

## The effect of stop of mixing process during the anaerobic digestion process on both productivity and percentage of methane within the biogas mixture.

Dr. Aziz Assaad\*

(Received 18 / 4 / 2022. Accepted 30 / 10 / 2022 )

### □ ABSTRACT □

This study aims to shed light on the effect of the stop mixing during the anaerobic digestion process on both of methane productivity and its percentage within the biogas mixture. This experiment was conducted on the farm of the University of UNI-LaSalle in France, in a digester tank (1 m<sup>3</sup>), which was fed with 15 kg of corn silage daily. The quantity of biogas yielded was around  $2 \pm 0.5$  m<sup>3</sup> per day. Where the analysis of the biogas mixture showed that, the average productivity of methane was  $1 \pm 0.26$  m<sup>3</sup> per day. The rates of increase of productivity ranged from one stop of mixing to another, where the rates of productivity increasing after returning from the stopping process during the three periods were as follows (170%, 45%, 100%) of these percentages. It is clear that the stop mixing had a significant impact on the methane productivity and the percentage of methane within the biogas mixture decreased by 2-3% (during the mixing period) from the average productivity during the experiment.

**Key words:** renewable energy, anaerobic digestion, corn silage, biogas, methane, mixing process.

---

\* Professor, Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.  
Aziz.Assad@tishreen.edu.sy

## تأثير توقف عملية الخلط خلال عملية التخمر اللاهوائي على كل من إنتاجية غاز الميثان ونسبته ضمن مزيج البيوغاز.

د. عزيز محمد أسعد\*

(تاريخ الإيداع 18 / 4 / 2022. قبل للنشر في 30 / 10 / 2022)

### □ ملخص □

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على أثر مشكلة توقف عملية الخلط خلال عملية التخمر اللاهوائي على كل من الإنتاجية من غاز الميثان ونسبته ضمن مزيج البيوغاز الناتج. أجريت هذه التجربة في المزرعة التابعة لجامعة UNI-LaSalle في فرنسا وذلك ضمن مخمر  $1 \text{ m}^3$  حيث تم تغذيته ب 15 كغ من سيلاج الذرة يومياً. كانت إنتاجية المخمر بمعدل  $2 \pm 0.5 \text{ m}^3$  بيوغاز في اليوم الواحد. حيث أظهرت نتائج تحليل مزيج البيوغاز أن متوسط الإنتاجية من غاز الميثان كان  $1 \pm 0.26 \text{ m}^3$  في اليوم الواحد. تراوحت نسب زيادة الإنتاجية من توقف للخلط إلى آخر حيث كان نسب زيادة الإنتاجية بعد العودة عن عملية التوقف خلال الفترات الثلاث على النحو التالي (170%، 45%، 100 %) من هذه النسب يتضح أن لتوقف عملية الخلط تأثير كبير على إنتاجية المخمر من غاز الميثان. كما أن نسبة غاز الميثان ضمن مزيج البيوغاز قد انخفضت بمعدل 2-3 % (خلال فترة توقف الخلط) عن متوسط الإنتاجية خلال التجربة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة، التخمر اللاهوائي، سيلاج الذرة، البيوغاز، غاز الميثان، عملية الخلط.

\*دكتور - قسم علوم التربة والمياه - كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. Aziz.Assad@tishreen.edu.sy

