تأثير المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية والكيميائية لفرشة الدواجن في إنتاجية الغاز الحيوي

صقر الغضبان*

(الايداع:9 تشرين الثاني 2022،القبول:30 آذار 2022)

الملخص:

يعد الهضم اللاهوائي للمخلفات العضوية خياراً واعداً في معالجة هذه النفايات. تُعدُّ فرشة الدواجن إحدى المخلفات العضوية في سورية التي يمكن أن تكون مصدراً للطاقة النظيفة إذا ما تم معالجتها لاهوائياً. هدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية (بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1مم، 3مم، 10مم)، والكيميائية (بإضافة هيدروكسيد الصوديوم للعينات بنسبة 2%، 5%، 8%) لمخلفات المداجن على إنتاج الغاز الحيوي والميثان. أجريت التجارب في وحدة تخمير لاهوائية مخبرية مؤلفة من أربعة هواضم بسعة 13.5 ليتر، ضمن درجة حرارة 37 مْ ولمدة 42 يوماً. أظهرت النتائج أن المعالجة المشتركة بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1مم وإضافة 8% هيدروكسيد الصوديوم هي أفضل النتائج مقارنة بجميع المعالجات الميكانيكية والكيميائية والمشتركة، تلاها ومن دون فروق معنوية المعالجة المشتركة بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1مم وإضافة 5% هيدروكسيد الصوديوم، وبمعدل زيادة في إنتاجية الغاز الحيوي 108.48%، 106.15% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: فرشة الدواجن، الغاز الحيوي، الميثان، المعالجة الأولية المشتركة.

---

*أستاذ مساعد في جامعة دمشق، كلية الزراعة الثانية، فرع السويداء.

The effect of Combined chemical and mechanical pretreatment of poultry litter on the biogas productivity

Sakr AL Gadban*

(Received:9 November 2021,Accepted:30 March 2022)

Abstract:

Anaerobic digestion for organic wastes is one promising option in processing these waste. Poultry litter is considered as one of the organic waste in Syria, which can be a source of clean energy if treated anaerobically. This research aimed to study the effect of combined chemical treatment (by adding 2%, 5%, 8% NaOH to the substrates) and mechanical treatment (by milling substrates into 1, 3 and 10mm diameters pieces) pretreatment of these wastes on producing biogas and methane. The batch experiences were conducted in laboratory of anaerobic digestion unit which consists of four digesters (13.5 L capacity each) at 37°C temperature, for 42 days. The results showed that combined pretreatment by milling the substrates into 1mm and adding 8%NaOH registered the best results of all kinds of pretreatment, followed by (without significantly differences) combined pretreatment by milling substrates into 1mm diameter pieces and adding 5%NaOH with a rate of increasing biogas productivity 108.48%, 106.15% respectively.

Keywords: Sodium hydroxide; poultry litter; biogas; methane; combined pretreatment.

*Associate Professor, Damascus University, Second Faculty of Agriculture, Sweida, Syria

1-المقـــدمـــة:

تشير الإحصاءات السنوية لوزارة الزراعة إلى أن عدد الدجاج الكلي وصل في سورية إلى حوالي (26203000) طيراً وفقاً للمجموعة الإحصائية الزراعية (2011)، ويشكل عدد الطيور المنتجة للحم ما يقارب 35% من العدد الإجمالي والتي ينتج عن تربيتها مخلفات عضوية تدعى الفرشة (مكونة من زرق الدجاج ونشارة الخشب) تقدر كميتها بـ 199.071 ألف طن سنوياً(علي وزملاؤه، 2011). يمكن الاستفادة من هذا النوع من المخلفات بتخميرها لاهوائياً لإنتاج الغاز الحيوي ويستخدم السماد العضوي المخمر الناتج في الزراعة.

تحوي هذه المخلفات كميات كبيرة من نشارة الخشب تعمل على إعاقة عملية التخمر اللاهوائي حيث تعتبر المواد اللغنوسيللوزية من المواد المقاومة للهضم اللاهوائي نتيجة لتركيبها وبناءها، فهي تدخل في ترسبات الجدر الخلوية حيث تجتمع ألياف السيللوز الطويلة مع بعضها لتشكل حزم متوازية من السيللوز تغلف هذه الحزم بجزيئات الهيمسيللوز لتشكل ما يعرف بالشعيرات الدقيقة ويتوضع الليغنين في كامل الجدار الخلوي بين الشعيرات الدقيقة وضمنها (حميد، 2006)، ونتيجة لهذا الترابط الجزيئي الصغير جداً بين السيللوز والهيمسيللوز والليغنين يجعلها مقاومة لتأثير البكتريا المفككة (Bruni وزملاؤه، 2010).

تعتبر المعالجة الأولية المشتركة خطوة هامة وعملية للتحول الكيميائي والحيوي لكتلة اللغنوسيللوز العضوية. إذ بينت العديد من الدراسات بأن المعالجة الميكانيكية والكيميائية الأولية للمادة العضوية تحسن من إنتاج الغاز الحيوي، إذ أن هذه المعالجة تجعل المركبات الأساسية للمادة العضوية (السيللوز والهيمسيللوز واللغنين) أكثر قابلية للتحلل مما يؤدي لزيادة الغاز الحيوي الناتج (Zhong وزملاؤه، 2011).

تشمل هذه المعالجة على معالجة أولية ميكانيكية (الطحن مثلاً) لكتلة اللغنوسيللوز العضوية وإضافة مادة كيميائية قلوية. ينتج عن هذه المعالجة أجزاء قابلة للذوبان (اللغنين، هيمسيللوز، مكونات لا عضوية....) وأجزاء صلبة غنية من السيللوز.

تتم المعالجة الميكانيكية من خلال تجزئة المادة العضوية ميكانيكياً باستخدام مطحنة يمكن التحكم بدرجة التنعيم المطلوبة حيث تعمل على تمزيق جدران الخلايا مما يجعل تأثير الكائنات الحية المجهرية أكثر قدرة وفعالية مما يؤدي لزيادة التحلل اللاهوائي (Zhong وزملاؤه، 2011).

بينما تعمل إضافة المادة الكيميائية القلوية على إزالة اللغنين من المادة العضوية ويبقى السيللوز وجزء من الهيمسيللوز في الأجزاء الصلبة، إذ تخضع هذه الأجزاء الصلبة لعملية التميه الأنزيمي لإنتاج سكريات (C5 – C6) وهذه المعالجة مناسبة خاصة مع طرق التخمر التي تحول فيه هذه السكريات لمنتجات أخرى.

وقد تم المزج بين طريقتي المعالجة الميكانيكية والكيميائية لأن تخفيض حجم جزيئات المادة العضوية هو الأفضل للتحلل اللاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي، ولكن تخفيض حجم الجزيئات يصبح ذو تأثير أكبر عندما يتم استخدام معالجة أولية أخرى (كيميائية ، فيزيائية ، بيولوجية ...) (Taherzadeh and Karimi, 2008). إذ تجعل الأنزيمات أكثر وصولاً للسيللوز مما يرفع قيمة تحلل اللغنين ويحسن التميه الأنزيمي. بالإضافة لذلك تمنع درجات الحرارة المعتدلة تشكيل مواد الأكسدة والمثبطة للتخمر.

المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية والكيميائية القلوية تزيد كفاءة المعالجة الأولية للمادة العضوية أكثر مقارنة بالمعالجة القلوية فقط.

إن الدراسات التي تمت على المعالجة المشتركة الميكانيكية والكيميائية القلوية قليلة جداً (Harmsen وزملاؤه، 2010). ففي دراسة على نبات الـ Miscanthus لإنتاج الهيدروجين تم دمج المعالجة الميكانيكية والكيميائية (هيدروكسيد الصوديوم) في خطوة واحدة وعلى درجة حرارة 70 مْ وأظهرت الدراسة علاقة معكوسة بين محتوى اللغنين وكفاءة التميه الأنزيمي للسكريات

المتعددة. حيث تم الحصول على أعلى القيم لتحطم اللغنين عند استخدام المعالجة المشتركة حيث وصلت النسبة إلى 77% لتحطم اللغنين، 95% للسيللوز، و44% تميه الهيمسيللوز، وبعد التميه الأنزيمي تحول ما نسبته 69% من السيللوز و 38% من الهيمسيللوز إلى سكريات (Vrije de وزملاؤه، 2002).

تعمل المعالجة الأولية الميكانيكية على زيادة سطوح المادة العضوية التي يمكن للكائنات الحية المجهرية مهاجمتها مما يؤدي إلى زيادة نشاطها الميكروبي وبالتالي زيادة التحلل البيولوجي وإنتاج الغاز حسب ما أورده Zhong وزملاؤه (2011)، وHendriks وزملاؤه (2009). كما تقلل من درجة التبلور لألياف السيللوز مما يزيد من فاعلية هضم المواد اللغنوسيللوزية (Fan وزملاؤه، 1980).

وأوضحت العديد من الدراسات بأن المعالجة الأولية الميكانيكية تزيد كمية الميثان من اللغنوسيللوز بما يزيد على 25% (Bruni وزملاؤه، 2010)، كما بيّن كلاً من Normak وMenind (2010) بأن إنتاج الغاز الحيوي بلغ نحو 520 $l_N\ kg^{-1}$ OTS عند تخفيض حجم الألياف اللغنوسيللوزية إلى جزيئات بحجوم 0.5 مم مع وجود فروق معنوية مقارنة بالشاهد على مستوى دلالة 5%.

كما أكدت العديد من الدراسات بأن المعالجة الكيميائية الأولية بهيدروكسيد الصوديوم للمادة العضوية اللغنوسيللوزية قبل عملية التخمر اللاهوائي أثرت ايجابياً في إنتاجية الغاز الحيوي مقارنة بالعينات غير المعالجة. وقد تباين مقدار الزيادة تبعاً لنسبة NaOH المضافة، وطريقة المعالجة، ونوع المادة العضوية، بالإضافة إلى شروط عملية التخمر اللاهوائي.

يعد هيدروكسيد الصوديوم من أهم المواد الكيميائية المستعملة في المعالجة الأولية القلوية، فتسبب هذه المادة الكيميائية انتفاخ وتضخم واضح في المادة العضوية مما يزيد من مساحة السطوح الداخلية لها، ثم يحدث انخفاض في درجة البلمرة نتيجة حدوث انفصال للروابط الهيكلية بين الليغنين والكربوهيدرات، عندها يحدث اختلال في بنية الليغنين يليها حدوث تفاعل التصبن ما بين روابط جزيئات الأستر مع زيلان Xylan الهيمسيللوز ومكونات أخرى مثل الليغنين، مما يؤدي لزيادة مسامية المواد اللغنوسيللوزية من خلال إزالة مثل هذا الارتباط، بالإضافة لذلك فإن إزالة الأستيل وبدائل حمض الإيورنيك يؤدي لزيادة إمكانية وصول الأنزيمات لسطوح السيللوز والهيمسيللوز (Carvalheiro, 2008) (Sun وزملاؤه، 2002).

تم إيجاد طريقة معالجة أولية دعيت بالمعالجة الأولية بهيدروكسيد الصوديوم بالحالة الصلبة solid state حيث يضاف هيدروكسيد الصوديوم بحالته الصلبة وفي درجة الحرارة العادية، وبإضافة كمية قليلة ومحدودة من الماء لإبقاء المادة العضوية بحالة مشبعة بدون إيجاد ماء إضافي وفقاً لـ He وزملاؤه (2008). وقد حققت هذه الطريقة العديد من الفوائد منها: استخدام كميات محدودة من الماء، عدم وجود نواتج ثانوية عن عملية المعالجة الأولية وبالتالي لاوجود لكلف استثمارية إضافية، عدم وجود استهلاك للطاقة لتنفيذ هذه المعالجة الأولية.

أكدت العديد من الدراسات بأن المعالجة الكيميائية الأولية بهيدروكسيد الصوديوم للمادة العضوية اللغنوسيللوزية قبل عملية التخمر اللاهوائي أثرت إيجابياً في إنتاجية الغاز الحيوي مقارنة بالعينات غير المعالجة. وقد تباين مقدار الزيادة تبعاً لنسبة NaOH المضافة، وطريقة المعالجة، ونوع المادة العضوية، بالإضافة إلى شروط عملية التخمر اللاهوائي. فقد أظهرت نتائج He وزملاؤه (2008) في معالجة بقايا محصول الرز بـ NaOH بنسبة 6% ازدياد إنتاج الغاز الحيوي بمقدار 27.3–64.5%، نتيجة لتحسن التحلل البيولوجي لبقايا المحصول باستخدام NaOH، كما أدت المعالجة الأولية الكيميائية باستخدام NaOH لقش القمح لزيادة إنتاجية الغاز الحيوي بنسبة تراوحت 38– 119% مقارنة بالعينات غير المعالجة وفقاً لـ Wu وزملاؤه (2006). كما أورد Zhu وزملاؤه (2010) بأن المعالجة الأولية بهيدروكسيد الصوديوم لقوالح الذرة أدت لزيادة 37% في الغاز الحيوي الناتج مقارنة بالعينات غير المعالجة. وقد وجد Zhong وزملاؤه (2011) بأن إنتاج الغاز الحيوي

بعد معالجة قش الذرة معالجة أولية كيميائية بهيدروكسيد الصوديوم يزيد على إنتاج الغاز الحيوي لقش الذرة الخام (بدون معالجة) ولقش الذرة المعالج بيولوجياً بمقدار 207.07%، 16.58% على التوالي.

بينت الدراسة المرجعية عدم وجود أبحاث سابقة عن تأثير المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية والكيميائية بإضافة هيدروكسيد الصوديوم لفرشة الدواجن على إنتاجية الغاز الحيوي والميثان.

2-هدف البحث:

هَدَف هذا البحث إلى دراسة تأثير المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية والكيميائية بإضافة هيدروكسيد الصوديوم لفرشة الدواجن في إنتاجية الغاز الحيوي والميثان، وفي زمن التخمر تحت ظروف الحرارة المعتدلة 37 مْ في وحدات تخمير لاهوائية مخبرية.

