة نسبة ماء الجفت OMWW في الهاضم لأكثر من 75% تسبب زيادة بمحتوى الـ OM المتاحة للاستخدام من قبل الميكروبات اللاهوائية لكنها بالمقابل تسبب تراكم غير مرغوب فيه للأحماض الدهنية وخاصة حمض البروبيونيك إضافة إلى التأثير المثبط للمركبات الفينولية الموجودة بنسبة عالية في ماء الجفت على البكتريا المنتجة للميثان Acetoclastic Methanogenesis وهذا الأمر ينعكس سلباً على إنتاج الغاز وقد يسبب فشل عملية

الهضم. وذكر الباحث Boari وآخرون (1984) أن تراكم الـ VFA يرجع إلى النمو البطيء لبكتريا الميثان مقابل البكتريا المنتجة للأحماض العضوية التي تمتاز بنموها ونشاطها العالي في استقلاب الكربوهيدرات المتوفرة أساساً في الهاضم. عموماً يمكن القول أن المعالجة المشتركة بالهضم اللاهوائي لماء الجفت مع الروث البقري وفق النسبة (60:40) قد أدت إلى تعزيز إنتاج الغاز الحيوي وهذا يرجع إلى المحتوى العالي لماء الجفت من المواد العضوية الكربونية (كربوهيدرات ودهون) التي تعتبر الركيزة الأساسية لنمو ونشاط بكتريا انتاج الميثان إضافة إلى أن عملية الخلط والتمديد بالماء تؤدي إلى تقليص نسبة المواد الصلبة الكلية (TS) وتخفيف تراكيز المواد السامة والمثبطة فضلاً عن الحصول على توازن غذائي أفضل للنشاط الميكروبي في محلول التخمر وخاصة نسبة C/N وهذا ما أكدته الدراسات (Angelidaki and Ahring, 1997; Erguder et al., 2000; Dareioti et al., 2010; Rubio et al., 2019). وبالتالي يمكن اعتماد وتطوير هذه الطريقة من المعالجة كحل اقتصادي وبيئي لمشكلة ماء الجفت.

• سماء الغاز الحيوي:

وجد أن سماء الغاز الحيوي الناتج عن عملية الهضم كما هو موضح في الجدول (3) يحتوي على 90.8% ماء والمنتقي مادة جافة. واستخدم في تجربة زراعة محصول الذرة الصفراء مباشرة على التربة دون أن تظهر أي تأثيرات سامة وكانت نسبة إنبات البذور 98%. الحقيقة أن هناك آراء متناقضة فيما يتعلق بسمية نواتج الهضم، حيث أفادت معظم المراجع أن إضافة سماء الغاز الحيوي ليس له أي تأثيرات سامة على الحياة النباتية، بالمقابل افترض باحثون آخرون أن هناك تأثيرات سمية ترتبط بالمحتوى العالي من الأمونيوم NH_4^+ وبتراكيز الأحماض العضوية والعناصر الثقيلة (Gell et al., 2011). وجد رأي واحد فقط يفيد بأن تطبيق سماء الغاز الحيوي الناتج عن هضم مخلفات الأطعمة أدى لتقليل عدد ديدان الأرض في الحقل، وهذا على الأرجح يكون مرتبطاً بكمية كبيرة من NH_4^+ المدخلة إلى التربة مع سماء الغاز الحيوي (WRAP, DC-Agri, 2015) ويفترض الباحثون بأن أي تأثيرات سلبية محتملة لأسمدة الغاز الحيوي على الحياة النباتية سوف تتلاشى خلال فترة قصيرة من الزمن بعد الإضافة الحقلية. ولم تظهر أيضاً أي تأثيرات سلبية مثلما يحدث من تنافس بين الميكروبات وجذور النباتات على العناصر الغذائية عند إضافة مواد عضوية خام ذات نسبة C/N مرتفعة. فقد أظهرت النتائج انخفاض بنسبة المادة العضوية والكربون العضوي وكانت النسبة (C/N = 16.6) نتيجة هدم وتحلل المركبات الكربونية السهلة التحلل وتحويلها إلى CO_2 و CH_4 خلال عملية الهضم. ولوحظ ارتفاع درجة pH سماء الغاز الحيوي الناتج مقارنة بالمخلفات العضوية المستخدمة في تغذية الهاضم (Ioannis and Pilidis, 2018; Rubio et al., 2019; Makadi et al., 2012; Dareioti et al., 2010).