**مقدمة:**

يعاني العالم حالياً من ظاهرة الاحتباس الحراري التي بدأت بالتأثير بشكل سلبي على الإنسان وعلى البيئة المحيطة به. يساهم قطاع انتاج الطاقة بحوالي 75% من إجمالي انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون في العالم (Manish et al., 2006)، الأمر الذي يساهم في زيادة انبعاث غازات الدفيئة كما يساهم أيضاً في زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري. بهدف ابطاء هذه التغيرات المناخية يتم حالياً العمل على زيادة الاعتماد على مصادر متجددة للطاقة بغرض تلبية الاحتياجات من الطاقة إضافة إلى ترشيد استهلاك الفرد منها (Santika et al., 2019). يعتمد الإنسان بشكل عام على ثلاثة مصادر رئيسية لإنتاج الطاقة اللازمة وتشمل كل من الوقود الأحفوري، الطاقة النووية والطاقة المتجددة. بلغت نسبة مشاركة الطاقة المتجددة من الاحتياجات الكلية للطاقة عالمياً 29% وذلك بحسب التقرير الصادر عن IEA (International Energy Agency) للعام 2021. تشمل مصادر الطاقة المتجددة بشكل أساسي كل من طاقة الرياح، الطاقة الشمسية والطاقة الناتجة عن تخمير الفضلات العضوية المختلفة في الظروف اللاهوائية بغية إنتاج غاز الميثان (Kumar et al., 2020) حيث يتم إنتاج غاز الميثان من الكتلة الحيوية عن طريق الهضم اللاهوائي بواسطة بكتريا الميثان وهي من أنواع البكتريا المحبة للحرارة المتوسطة والمرتفعة وتعيش في جو لاهوائي لتعطي في النهاية غاز الميثان بعد سلسلة من عمليات التحلل المائي والتحميض والتكسير للروابط البسيطة. تتراوح نسبة غاز الميثان ضمن المزيج الغازي الناتج عن عملية التخمر بين 50-75% من المزيج الكلي والقسم المتبقي هو ثاني أوكسيد الكربون بنسبة 25-50%، أزوت 0-10%، هيدروجين 0-1% وكبريت الهيدروجين 0.1-0.5% (Balagurusamy et al., 2020; Banu et al., 2019). يمكن استخدام مجموعة واسعة من أنواع الكتلة الحيوية كمادة أولية (الركيزة) لإنتاج الغاز الحيوي خلال عملية التخمر اللاهوائي. يجب أن تلبى هذه الركيزة المتطلبات الغذائية للكائنات الحية الدقيقة (التي ستقوم بعملية التخمر) فيما يتعلق بمصادر الطاقة والمكونات المختلفة الحيوية لبناء خلايا جديدة. كما يجب أن تحتوي على المكونات الضرورية لنشاط الأنزيمات الميكروبية مثل العناصر النزرة والفيتامينات (Aslanzadeh, 2014). تؤثر نوعية الركيزة أيضاً على جودة بقايا التخمر سواء من حيث المحتوى الفعلي من المغذيات والتلوث المحتمل ببعض الملوثات (العناصر الثقيلة، المركبات العضوية، الكائنات الحية الممرضة) (Koszel et al., 2015; Lee et al., 2021; Nkoa, 2014).

تعتبر عملية التخمر اللاهوائي أحد تقنيات إنتاج الطاقة المستدامة والتي تلقى رواجاً وانتشاراً واسعاً على مستوى العالم. ففي ألمانيا ارتفعت أعداد وحدات انتاج غاز الميثان من 140 وحدة في العام 1992 إلى 9000 وحدة بحلول العام 2016. إن المخرجات الأساسية لهذه الوحدات هي: الكهرباء، الحرارة، الميثان الحيوي ومخلفات عملية التخمر التي تشكل سماداً غنياً بالعناصر الأساسية اللازمة لنمو النبات. حيث بلغت نسبة مشاركتها في الطاقة الكهربائية العامة في ألمانيا 4.5% (Lebuhn et al., 2014). بحسب التقرير الصادر عن Gas Renewable للعام 2019 و Observatory للعام 2020 بلغ عدد وحدات إنتاج غاز الميثان في فرنسا للعام 2019 (738 وحدة) وبكمية إنتاج من الميثان الحيوي وصلت إلى 1235 GWh بزيادة مقدارها 73% عن العام 2018. هنالك تزايد مستمر في استخدام تقنية التخمر اللاهوائي ضمن القطاعين الزراعي والصناعي انطلاقاً من الفضلات العضوية الناتجة (مثال فضلات الصرف الصحي وفضلات الصناعات الغذائية) ليس فقط بغرض تخفيف آثار هذه المواد الملوثة بل أيضاً من أجل تحسين إنتاج الطاقة. مع ذلك هنالك الكثير من المشاكل التي تواجه هذه العملية مثل

ضعف استقرار هذه العملية وتذبذب إنتاجية غاز الميثان. مثل هذه المشاكل يمكن أن تحل بسهولة من خلال تطبيق نظام خلط منظم خلال عملية التخمر (Singh *et al.*, 2020).

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة تأثير توقف الخلاط عن العمل في وحدة انتاج الميثان على كل من كمية ونوعية البيوغاز الناتج.