3-مواد البحث وطرائقه:

1-العينات والبادئ:

أُخذت العينات من أحد المداجن النموذجية لتربية الفروج في شباط 2012، ثم حُفظت في أكياس بلاستيكية أحكم إغلاقها ضمن براد على درجة حرارة 4 مْ حتى بدء التجارب، ثم أجريت عليها معالجة أولية ميكانيكية تضمنت عملية طحن باستعمال مطحنة مخبرية كهربائية (Starmix) واستخدمت مناخل ذات فتحات 1مم و3مم و10مم للحصول على الأقطار المطلوبة للعينات في المعالجة الميكانيكية، ثم حُفظت في أكياس بلاستيكية أحكم إغلاقها ضمن براد على درجة حرارة 4 مْ حتى قبل ثلاث أسابيع من بدء التجارب، حيث أجريت عليها معالجة أولية كيميائية باستخدام هيدروكسيد الصوديوم بالحالة الصلبة، فوضع كل 100غ من المادة العضوية في عبوة بلاستيكية ثم أضيف لها NaOH للحصول على التركيز المطلوب (2%- 5%- 8%) على أساس الوزن الرطب، تلا ذلك إضافة ماء مقطر لكل عبوة للحصول على المحتوى الرطوبي المطلوب 48 - 49 % (Zhong وزملاؤه، 2011) و (He وزملاؤه، 2008). ثم وضعت قطعة قماشية من الشاش على كل عبوة بلاستيكية وثبتت بالاستعانة بقطعة مطاطية وتركت في درجة حرارة المخبر لمدة ثلاث أسابيع مع التحريك المستمر، ثم أضيفت إلى الهواضم اللاهوائية. جُمع البادئ المستخدم وهو عبارة عن الراسب الناتج عن التخمير اللاهوائي لمخلفات الأبقار من إحدى المخمرات المنفذة في المحافظة من قبل المركز الوطني لبحوث الطاقة من النموذج الهندي المعدل.

أجريت التحاليل الكيميائية للعينات (فرشة الدواجن) والبادئ قبل بدء التجارب وشملت: المادة الجافة (TS)، المادة العضوية في المادة الجافة (OTS)، درجة الحموضة (pH)، نسبة الكربون إلى النيتروجين(C/N) ، نسب العناصر التالية: (Ca% Zn - P% -K% ملغ / كغ - Cu ملغ / كغ - Fe ملغ / كغ).

2-اختبارات الهضم اللاهوائي:

أُجريت تجارب تحري إنتاج الغاز الحيوي والميثان من عينات فرشة الدواجن غير المعالجة (الشاهد) والعينات المعالجة ميكانيكياً (بطحن العينات لأقطار 1مم، 3مم، 10مم) وكيميائياً (بإضافة NaOH بنسب 2%، 5%، 8%) في وحدة تخمير لاهوائية تجريبية مصنعة محلياً، ضمن درجة حرارة 37مْ لمدة 42 يوماً.

جرى تخمير 283غ FM (مادة طازجة) من كل عينة بشكل منفرد مع 10000غ (FM) من البادئ وكانت نسبة المادة العضوية في المادة الجافة للعينات بالنسبة لمثيلتها في البادئ 1:2. وتم تحريك العينات داخل كل هاضم مدة عشر دقائق كل ثلاثين دقيقة (VDI 4630,2006) و (DIN standard. 2000. 51900).

وتم أخذ قراءات حجم الغاز الحيوي المنطلق بشكل يومي، حيث جرت عملية جمع الغاز الحيوي في الشروط النظامية وذلك لإمكانية مقارنة هذه النتائج لاحقاً. قيس حجم الغاز الحيوي الناتج من البادئ بشكل مستقل وطرحت كميته من كمية الغاز الحيوي الناتج من تخمر العينات مع البادئ وذلك للوقوف على الكمية الفعلية للغاز الناتج من العينات. أُنجزت عملية تحري

نوعية الغاز الحيوي (نوع الغازات الموجودة فيه ونسبها المئوية) مرة واحدة أسبوعياً، باستخدام جهاز تحليل الغازات MultiRAE Lite PGM–6208، وتم قياس حجم الغاز الحيوي في الشروط النظامية درجة الحرارة 273 كلفن وضغط جوي 1013 ميلي بار، في لتر نظامي لكل كيلو غرام من المادة العضوية في المادة الصلبة l_N (VDI 4630, 2006 kg^{-1} OTS).

3–التحليل الإحصائي:

نفذت التجارب بطريقة تصميم القطاعات كاملة العشوائية لدراسة تأثير المعالجات الأولية المعالجة ميكانيكياً (بطحن العينات لأقطار 1مم، 3مم، 10مم) وكيميائياً (بإضافة NaOH بالحالة الصلبة بنسب 2 – 5 – 8 %) لفرشة الدواجن مقارنة بالشاهد (دون معالجة أولية ميكانيكية وكيميائية) على ثلاث مكررات. حللت المعطيات إحصائياً باستخدام برنامج SPSS (version 15, 2007) حيث تم تحليل التباين ال Two Way ANOVA ثم قورنت المتوسطات بإجراء اختبار أقل فرق معنوي LSD5%.

4–النتائج والمناقشة:

1–نتائج التحليل الكيميائي للعينات:

يبين الجدول (1) نتائج تحليل عينات فرشة الدواجن والبادئ قبل وضعها في الهواضم التجريبية للوقوف على تركيب كل منها. جرت التحاليل وفقاً لإجراءات التحاليل القياسية (حسن وزملاؤه، 2003) في مخابر مركز البحوث العلمية الزراعية.

الجدول رقم(1): التحاليل الكيميائية التي أجريت على فرشة الدواجن والبادئ، قبل بدء التجارب.

نوع التحليل	البادئ	فرشة الدواجن
%TS	5.84	78.25
%W	94.16	21.75
% OTS / TS	66.22	86.38
% OTS / FM	3.82	67.60
pH	8.1	5.9
C/N	N	19.04
%C	N	29.32
% N	N	1.54
% P	N	0.82
% K	N	2.12
% Ca	N	10.50
Zn ملغ / كغ	N	138.51
Cu ملغ / كغ	N	26.74
Fe ملغ / كغ	N	955.23

%TS المادة الجافة؛ %W الرطوبة النسبية؛ (OTS/TS)% المادة العضوية في المادة الجافة؛ (OTS/FM)% المادة العضوية في العينة الطازجة؛ pH درجة الحموضة؛ C/N نسبة الكربون إلى النيتروجين؛ C الكربون، N الآزوت، P الفوسفور، K البوتاسيوم؛ Ca الكالسيوم؛ Zn الزنك؛ Cu النحاس؛ Fe الحديد؛ n غير مقاسة.

2–تأثير المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية والكيميائية على إنتاج الغاز الحيوي:

تم قياس إنتاج الغاز الحيوي من عينات فرشة الدواجن المعالجة كيميائياً بإضافة NaOH بنسب (2%، 5%، 8%) والتي تم معالجتها ميكانيكياً إلى أقطار (1مم، 3مم، 10مم) وعينات الشاهد غير المعالجة ميكانيكياً أو كيميائياً كلاً على حدة.