الجدول (3): تحليل سماء الغاز الحيوي الناتج عن عملية الهضم.

Total Macronutrients Conc., %			OM (%)	EC (dS/m)	pH
N	P	K			
1.17	0.46	1.09	33.5	1.53	7.74
Total Micronutrients Conc., ppm				نسبة الرطوبة (%)	
Fe	Mn	Zn	Cu		
1085	560	113	27	90.8	

وجد أن سماد الغاز الحيوي الناتج يحتوي على كميات جيدة من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى وهو مثل أي سماد عضوي آخر يؤثر بطريقتين : تأثير مباشر بسبب احتوائه على عناصر غذائية متاحة للاستخدام مباشرة من قبل جذور النباتات، وتأثير متبقي كونه يحتوي مواد عضوية صعبة التحلل تحتاج لزمان كي تتمعدن ويستفاد منها النبات. المحتوى العالي بالنيتروجين لسماد الغاز الحيوي هي نتيجة طبيعية بسبب تحلل الـ OM وحفظ النيتروجين N خلال عملية الهضم (Tambone *et al.*, 2009). سماد الغاز الحيوي الناتج متخمر بشكل جيد وفقير نسبياً بالفوسفور، حيث يؤدي ارتفاع درجة الـ pH في الهاضم إلى تحريك التوازن الكيميائي نحو تشكيل أيونات الفوسفات $PO_4^{3-} \leftarrow HPO_4^{2-}$ وبالتالي يتسرب الفوسفور في صورة فوسفات كالسيوم أو مغنيزيوم $Ca, Mg_3(PO_4)_2$ وقد يؤدي ارتفاع الـ pH أيضاً إلى تشكل بلورات الستروفييت $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$ التي تترسب في الهاضم (خزان التخمر) لذلك فإن أسمدة الغاز الحيوي تحتوي كميات قليلة من P ذائبة في المحلول (Hjorth *et al.*, 2010). وبالنسبة لعنصر البوتاسيوم لا يشكل جزءاً من المكونات الهيكلية للنبات، حيث أن معظم الـ K^+ يبقى بصورة ذائبة في النسغ الخلوي وبالتالي يكون أيضاً بصورة ذائبة في أسمدة الغاز الحيوي (Moller and Muller, 2012).

الجدير بالذكر أنه من الصعوبة بمكان المقارنة المباشرة بين نتائج الدراسات عن جودة سماد البيوغاز بسبب التنوع الكبير في المخلفات العضوية المستخدمة كمادة لتغذية الهاضم والاختلاف في سير وظروف عملية الهضم اللاهوائي وأيضاً في خواص وصفات سماد البيوغاز الناتج. أضف لذلك أن هنالك العديد من الدراسات المبنية على موسم نمو واحد أو على تجارب أصص في ظروف متحكم بها فضلاً عن الاختلاف في معدلات وطرق إضافة سماد البيوغاز للتربة (WRAP. DC-Agri, 2015).

الاستنتاجات والتوصيات:

توظيف وتطوير تقنية الغاز الحيوي كحل لمعالجة ماء الجفت وتقليل الحمولة العضوية العالية عن طريق تخميره لاهوائياً مع روث الأبقار وإنتاج الغاز الحيوي الذي يوفر طاقة متجددة على مستوى المزرعة أو القرية إضافة لإنتاج السماد العضوي المتخمر والغني بالنيتروجين. وهنا توجد فرصة كبيرة أمام مزارع الأبقار ومعاصر الزيتون لإعادة تدوير مخلفاتها ومنتجاتها الثانوية وإدخال تكنولوجيا الغاز الحيوي عند التعامل مع هذه المخلفات لتحقيق الفائدتين بالحصول على الطاقة المطلوبة من الغاز الحيوي بالإضافة للسماد العضوي الجيد الذي يتبقى بعد عملية التخمر هذا بجانب ما تحققه هذه التكنولوجيا من حفاظ على البيئة وتحسين المستوى الصحي للقرية.