## طرائق البحث ومواده:

### 2-1- موقع الدراسة:

أجريت هذه الدراسة في الوحدات التجريبية لإنتاج البيوغاز في مزرعة جامعة La Salle في مدينة Beauvais فرنسا. استمرت التجربة لمدة شهر كامل وقد شكلت جزءاً من مشروع Autoferm الذي يهتم بشكل عام بتطوير وحدات انتاج الغاز الحيوي والتي تكفي لتلبية احتياجات المزرعة من الطاقة. يبين الشكل (1) وحدة البيوغاز في المزرعة.



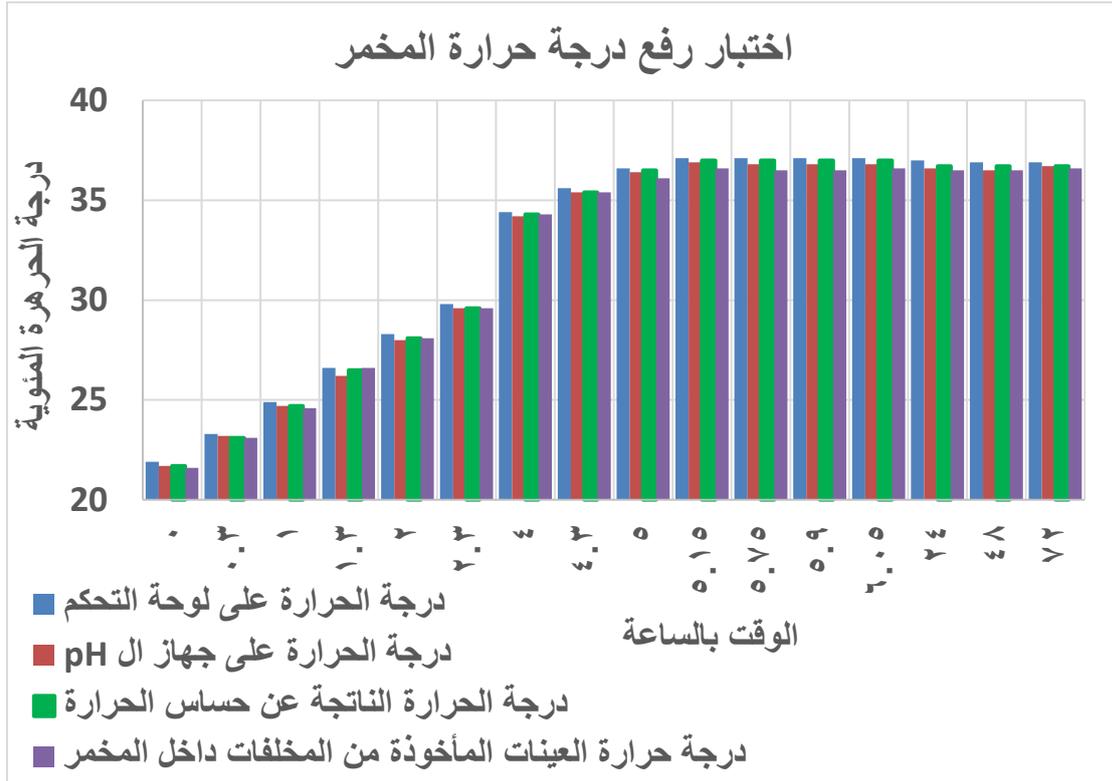
الشكل 1: يبين موقع وحدات البيوغاز ضمن المزرعة مع لوحات التحكم الخاصة بكل وحدة.

### 2-2- مكونات وحدة انتاج البيوغاز:

تتألف بشكل رئيسي من الجسم الرئيسي ولوحة التحكم. الجسم الرئيسي حجمه الكلي  $1\text{m}^3$  ويضم كل من نقطة ادخال المخلفات إلى المخمر ونقطة الخروج للنواتج بعد عملية التخمر ووحدة التحريك. كما يحتوي عداد لقياس كمية الغاز الناتجة كما يوجد جهاز لقياس درجة الـ pH ودرجة الحرارة وجميع المعلومات الناتجة خلال عملية التخمر تنقل إلى لوحة التحكم لتظهر على الشاشة المرفقة حيث يوجد أيضاً زر الإقلاع للوحدة ويتم التحكم من خلال اللوحة المذكورة بمدة التحريك ودرجة الحرارة المطلوبة أثناء عملية التخمر. ينقل الغاز الناتج عن عملية التخمر عبر أنابيب خاصة إلى الحراق الموجود على بعد 10 أمتار من المخمر.