يُبين الجدول (2) ناتج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي للعينات المختبرة والانحراف المعياري لثلاثة مكررات والفروق المعنوية عند درجة وثوقية ($P < 0.05$). إذ سُجل أعلى معدل لإنتاج الغاز الحيوي (510.72) $l_N\ kg^{-1}OTS$ من العينات المعالجة كيميائياً بإضافة 8% من NaOH والتي تمت معالجتها ميكانيكياً لأقطار 1مم، وأقل معدل (244.98) $l_N\ kg^{-1}OTS$ من العينات غير معالجة كيميائياً وميكانيكياً. مما يدل على أن إنتاج الغاز الحيوي من عينات فرشة الدواجن المعالجة بصورة مشتركة يزداد مع نقصان أقطار العينات المعالجة ميكانيكياً وبزيادة تركيز NaOH المضاف في تجاربنا.

الجدول رقم (2): إنتاج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي للعينات المختبرة (المعالجة ميكانيكياً وكيميائياً)

نسبة NaOHالمضافة	المعالجة الميكانيكية	N	ناتج الغاز الحيوي		
%			$l_N\ kg^{-1}$ OTS	S. D	P
8	1مم	3	510.72g	0.5	.000
5		3	505.01g	1.62	.000
2		3	494.77 f	1.9	.000
8	3 مم	3	462.90 e	2.39	.000
5		3	456.38 d	1.14	.000
2		3	439.83 b	0.38	.000
8	10 مم	3	460.96 de	0.64	.000
5		3	449.93 c	4.43	.000
2		3	444.54 bc	1.225	.000
غير معالجة كيميائياً أو ميكانيكياً (الشاهد)		3	244.98 a	10.60	-

S.D = الانحراف المعياري؛ N= عدد المكررات؛ p= درجة الوثوقية؛ تشير الحروف المشتركة لعدم وجود فرق معنوي بين المتوسطات عند مستوى معنوية 5% (LSD = 5.834).

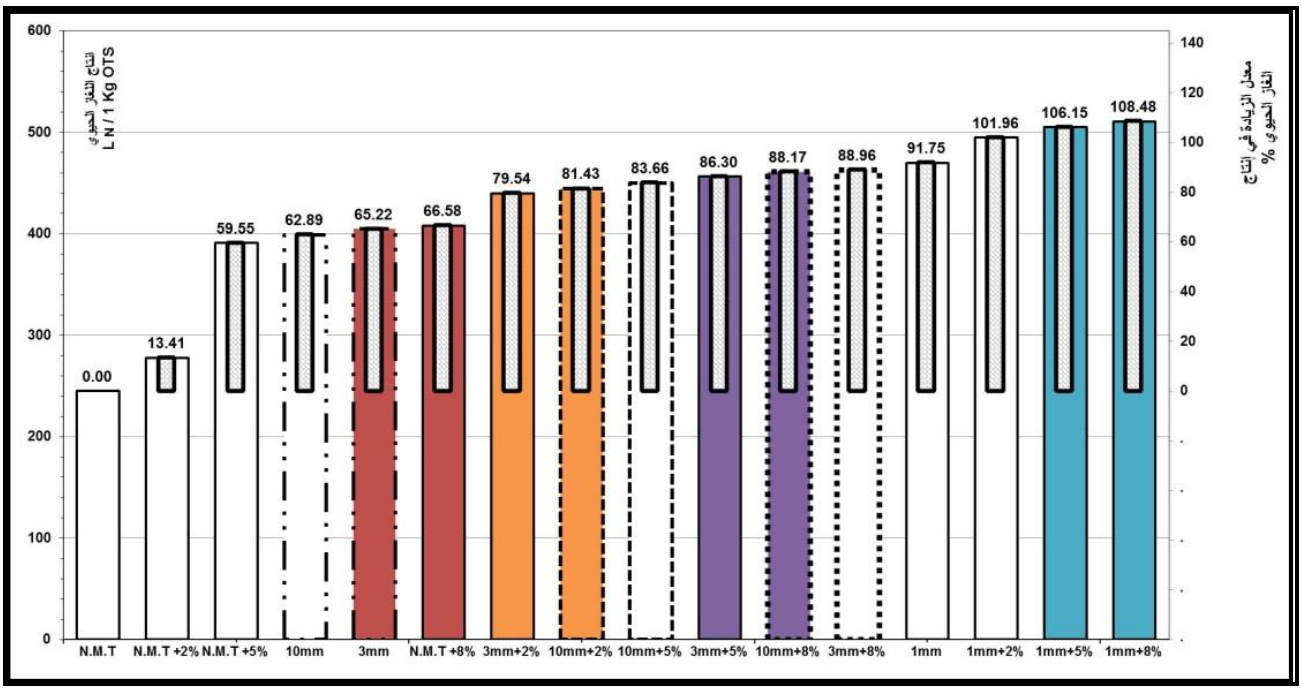
من خلال تحليل التباين يتبين وجود فروق معنوية بين متوسطات طرق المعالجة الأولية الميكانيكية وكذلك وجود فروق معنوية بين متوسطات طرق المعالجة الكيميائية كما وجد فروق معنوية في التفاعل بين طرق المعالجة الكيميائية والميكانيكية كما هو موضح في الجدول (3).

الجدول رقم(3): تحليل التباين الـ Two Way ANOVA للعينات المختبرة (المعالجة ميكانيكياً وكيميائياً)

مصادر التباين Source	Type III Sum of Squares مجموع مربعات الانحرافات	Df درجة الحرية	Mean Square متوسط مربعات الأنحرافات	قيمةF	المعنوية.Sig
Mechanical المعاملة الميكانيكية	228558.007	3	76186.002	14171.784	.000
Chemical المعاملة الكيميائية	65477.382	3	21825.794	4059.938	.000
Mechanical* chemical التفاعل بين المعاملات	34505.332	9	3833.926	713.170	.000
Error الخطأ المعياري	258.043	48	5.376		
Corrected Total الخطأ الكلي	328798.764	63			