المراجع:

- الأمين، عادل علي صالح محمد (2006). تصميم وتنسيق مخمر محسن لإنتاج الغاز الحيوي. رسالة دكتوراه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة دمشق.
- الزعيبي، محمد منهل؛ الحصني، أنس المصطفى ودرغام، حسان (2013). طرائق تحليل التربة والنبات والمياه والأسمدة. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية. 223 ص.
- غانم، محمد عبود و إبراهيم، دعد معين (2014). استخدام تقنية التخمر لإنتاج الغاز الحيوي من روث الأبقار. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم البيولوجية، 36 (3): 157-167.
- Adekunle, K. F. and Okolie, J. A. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6, 205-212.

- Al Seadi, T., Ruiz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwaldes, T., Volke, S. and Janssens, R. (2008). Handbook of Biogas. University of Southern Denmark, Esbjerg.
- Angelidaki, I. and Ahring, B. (1997). Codigestion of olive-oil mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. *Biodegradation* (8), pp. 221–226.
- Aslanzadeh, S. (2014). Pretreatment of Cellulosic Waste and High Rate Biogas Production. Doctoral Thesis on Resource Recovery, University of Boras, Boras, 1-50.
- Boari, G., Brunetti, A., Rassino, R., Rozzi, A. (1984). Anaerobic digestion of olive mill wastewater. *Agricultural Wastes* 10. Pages 161-175.
- Dareioti, M. A., Dokianakis, S. N., Stamatelatoa, K., Zafiri C. and Kornaros, M. (2010). Exploitation of olive mill wastewater and liquid cow manure for biogas production. *Waste Management*, 30, 1841- 1848.
- Di Giovacchino, L., Basti C., Surrichio, G., Ferrante, M. (2002). Effect of spreading Olive Vegetable Water on soil cultivated with Maize and Grapevine. *OLIVE*. 91, 37-42.
- Erguder, H. T., Guven, E. and Demirer, N. G. (2000). Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors. *Process Biochemistry*, Volume 36, Issue 3, Pages 243-248.
- Fehrenbach, H., Giegrich, J., Reinhardt, G., Sayer, U., Gretz, M. and Schmitz, J. (2008). Kriterien einer nachhaltigen Bioenergienutzungim globalen Maßstab. *UBA-Forschungsbericht* 206: 41- 112.
- Gell, K., van Groenigen, J. W., Cayuela, M. L. (2011) Residues of bioenergy production chains as soil amendments: immediate and temporal phytotoxicity. *J. Hazard. Mater*, 186.
- Gerardi, M. H. (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Wiley, Hoboken, 89-92.
- Ginos, A., Manios. T. and Mantzavinos, D. (2006). Treatment of olive mill effluents by coagulation– flocculation–hydrogen peroxide oxidation and effect on phytotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 133, Issues 1-3, Pages 135-142.
- Hjorth, M., Christensen, K. V., Christensen, M. L. and Sommer, S. G. (2010). Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain.* 30, 153–180.
- Ioannis, S. Z. and Pilidis, G. A. (2018). Anaerobic digestion of agricultural manures and olive mill wastewater: The effects of co-digestion in biogas production and organic load reduction. University of Ioannina, Laboratory of Environmental Chemistry, 45110 Ioannina, Greece.
- Jonsson, O., Polman, E., Jensen, J. K., Eklund, R., Schyle, H., and Ivarsson, S. (2003). Sustainable gas enters the European gas distribution system. Danish gas technology center.
- Makadi, M., Tomocsik, A. and Orosz, V. (2012). Digestate: A New Nutrient Source – Review. *Biogas*, Dr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-51-0204-5, In Tech, Available from: www.intechopen.com.
- Marcato, C. E., Mohtar, R., Revel, J. C., Pouech, P., Hafidi, M. and Guiresse, M. (2009). Impact of anaerobic digestion on organic matter quality in pig slurry. *International Biodeterioration & Biodegradation*. Vol. 63, No. 3, pp. 260-266, ISSN 0964- 8305.