### 2-3- تصميم التجربة:

تم ملئ الوحدة بمخلفات الأبقار السائلة من المزرعة التي توجد فيها وحدة البيوغاز وذلك لتوفير وسط ميكروبيولوجي غني جداً بالبكتيريا اللازمة للتخمر. بعد ذلك تم تشغيل سخان التدفئة وهو من النوع (BGC, Germany) لرفع درجة الحرارة تدريجياً إلى 39 درجة مئوية وهي الحرارة المثلى للتخمر اللاهوائي (الشكل 2) مع التحريك بمعدل دقيقة واحدة كل 15 دقيقة.



الشكل 2: يوضح مراحل ارتفاع درجة حرارة المخمر للوصول إلى الحرارة المطلوبة.

بدأت بعد ذلك عملية إضافة المخلفات الصلبة وهي عبارة عن سيلاج الذرة (التي تم الحصول عليها من نفس المزرعة) وذلك وفق الجدول (1).

الجدول رقم (1) يبين تاريخ وكمية الإضافات من المخلفات الصلبة والسائلة خلال عملية التخمر اللاهوائي.

ملاحظات	التاريخ	كمية سيلاج الذرة المضافة (Kg)	كمية الفضلات السائلة المضافة (لتر)
بداية رفع درجة الحرارة	04/09/17		1 m <sup>3</sup>
بداية إضافة سيلاج الذرة	05/09/17	15 Kg	
	06/09/17	15 Kg	
	07/09/17	15 Kg	
	08/09/17	15 Kg	
	09/09/17		
	10/09/17		
حل مشكلة تسريب الغاز	11/09/17	15 Kg	100 L
بداية أخذ القراءات	12/09/17	15 Kg	
	13/09/17	15 Kg	
	14/09/17	15 Kg	
	15/09/17	15 Kg	100 L
	16/09/17		
	17/09/17		
	18/09/17	15 Kg	100 L
	19/09/17	15 Kg	
	20/09/17	15 Kg	

	21/09/17	15 Kg	
	22/09/17	15 Kg	100 L
	23/09/17		
	24/09/17		
	25/09/17	15 Kg	100 L
	26/09/17	15 Kg	
	27/09/17	15 Kg	
	28/09/17	15 Kg	
	29/09/17	15 Kg	100 L
	30/09/17		
	01/10/17		
	02/10/17	15 Kg	100 L
	03/10/17	15 Kg	
	04/10/17	15 Kg	
	05/10/17	15 Kg	
	06/10/17	15 Kg	
	07/10/17	15 Kg	
	08/10/17	15 Kg	
	09/10/17	15 Kg	
	10/10/17	15 Kg	
	11/10/17	15 Kg	
	12/10/17	15 Kg	
	13/10/17	15 Kg	
	14/10/17	15 Kg	
	15/10/17	15 Kg	
	16/10/17	15 Kg	
	17/10/17	15 Kg	
	18/10/17	15 Kg	
	19/10/17	15 Kg	
	20/10/17	15 Kg	
	21/10/17	15 Kg	
	22/10/17	15 Kg	
	23/10/17	15 Kg	

**2-4-طرائق البحث:**

تم قياس نسبة المواد الصلبة (SM) للمواد التي يغذى بها المخمر عند كل إضافة وذلك باستخدام فرن على درجة حرارة 105 مئوية ولمدة 24 ساعة. كما تم قياس نسبة المادة العضوية من كمية المواد الصلبة لنفس المدخلات باستخدام فرن على درجة حرارة 550 مئوية وذلك لمدة ساعتين. حددت درجة الحرارة في المخمر باستخدام ميزان حرارة . تم قياس درجة الحموضة باستخدام جهاز من النوع (pH/ORP sensors, Germany) . قيست كمية البيوجاز الناتجة من خلال عداد غاز منزلي من النوع (BK-G25, Germany) . تم تحليل مكونات البيوجاز الناتج باستخدام Biogas analyzer من النوع (SSM 6000LT, Germany) .