Dependent Variable: Biogas Volumeالعامل المتأثر: حجم الغاز الحيوي

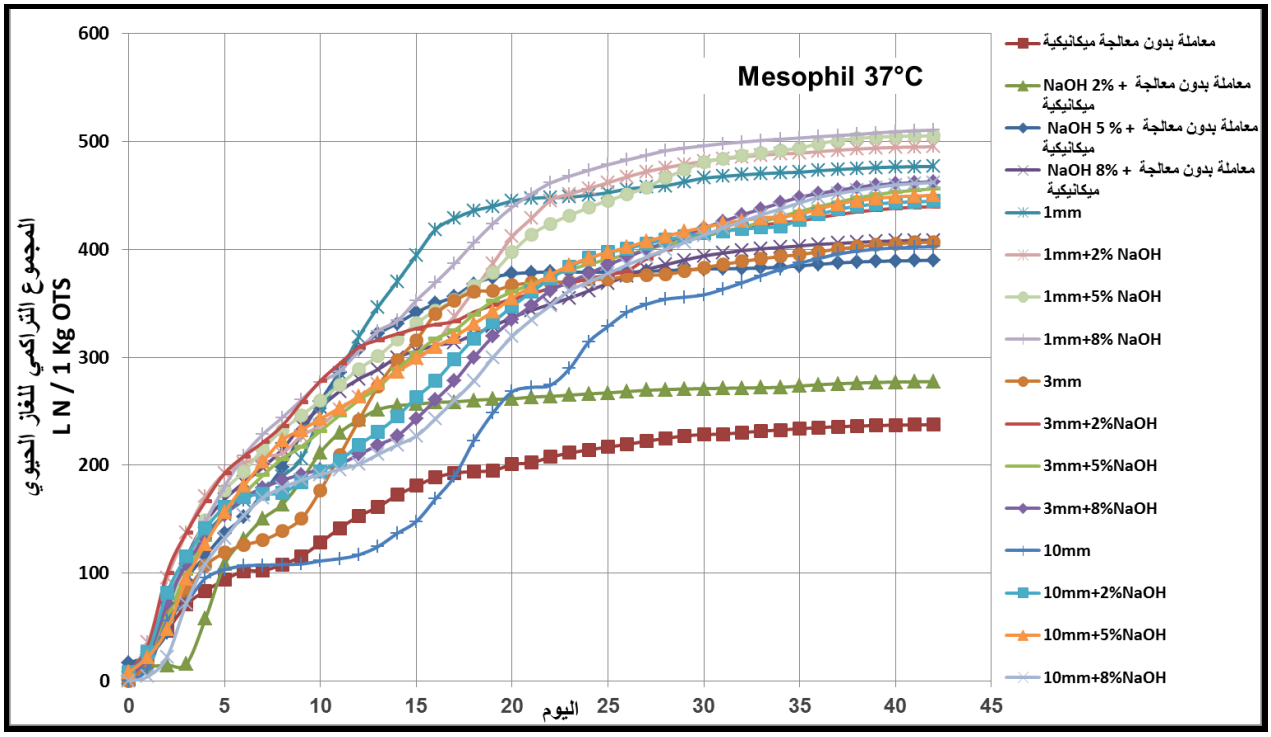
ولدى مقارنة نتائج الهضم اللاهوائي للعينات المعالجة كيميائياً وميكانيكياً مع العينات غير المعالجة (الشاهد)، بلغ أكبر معدل زيـادة في إنتاج الغاز الحيوي 108.48% من المعالجة الميكانيكية 1مم والكيميائية بإضافة 8% NaOH يليها المعالجة الميكانيكية لأقطار 1مم وبإضافة 5% NaOH بنسبة زيادة 106.15%. كما في الشكلين (1) و(2) حيث يمكن مقارنة إنتاج الغاز الحيوي من عينات فرشة الدواجن المعالجة أولياً (ميكانيكياً أو/ وكيميائياً) بالعينات غير المعالجة.



الشكل رقم (1): إنتاج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي للمعاملات المختلفة ومعدل الزيادة في إنتاجيته (%) بالمقارنة مع العينات غير المعالجة ميكانيكياً وكيميائياً

N.M.T= العينات الغير معالجة ميكانيكياً ، بالنسبة لباقي المعاملات تمثل درجة المعالجة الميكانيكية مقدرة (مم) بالإضافة لنسبة NaOH (%)المضافة كمعالجة كيميائية

العينات ذات الألوان المتتالية (عدا اللون الأبيض – الأساسي) بالإضافة للإطارات المتتالية المتماثلة تدل على عدم وجود فروق معنوية بين المعالجات المختلفة.



الشكل رقم (2): المجموع التراكمي للغاز الحيوي لجميع المعاملات خلال فترة الهضم اللاهوائي.

سجلت المعالجة المشتركة بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1مم وإضافة 8% هيدروكسيد الصوديوم أفضل النتائج مقارنة بجميع المعالجات الميكانيكية والكيميائية والمشتركة، تلاها وبدون فروق معنوية المعالجة المشتركة بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1مم وإضافة 5% هيدروكسيد الصوديوم، وبمعدل زيادة في إنتاجية الغاز الحيوي 108.48%، 106.15% على التوالي.

للمعالجة الميكانيكية أثر إيجابي في زيادة إنتاجية الغاز الحيوي من العينات المعالجة بقيمة ثابتة من هيدروكسيد الصوديوم، فمثلاً عند إضافة 5% هيدروكسيد صوديوم لفرشة الدواجن غير المعالجة ميكانيكياً بلغ معدل الزيادة في الغاز الحيوي 59.55% مقارنة بالشاهد، ولكن بطحن العينات لأقطار 10مم وإضافة 5% NaOH بلغ معدل الزيادة 83.66% مقارنة بالشاهد، وبزيادة المعالجة الميكانيكية لأقطار 3مم وإضافة النسبة ذاتها (5%) من NaOH بلغ معدل الزيادة 86.30% مقارنة بالشاهد، وبزيادة المعالجة الميكانيكية لأقطار 1مم وإضافة النسبة ذاتها (5%) من NaOH بلغ معدل الزيادة 106.15% مقارنة بالشاهد.

كما وجد أن للمعالجة الكيميائية أثر ايجابي في زيادة إنتاجية الغاز الحيوي من العينات المعالجة ميكانيكياً إلى جزيئات بأقطار متماثلة، فمثلاً عند طحن عينات فرشة الدواجن لجزيئات بأقطار 10مم وغير المعالجة كيميائياً بلغ معدل الزيادة في الغاز الحيوي 62.89% مقارنة بالشاهد، ولكن بإضافة 2% NaOH (للعينات المعالجة ميكانيكياً لأقطار 10مم) بلغ معدل الزيادة 81.43% مقارنة بالشاهد، وبإضافة 5% NaOH لعينات معالجة ميكانيكياً لأقطار 10مم بلغ معدل الزيادة 83.66% مقارنة بالشاهد، وبزيادة الإضافة الكيميائية إلى 8%NaOH (للعينات المعالجة ميكانيكياً لأقطار 10مم) بلغ معدل الزيادة 88.17% مقارنة بالشاهد.

ويمكن أن يعود ذلك لما أظهرته المعالجة الأولية الميكانيكية والكيميائية من فعالية واضحة عند معالجة فرشة الدواجن في زيادة تحلل السيللوز وذلك من خلال تأثيرها بشكل فعال في إزالة اللغنيين، وبشكل ثانوي وبسيط في تفكك الهيمسيللوز مما يسمح للبكتريا المفككة بالوصول إلى السكريات المختلفة وتحليلها.

3-تأثير المعالجة الأولية المشتركة والكيميائية في إنتاج الميثان:

تبين النتائج المعروضة في الجدول (4) أن حجم الميثان الناتج عن الهضم اللاهوائي لعينات فرشة الدواجن المختبرة تراوحت بين (116.77، 264.53) $l_N\ kg^{-1}$ OTS. ولدى مقارنة حجم الميثان الناتج للعينات المعالجة كيميائياً بإضافة NaOH (بنسب 2%، 5%، 8%) لدى معالجتها ميكانيكياً لأقطار (1مم، 3مم، 10مم) مع العينات غير المعالجة ميكانيكياً بلغ أعلى معدل زيـادة 126.54% من المعالجة الأولية الكيميائية بإضافة 5% NaOH والميكانيكية لأقطار 1مم.