- Merlin Christy, P., Gopinath, L. R., and Divya, D. (2014). A Review on Anaerobic Decomposition and Enhancement of Biogas Production through Enzymes and Microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 167-173.
- Moller, H. B., S. G. Sommer and B. K. Ahring. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass Bioenergy* 26:485-495.
- Moller, K. and Muller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng. Life Sci.* 2012, 12, No. 3, 242–257.
- Rubio J. A., Romero L. I., Wilkie A. C. and Garcia-Morales J. L. (2019) Mesophilic Anaerobic Co-digestion of Olive-Mill Waste With Cattle Manure: Effects of Mixture Ratio. *Front. Sustain. Food Syst.* 3:9.
- Tambone, F., Genevini, P., D_Imporzano, G. and Adani, F. (2009). Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 12, pp. 3140–3142.
- Wang, Y., Zhang, Y., Wang, J., and Meng, L. (2009). Effects of volatile fatty acid concentrations on methane yield and methanogenic bacteria. *Biomass Bioenergy* 33, 848–853.
- Wilkie, A. C. (2008). Biomethane from biomass, biowaste and biofuels. in *Bioenergy*, eds J.D. Wall, C. S. Harwood, and A. Demain (Washington, DC: American Society for Microbiology Press), 195–205.
- WRAP. DC-Agri. (2015). Field Experiments for Quality Digestate and Compost in Agriculture—WP1 Report, Prepared by Bhogal et al. Available online: www.wrapni.org.uk
- Yadvika, S., Sreekrishnan, T. R., Kholi, S. and Rana, V. (2004). Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques- A Review. *Bioresource Technology*, 95, 1-100.
- Yen, H. W. and Brune, D. E. (2007). Anaerobic Co-Digestion of Algal Sludge and Waste Paper to Produce Methane. *Bioresource Technology*, 98, 130-134.
- Zenjari, B., Hajjouji El, H., Baddi Ait, G., Bailly R -J, Revel, C. J., Nejmeddine A. and Hafidi M.(2006) Eliminating toxic compounds by composting olive mill wastewater–straw mixtures. *Journal of Hazardous Materials*, Vol 138, Issue 3, Pages 433-437.

The Effect of Anaerobic Digestion of Olive Mill Wastewater Combined with Cattle Manure on Biogas Production and Residual Digestate Quality

Sokrat Ahmad⁽¹⁾ Muhamad Manhal Alzoubi ⁽²⁾ and Issa Kbaybu ⁽¹⁾

(1) Soil and Water Science Department, Agriculture Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria.

(2) Natural Resources Administration, General Commission for Scientific Agricultural Research (GCSAR), Damascus, Syria.

(*Corresponding author: Sokrat Ahmad, E-mail: Socrates.82.sy@gmail.com)

Received: 25/08/2021

Accepted: 4/11/ 2021

Abstract

Biogas technology mainly depends on Anaerobic digestion of organic wastes. It is considered one of the most spread technologies worldwide to treat the agro-residues in an economical and effective way. Moreover, it protects the environment from pollution and produce Methane gas as a renewable source of energy as well as the production of biogas fertilizer (digestate). Anaerobic co-digestion experiment was conducted of olive mill wastewater with cattle manure at a ratio of (60:40) using the digester located at Zahid Research Station for organic farming in Tartous Governorate. The aim was to minimize the adverse effects of OMWW on the environment, measuring the amount of produced biogas, and to evaluate the biogas fertilizer leftover at the end of the digestion process. There was a delay in biogas production due to the decrease in the pH of the fermentation solution at the beginning of the digestion process and to the acidic nature of the OMWW. After 15 days of feeding the digester, the biogas started to release and continued for 45 days, and the total production reached 195.4 m³ at a constant pressure of 0.02 bar. The results of the digestate analysis at the end of the digestion process showed a decrease of organic matter percentage and increase of pH compared to the organic wastes used in addition to good amounts of macro and micro nutrients. This study proves that mixing of OMWW with cattle manure is promising in enhancing biogas production and removing high organic load of OMWW.

Kew words: Anaerobic digestion, Olive Mill Wastewater, Biogas, Digestate