**1- النتائج والتحليل:**

أظهر تحليل مادة سيلاج الذرة التي تم تغذية المخمر بها يومياً بمعدل 15 كغ /يوم أن محتواها من المادة الصلبة كان  $3.9 \pm 0.5$  كغ /كغ 15 مادة خام، وكان محتواها من المادة العضوية  $2.8 \pm 0.4$  كغ /كغ 15 مادة خام. في حين إن كل من درجة الحموضة والناقلية الكهربائية ضمن المخمر خلال التجربة كانت مستقرة حيث كان متوسط قراءات درجة الحموضة  $7.4 \pm 0.04$  ومتوسط قيم الناقلية الكهربائية كان  $14.5 \pm 0.2$  mS/cm (الجدول 2).

الجدول 2: تغيرات بعض المؤشرات خلال عملية التخمر.

	كمية المادة الصلبة والمادة العضوية في سيلاج الذرة		المؤشرات الفيزيوكيميائية في المخمر خلال التجربة		
	SM kg/15 kg Corn	OM kg/15 kg Corn	pH	Conductivity mS/cm	T C°
11/09/17					
12/09/17	4.8	3.5	7.35		39
13/09/17	4.8	3.5	7.33	14.11	39
14/09/17	4.9	3.6	7.33	14.1	39
15/09/17	4.8	3.6	7.32	14.75	39
16/09/17	4.8	3.6	7.32	14.75	39
17/09/17	4.8	3.6	7.32	14.75	39
18/09/17	4.5	3.3	7.39	14.37	39
19/09/17	3.8	2.7	7.37	14.55	39
20/09/17	3.8	2.7	7.36	14.41	39
21/09/17	4.2	3.0	7.37	14.35	39
22/09/17	4.1	2.9	7.37	14.57	39
23/09/17	4.1	2.9	7.37	14.57	39
24/09/17	4.1	2.9	7.37	14.57	39
25/09/17	4.4	3.3	7.36	14.5	39
26/09/17	3.9	2.8	7.36	14.5	39
27/09/17	3.9	2.8	7.36	14.51	39
28/09/17	3.1	2.0	7.39	14.57	39
29/09/17	3.8	2.6	7.39	14.56	39
30/09/17	3.8	2.5	7.36	14.49	39
01/10/17	3.8	2.5	7.36	14.49	39
02/10/17	3.5	2.3	7.36	14.49	39
03/10/17	3.4	2.5	7.36	14.41	39
04/10/17	3.4	2.5	7.42	14.55	39
05/10/17	3.1	2.5	7.39	14.3	39
06/10/17	3.4	2.3	7.39	14.57	39
07/10/17	3.4	2.6	7.36	14.23	39
08/10/17	3.4	2.6	7.39	14.23	39
09/10/17	3.6	2.5	7.39	14.61	39
10/10/17	3.3	2.3	7.43	14.57	39
11/10/17	3	2.0	7.49	14.71	39
12/10/17	3.4	2.3	7.43	14.5	39
13/10/17	3.6	2.5	7.42	14.42	39