من خلال تحليل التباين الجدول (4) يتبين وجود فروق معنوية بين متوسطات طرائق المعالجة الأولية الميكانيكية وكذلك وجود فروق معنوية عند ($P<0,05$) بين متوسطات طرق المعالجة الكيميائية كما وجد فروق معنوية عند ($P<0,05$) في التفاعل بين طرق المعالجة الكيميائية والميكانيكية.

حيث سجلت المعالجة المشتركة بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1 مم وإضافة 5% هيدروكسيد الصوديوم أفضل النتائج مقارنة بجميع المعالجات الميكانيكية والكيميائية والمشتركة، تلاها وبدون فروق معنوية المعالجة المشتركة بطحن العينات إلى جزيئات بأقطار 1 مم وإضافة 8% هيدروكسيد الصوديوم، وبمعدل زيادة في إنتاج الميثان 126.54%، 126.43% على التوالي.

كما تفوقت طرائق المعالجة الأولية الميكانيكية (1مم، 3مم، 10مم) بمعدل إنتاج الميثان على طرق المعالجة الكيميائية (بإضافة 8%، 5%، 2% هيدروكسيد الصوديوم)، و وجد للمعالجة الميكانيكية أثر ايجابي في زيادة الميثان من العينات المعالجة بقيمة ثابتة من هيدروكسيد الصوديوم، فمثلاً عند إضافة 5% هيدروكسيد صوديوم لفرشة الدواجن غير المعالجة ميكانيكياً بلغ معدل الزيادة في الميثان 62.39% مقارنة بالشاهد، ولكن بطحن العينات لأقطار 10 مم وإضافة 5% NaOH بلغ معدل الزيادة 93.84% مقارنة بالشاهد، وبزيادة المعالجة الميكانيكية لأقطار 3 مم وإضافة النسبة ذاتها (5%) من NaOH بلغ معدل الزيادة 101.22% مقارنة بالشاهد، وبزيادة المعالجة الميكانيكية لأقطار 1 مم وإضافة النسبة ذاتها (5%) من NaOH بلغ معدل الزيادة 126.54% مقارنة بالشاهد.

الجدول رقم(4): الميثان الناتج من الهضم اللاهوائي للعينات المختبرة (المعالجة ميكانيكياً وكيميائياً) وتركيزه في الغاز الحيوي.

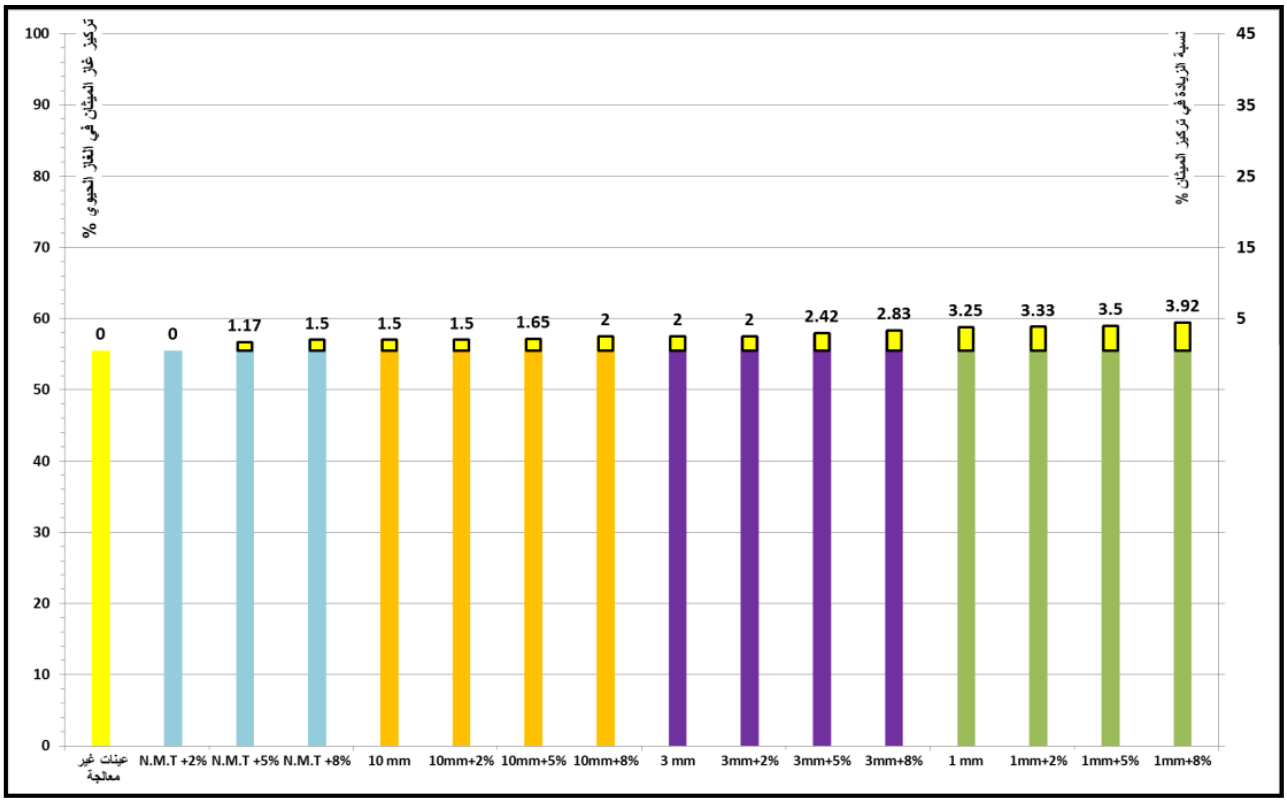
نسبة NaOH المضافة	أقطار جزيئات فرشة الدواجن	N	الميثان الناتج			
%			l_N kg^{-1} OTS	S.D	p	[Vol. %]
8	1 مم	3	264.40(*)	0.852	.000	59.42
5		3	264.53(*)	0.69	.000	59.00
2		3	258.58(*)	1.08	.000	58.83
8	3 مم	3	246.72(*)	1.554	.000	58.33
5		3	234.96(*)	0.143	.000	57.92
2		3	219.61(*)	0.98	.000	57.50
8	10 مم	3	237.58(*)	1.191	.000	57.50
5		3	226.35(*)	5.33	.000	57.15
2		3	231.06(*)	0.83	.000	57.00
غير معالجة كيميائياً أو ميكانيكياً (الشاهد)		3	116.77	4.45	-	55.50

S.D= الانحراف المعياري؛ N= عدد المكررات؛ p = درجة الوثوقية؛ (*) تبين وجود فرق معنوي بين المتوسطات مقارنة بالشاهد عند مستوى معنوية 5%.