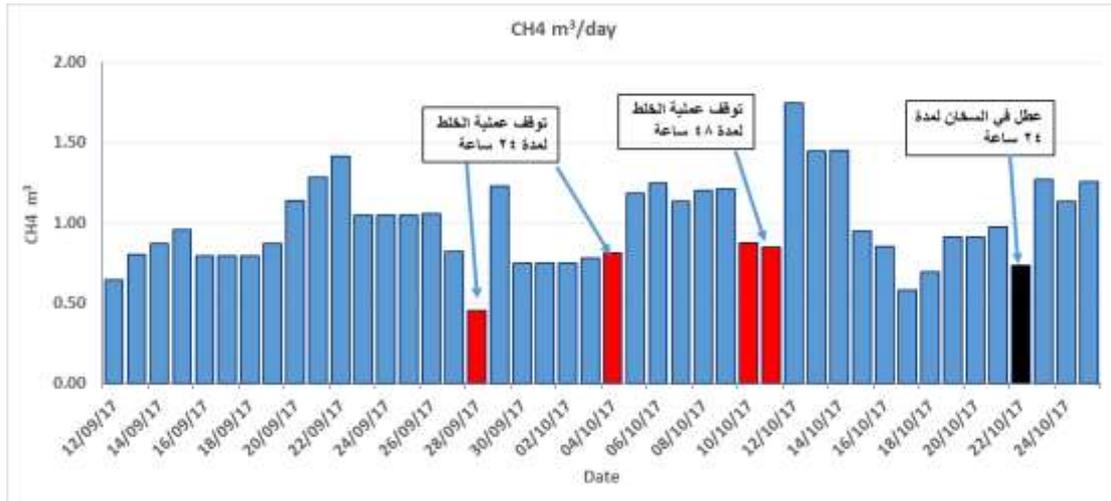
14/10/17	3.6	2.5	7.41	14.41	39
15/10/17	3.6	2.5	7.4	14.41	39
16/10/17	3.5	2.4	7.41	14.41	39
17/10/17	3.6	2.5	7.42	14.3	39
18/10/17	4	2.9	7.41	14.35	39
19/10/17	4.3	3.1	7.42	14.3	39
20/10/17	4	2.9	7.43	14.2	39
21/10/17	4	2.9	7.42	14.2	39
22/10/17	4.1	2.9	7.42	14.1	32.7
23/10/17	4.1	2.9	7.44	14.1	39
24/10/17	3.8	2.7	7.44	15.2	39
25/10/17			7.44	15.58	39
Average	3.9	2.8	7.4	14.5	
SD	0.5	0.4	0.04	0.2	

يبين الجدول (3) نتائج قراءات عداد البيوغاز الناتج ونسب الغازات المختلفة ضمن مزيج البيوغاز. كانت إنتاجية المخمر بمعدل  $2 \pm 0.5 \text{ m}^3$  بيوغاز في اليوم الواحد حيث بلغت أعلى إنتاجية  $3.3 \text{ m}^3$  وأقل إنتاجية  $0.97 \text{ m}^3$  بيوغاز في اليوم الواحد. أظهرت نتائج تحليل مزيج البيوغاز أن متوسط الإنتاجية من غاز الميثان كان  $1 \pm 0.26 \text{ m}^3$  في اليوم الواحد حيث أن متوسط نسب الغازات المختلفة ضمن مزيج البيوغاز جاء على النحو التالي ( $49.1 \pm 1.8$  لغاز الميثان،  $43.7 \pm 2.1$  لغاز ثاني أكسيد الكربون،  $0.1 \pm 0.05$  لغاز كبريت الهيدروجين و 0 بالنسبة لغاز الأوكسجين).

الجدول 3: يبين كميات البيوغاز المنتجة يومياً إضافة لنسب الغازات المختلفة في المزيج.

	Gas counter( $\text{m}^3$ )	Biogas $\text{m}^3$ /day	$\text{CH}_4 \text{ m}^3$ /day	$\text{CH}_4\%$	$\text{CO}_2\%$	$\text{O}_2\%$	$\text{H}_2\text{S}\%$
11/09/17	0.091						
12/09/17	1.475	1.38	0.64	46.3	47	0.3	0.2
13/09/17	3.216	1.74	0.80	46	47	0	0.2
14/09/17	5.115	1.90	0.87	45.7	47	0.2	0.2
15/09/17	7.22	2.11	0.96	45.5	48	0	0.2
16/09/17		1.54	0.79	45.5	48	0	0.2
17/09/17		1.54	0.79	45.5	48	0	0.2
18/09/17	11.839	1.54	0.79	51.5	41	0	0.2
19/09/17	13.583	1.74	0.87	49.9	43	0	0.2
20/09/17	15.892	2.31	1.14	49.2	44	0	0.2
21/09/17	18.494	2.60	1.28	49.3	44	0	0.2
22/09/17	21.337	2.84	1.41	49.7	44	0	0.18
23/09/17		2.11	1.05	49.7	44	0	0.18
24/09/17		2.11	1.05	49.7	44	0	0.18
25/09/17	27.676	2.11	1.05	49.6	43	0	0.16
26/09/17	29.838	2.16	1.06	48.9	44	0	0.15
27/09/17	31.497	1.66	0.82	49.5	43	0	0.13
28/09/17	32.462	0.97	0.45	47	47	0	0.11