كما وجد للمعالجة الكيميائية أثر ايجابي في زيادة إنتاج الميثان من العينات المعالجة ميكانيكياً إلى جزيئات بأقطار متماثلة، فمثلاً عند طحن عينات فرشة الدواجن لجزيئات بأقطار 3مم وغير المعالجة كيميائياً بلغ معدل الزيادة في الميثان 74.35% مقارنة بالشاهد، ولكن بإضافة 2% NaOH (للعينات المعالجة ميكانيكياً لأقطار 3مم) بلغ معدل الزيادة 80.07% مقارنة بالشاهد، وبإضافة 5% NaOH لعينات معالجة ميكانيكياً لأقطار 3مم بلغ معدل الزيادة 101.22% مقارنة بالشاهد، وبزيادة الإضافة الكيميائية إلى 8% NaOH (للعينات المعالجة ميكانيكياً لأقطار 3مم) بلغ معدل الزيادة 11.29% مقارنة بالشاهد.

4-تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية والكيميائية في تركيز الميثان في الغاز الحيوي:

يبين الشكل (3) تراكيز الميثان في الغاز الحيوي الناتج عن الهضم اللاهوائي لعينات فرشة الدواجن التي تم معالجتها أولياً (ميكانيكياً و/أو كيميائياً) ومقارنتها بعينات الشاهد غير المعالجة. فقد تراوح تركيز الميثان في الغاز الحيوي بين 55.50-59.42 % أما النسبة المتبقية كانت بأغلبيتها غاز CO2، حصلنا على أعلى تركيز للميثان (59.42 %Vol.) من العينات المعالجة كيميائياً بإضافة 8% NaOH والمعالجة ميكانيكياً لأقطار 1مم وأخفض تركيز للميثان (55.50 %Vol.) ناتج من الهضم اللاهوائي لعينات فرشة الدواجن غير المعالجة ميكانيكياً وكيميائياً ومن العينات المعالجة كيميائياً بإضافة 2% NaOH أيضاً. إن المعالجة الميكانيكية و/أو الكيميائية المختلفة لعينات فرشة الدواجن أدت إلى زيادة في تركيز الميثان في الغاز الحيوي بمعدل تراوح بين 0.08 – 3.92 %، ويمكن أن تفسر الزيادة في تركيز الميثان إلى الدور الإيجابي الذي تلعبه التجزئة الميكانيكية و/أو الكيميائية للعينات في زيادة قدرة تحلل اللغنوسيللوز.



الشكل رقم (3): مقارنة تركيز الميثان في الغاز الحيوي للمعالجات المختلفة.

N.M.T= العينات غير المعالجة ميكانيكياً ، بالنسبة لباقي المعاملات تمثل درجة المعالجة الميكانيكية مقدرة (مم) بالإضافة لنسبة NaOH (%)المضافة كمعالجة كيميائية

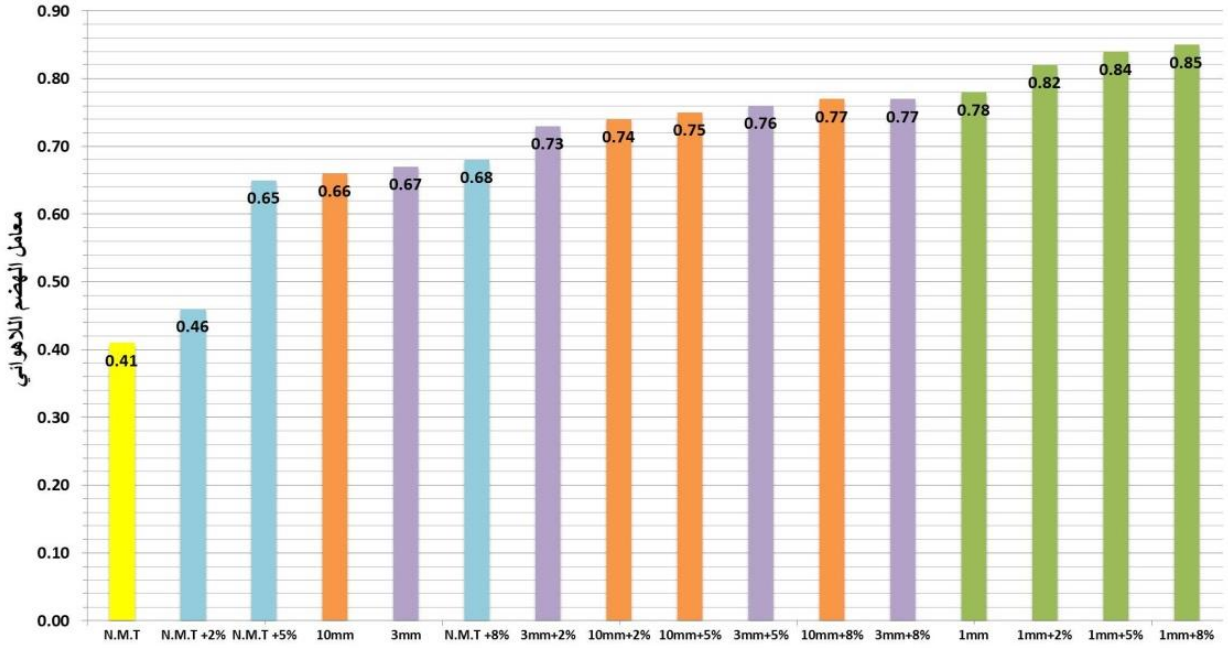
5- تأثير المعالجة الأولية المشتركة في فعالية التحلل في تحول الطاقة:

قورنت كمية الغاز الحيوي التي حصلنا عليها مخبرياً من الهضم اللاهوائي للعينات المعالجة (ميكانيكياً و/أو كيميائياً) والعينات غير المعالجة (الشاهد)، مع قيم الغاز الحيوي الناتجة عن الحسابات النظرية بحسب (Buswell,1936)، حيث كانت القيمة المقدرة حسابياً لحجم الغاز الحيوي الناتج عن عينات فرشة الدواجن هي (599.95) $l_N\ kg^{-1}$ OTS. تم حساب معامل الهضم اللاهوائي الذي يدّل على مقدار الاستفادة من الطاقة الكامنة في المادة العضوية، وذلك من خلال قسمة القيم التجريبية لكمية الغاز الحيوي الناتج على القيم المقدّرة حسابياً.

يبين الشكل (4) وجود اختلاف بين الطاقة التي حصلنا عليها عملياً من الغاز الحيوي والقيمة الإجمالية للطاقة، فبلغ معامل الهضم

اللاهوائي من العينات غير المعالجة ميكانيكياً وكيميائياً (الشاهد) 0.41 أي أن 59% من الطاقة الكامنة غير مستفاد منها. عملت المعالجة الأولية المشتركة الكيميائية والميكانيكية على تحسين معامل الهضم اللاهوائي يقيم تراوحت من 0.68 إلى 0.85.

سجلت أعلى قيمة لمعامل الهضم اللاهوائي من المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية (طحن العينات لجزيئات بأقطار 1مم) والكيميائية (إضافة 8% NaOH) بقيمة بلغت 0.85.



الشكل رقم (4): معامل الهضم اللاهوائي للمعاملات المختلفة.

N.M.T= العينات غير المعالجة ميكانيكياً، بالنسبة لباقي المعاملات تمثل درجة المعالجة الميكانيكية مقدرة (مم) بالإضافة لنسبة NaOH (%)المضافة كمعالجة كيميائية

5-الاستـنـتاجـات والتوصيات:

1. إن المعالجة الأولية الميكانيكية بتخفيض حجم جزيئات فرشة الدواجن هو الأفضل للتحلل اللاهوائي لإنتاج الغاز الحيوي، ولكن تخفيض حجم الجزيئات أصبح ذو تأثير أكبر عند استخدام معالجة أولية كيميائية قلوية بإضافة نسب مختلفة من NaOH.
2. تعتبر المعالجة الأولية المشتركة الميكانيكية (بتجزئة العينات لأقطار 1مم) والكيميائية (بإضافة 5% من NaOH) أفضل طرائق المعالجة المختبرة (مع مراعاة الجانب الاقتصادي). بمعدل إنتاج للغاز الحيوي بلغ (505.01) IN kg−1 OTS، و قيمة لمعامل الهضم اللاهوائي بلغت (0.84)، وبزيادة قدرها 126.54 % في نسبة الميثان المنتج مقارنةً بالعينات غير المعالجة (الشاهد).
3. للمعالجة الميكانيكية أثر إيجابي في زيادة إنتاجية الغاز الحيوي من العينات المعالجة كيميائياً بقيمة ثابتة من هيدروكسيد الصوديوم، إذ بلغت نسبة الزيادة في إنتاج الغاز الحيوي 24.11%- 26.75%- 46.6% من عينات فرشة الدواجن التي تم طحنها لأقطار (10مم، 3مم، 1مم) على التوالي وذلك عند إضافة 5% من NaOH لهذه العينات، مقارنة بالعينات غير المعالجة ميكانيكياً وبإضافة 5% NaOH لها.
4. للمعالجة الكيميائية أثر ايجابي في زيادة إنتاجية الغاز الحيوي من العينات المعالجة ميكانيكياً إلى جزيئات بأقطار متماثلة، إذ بلغت نسبة الزيادة في إنتاج الغاز الحيوي 18.54%- 20.77%- 25.28% من عينات فرشة الدواجن التي تم طحنها لأقطار (10مم) وبإضافة NaOH بالنسب التالية (2%، 5%، 8%)على التوالي، مقارنة بالعينات المعالجة ميكانيكياً لأقطار 10مم وبدون إضافات كيميائية.
5. عملت المعالجة الأولية المشتركة الكيميائية والميكانيكية على تحسين معامل الهضم اللاهوائي بقيم تراوحت من 0.68 إلى 0.85.

6. إن المعالجة الميكانيكية و/أو الكيميائية المختلفة لعينات فرشة الدواجن أدت إلى زيادة في تركيز الميثان في الغاز الحيوي بمعدل تراوح بين 0.08 – 3.92 %.

7. إجراء أبحاث متعلقة بتحسين وبدراسة نوعية السماد الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي لفرشة الدواجن وحساب العائد الاقتصادي منه.

6-المراجع:

1.حسن، عيسى، وموسى عبود، ويحيى القيسي. 2003. مواد العلف، جامعة دمشق.

2.حميد، محمود. 2006. علم الأخشاب ومنتجات الغابة، جامعة دمشق.

3.علي، يونس. ونادر يونس، وزياد جحا، وعبد الرحمن الشياح، ورأفت العفيف. 2011. تقييم واقع واستثمار الكتلة الحيوية في الجمهورية العربية السورية. ندوة علمية حول طاقة الكتلة الحيوية في سورية، الواقع والآفاق المستقبلية. جامعة دمشق.

4.المجموعة الإحصائية الزراعية. 2011. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.

1- Bruni, E., A. P. Jensen and I. Angelidaki. 2010. Comparative study of mechanical, hydrothermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production, Bioresource Technology. 101: 8713 – 8717.

2- Buswell, A .M., 1936. Anaerobic fermentations, Bull. No32, Div. State water survey, university of Illinois (Ed.).

3- Carvalheiro, F., L.C. Duarte and F.M. Gírio, 2008. Hemicellulose biorefineries: A review on biomass pre-treatments. Journal of Scientific and Industrial Research. 67(11): 849-864.

4- Chen, Y., R.R. Sharma-Shivappa, D. R. Keshwani and C. Chen, 2007. Potential of agricultural residues and hay for bioethanol production. Applied Biochemistry and Biotechnology. 142(3): 276-290.

5- DIN standard. 2000. 51900: Testing of Solid and Liquid Fuels-Determination of Gross Calorific Value by the Bomb Calorimeter and Calculation of Net Calorific Value. Part 1. Principles, Apparatus, Methods. Part 2. Method Using Isoperibol ot Static, Jacket Calorimeter. Part 3.Method Using Adiabatic Jacket. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.

6- Fan, L.T., Y. Lee and D.H. Beardmore. 1980. Mechanism of the enzymatic hydrolysis of cellulose: Effects of major structural features of cellulose on enzymatic hydrolysis. Biotechnol Bioeng. 22: 177-199.

7- Harmsen, P.F.H., W.J.J. Huijgen, L.M. Bermúdez López and R.R.C. Bakker. 2010. Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass. ECN-E--10-013.

8- He Y., Y. Pang, Y. Liu, X. Li and K. Wang. 2008. Physicochemical Characterization of Rice Straw Pretreated with Sodium Hydroxide in the Solid State for Enhancing Biogas Production. Energy & Fuels.

9- Hendriks, A. and G. Zeeman. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology. 100(1): 10-18.

10- Menind, A. and A. Normak. 2010. Study on grinding biomass as pre-treatment for biogasification. Agronomy Research. 8: 155-164.

11- SPSS Inc. 2007. SPSS software, Release 15, SPSS Inc. Chicago (Ed.). Chicago, Illinois.

12- Sun, Y. and J. Cheng. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. Bioresource Technology. 83(1): 1-11.

13- Taherzadeh, M.J., K. Karimi. 2008. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. Int. J. Mol. Sci. 9, 1621-1651.

14- VDI 4630. 2006. Fermentation of organic materials. Characterisation of the substrates, sampling, collection of material data, fermentation tests. Verein Deutscher Ingenieure (Ed.), VDI-Handbuch Energietechnik.

15- Vrije de, T., G. De Haas, et al., 2002. Pretreatment of Miscanthus for hydrogen production by Thermotoga elfii. International Journal of Hydrogen Energy. 27(11-12): 1381-1390.

16- Wu, J., L. J. Xu and J. L. Xie. 2006. Acta Sci. Circumstantiae. 26 (2),252-255. (in Chinese)

17- Zhong, W., Z. Zhang, W. Qiao, P. Fu and M. Liu. 2011. Comparison of chemical and biological pretreatment of corn straw for biogas production by anaerobic digestion, Renewable Energy 36: 1875-1879.

18- Zhu J., C. Wan, and Y. Li. 2010. Enhanced solid-state anaerobic digestion of corn stover by alkaline pretreatment. Bioresource Technology, vol. 101, no. 19, pp. 7523-7528.