29/09/17	34.883	2.42	1.23	50.8	42	0	0.12
30/09/17		1.51	0.75	49.5	43	0	0.11
01/10/17		1.51	0.75	49.5	43	0	0.11
02/10/17	39.416	1.51	0.75	49.5	43	0	0.11
03/10/17	41.023	1.61	0.78	48.4	44	0	0.11
04/10/17	42.769	1.75	0.81	46.3	46	0	0.11
05/10/17	45.174	2.41	1.18	49.2	44	0	0.1
06/10/17	47.705	2.53	1.25	49.3	43	0	0.09
07/10/17	50.005	2.30	1.13	49.2	43	0	0.09
08/10/17	52.45	2.45	1.20	49.1	44	0	0.08
09/10/17	54.92	2.47	1.21	49	44	0	0.08
10/10/17	56.8	1.88	0.87	46.4	47	0	0.07
11/10/17	58.622	1.82	0.85	46.4	47	0	0.06
12/10/17	61.943	3.32	1.74	52.5	41	0	0.07
13/10/17	64.748	2.81	1.45	51.6	41	0	0.07
14/10/17	67.558	2.81	1.45	51.6	43	0	0.07
15/10/17	69.463	1.90	0.94	49.6	43	0	0.06
16/10/17	71.16	1.70	0.85	50.3	43	0	0.05
17/10/17	72.31	1.15	0.58	50.2	43	0	0.06
18/10/17	73.7	1.39	0.69	49.8	42	0	0.06
19/10/17	75.54	1.84	0.91	49.5	42	0	0.05
20/10/17	77.37	1.83	0.91	49.8	42	0	0.05
21/10/17	79.31	1.94	0.98	50.3	42	0	0.06
22/10/17	80.75	1.44	0.73	50.9	40	0	0.05
23/10/17	83.263	2.51	1.27	50.5	42	0	0.05
24/10/17	85.48	2.22	1.13	51.1	41	0	0.05
25/10/17	87.909	2.43	1.25	51.6	41	0	0.05
	Average	2.00	0.99	49.10	43.75	0.01	0.12
	SD	0.50	0.26	1.88	2.16	0.05	0.06
	Max	3.3	1.7	52.5	48.0	0.3	0.2
	Min	1.0	0.5	45.5	40.0	0.0	0.1



الشكل 3: يبين قيم الإنتاجية اليومية من غاز الميثان.

تم استخدام تقنية الخلط المتقطع خلال هذه التجربة لمساهمة هذه الطريقة في زيادة إنتاجية غاز الميثان خلال عملية التخمير اللاهوائي (Kaparaju *et al.*, 2008). إن إنتاجية غاز الميثان خلال هذه الدراسة هي مبينة بالشكل (3). حيث أن اللون الأحمر يشير إلى الإنتاجية خلال مرحلة توقف عملية الخلط لفترات تراوحت من 24 ساعة إلى 48 ساعة. إن توقف عملية الخلط أدى كما هو مبين إلى انخفاض الإنتاجية من غاز الميثان بشكل ملحوظ لتعاود النشاط بشكل متسارع بعد إعادة تنشيط عملية الخلط. تراوحت نسب زيادة الإنتاجية من توقف للخلط إلى آخر حيث كان نسب زيادة الإنتاجية بعد العودة عن عملية التوقف خلال الفترات الثلاث على النحو التالي (170%، 45%، 100%) من هذه النسب يتضح أن لتوقف عملية الخلط تأثير كبير على إنتاجية المخمر من غاز الميثان. كما أن نسبة غاز الميثان ضمن مزيج البيوغاز قد انخفضت بمعدل 2-3% (خلال فترة توقف الخلط) عن متوسط الإنتاجية خلال التجربة. إن هذا التأثير الكبير لعملية الخلط يعود بشكل أساسي لكونها تساعد في توزيع اللقاح الميكروبي بشكل متجانس على كامل المخمر منذ البداية وتحسن من التماس بين الكائنات الحية الدقيقة والمادة العضوية كما أنها تعادل درجة الحرارة على كامل المزيج وتمنع الترسبات وتشكل الطبقات العائمة (Deublein and Steinhauser, 2008). يشير اللون الأسود إلى الإنتاجية عند حدوث عطل أدى لتوقف السخان وبالتالي انخفضت حرارة المخمر وكما هو مبين فقد انخفضت الإنتاجية بشكل ملحوظ لتعود وترتفع بعدها في حين أن نسبة غاز الميثان ضمن المزيج الغازي لم تتأثر بانخفاض درجة الحرارة.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

تم دراسة تأثير توقف عملية الخلط أثناء عملية التخمير اللاهوائي على إنتاجية غاز الميثان (من سيلاج الذرة الصفراء) ونسبة غاز الميثان ضمن مزيج البيوغاز، وذلك ضمن مخمر بحجم 1 م<sup>3</sup> في مزرعة جامعة LaSalle في مدينة بوفيه في فرنسا. بينت النتائج انخفاض كبير في الإنتاجية من غاز الميثان عند توقف عملية الخلط لفترات تراوحت من 24 - 48 ساعة كما انخفضت نسبة الميثان ضمن مزيج البيوغاز بمعدل 2-3% خلال فترات توقف الخلط في حين عادت الإنتاجية والنسبة ضمن المزيج إلى وضعها الطبيعي مباشرة بعد إعادة تشغيل عملية الخلط ثانية. إن هذا الانخفاض الحاصل في الإنتاجية ونسبة غاز الميثان في مزيج البيوغاز يبين أهمية عملية الخلط في توزيع النشاط

الميكروبي ضمن المخمر وزيادة سطح التماس مع المادة العضوية كما يساهم في جعل المزيج متجانس ضمن المخمر وذلك من خلال منع الترسيب وتشكل الطبقات العائمة.

#### التوصيات:

- التعمق في دراسة تأثير عملية الخلط على الإنتاجية من غاز الميثان خلال عملية التخمر اللاهوائي وذلك من خلال تجريب عدة فترات منقطعة من الخلط وبفارق زمني متغير بهدف الحصول على الطريقة المثلى لعملية الخلط.
- دراسة تأثير الأعطال الأخرى كتوقف سخان التدفئة مثلا على الإنتاجية من غاز الميثان.
- تطبيق تجربة المخمرات الصغيرة في المزارع في سوريا وذلك بهدف انتاج الطاقة اللازمة لتشغيل المزرعة.

#### References:

- 1- Manish S, Pillai IR, Banerjee R. Sustainability analysis of renewables for climate change mitigation. *Energy for Sustainable Development*. 10(4), 2006, 25–36.
- 2- Santika WG, Anisuzzaman M, Bahri PA, Shafiullah GM, Rupf GV, Urmee T. From goals to joules: A quantitative approach of interlinkages between energy and the Sustainable Development Goals. *Energy Research & Social Science*. 50, 2019, 201–214.
- 3- IEA (2021), *World Energy Outlook 2021*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/14fcb638-en>.
- 4- Kumar. J CR, Majid MA. Renewable energy for sustainable development in India: Status, future prospects, challenges, employment, and investment opportunities. *Energy, Sustainability and Society*. 10(2), 2020, 1-36.
- 5- Balagurusamy, N. Chandel, AK. *Biogas Production: From Anaerobic Digestion to a Sustainable Bioenergy Industry*. Springer Nature, Switzerland, 2020. 465.
- 6- Banu, R. KANNAH, R.Y. *Anaerobic Digestion*, IntechOpen, London, 2019, 246.
- 7- Aslanzadeh, S. *Pretreatment of cellulosic waste and high rate biogas production [PhD Thesis]*. University of Borås, School of Engineering, Sweden, 2014.
- 8- Koszel M, Lorencowicz E. Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 19(7), 2015, 119–124.
- 9- Lee ME, Steiman MW, Angelo SKS. Biogas digestate as a renewable fertilizer: effects of digestate application on crop growth and nutrient composition. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 36 (2), 2021, 173-181.
- 10- Nkoa R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34 (2), 2014, 473–92.
- 11- Lebuhn M, Munk B, Effenberger M. Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics. *Energy, Sustainability and Society*. 10 (4) 2014, 1-21.
- 12- Singh B, Szamosi Z, Siménfalvi Z. Impact of mixing intensity and duration on biogas production in an anaerobic digester: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*. 40(4), 2020, 508–521.
- 13- Kaparaju P, Buendia I, Ellegaard L, Angelidakia I. Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: Lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresource Technology*. 99(11), 2008, 4919–4928.
- 14- Deublein, D. Steinhäuser, A. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, 2008. 578.