



الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة تشرين

كلية الهندسة التقنية

دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل ريفي في محافظة طرطوس

أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية
اختصاص- هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة

إعداد

م.أسامه عبد الرحمن عبدو

المشرف المشارك

أ.د.علي علي

المشرف الرئيسي

أ.د.نوفل الأحمد

العام الدراسي 2014/2015

تمت مناقشة هذه الرسالة بعنوان:

"دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل ريفي في
محافظة طرطوس"

في جلسة علنية أمام لجنة الحكم المشكّلة بقرار مجلس البحث العلمي رقم /2282/ المتخذ بالجلسة
رقم /23/ تاريخ 6/8/2014

والمؤلفة من السادة:

أ.د.م نوفل الأحمد، الأستاذ في قسم هندسة المعدات والآليات بكلية الهندسة التقنية في جامعة
تشرين.

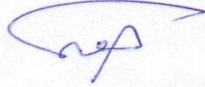
أ.د.م هيثم شاهين، الأستاذ في قسم هندسة النظم البيئية في المعهد العالي لبحوث البيئة في جامعة
تشرين.

أ.د.م مسلم العبد الله، الأستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
في جامعة البعث.

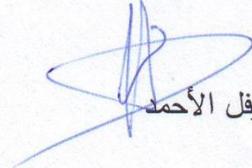
أ.د.م مسلم العبد الله



أ.د.م هيثم شاهين



أ.د.م نوفل الأحمد



SYRIAN ARAB REPUBLIC
Tishreen university
Faculty of Technical
Engineering
Tartous
P.O.BOX : 270



الجمهورية العربية السورية
جامعة تشرين
كلية الهندسة التقنية
طرطوس - ص.ب: 270

قرار لجنة الحكم

بناء على قرار مجلس البحث العلمي رقم /2282/ المتخذ بالجلسة رقم /23/ تاريخ 6/8/2014 المتضمن تسمية لجنة الحكم على رسالة الماجستير في هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة للمهندس أسامه عبد الرحمن عبدو بعنوان :
دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل ريفي في محافظة طرطوس"

الدكتور نوفل الأحمد، الأستاذ في قسم هندسة المعدات والآليات بكلية الهندسة التقنية في جامعة تشرين عضواً ومشرفاً.

الدكتور هيثم شاهين، الأستاذ في قسم هندسة النظم البيئية في المعهد العالي لبحوث البيئة في جامعة تشرين عضواً.

الدكتور مسلم العبد الله، الأستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة البعث عضواً.

فقد اجتمعت اللجنة في الساعة الثانية عشرة من يوم الخميس 20/11/2014 وبعد الاستماع إلى دفاع الطالب ومناقشته أوصت اللجنة بما يلي :

1- منح الطالب أسامه عبد الرحمن عبدو درجة الماجستير في الهندسة التقنية باختصاص هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة بتقدير جيد جداً وبدرجة قدرها /79,52/ تسعة وسبعون فاصلة اثنتان وخمسون.

2- ترفع التوصية إلى المجالس المختصة لمنحه الدرجة المذكورة واستصدار القرارات اللازمة لتمتعه بحقوق هذه الدرجة وفق الأصول النافذة.

طرطوس في 20/11/2014

عضواً ومشرفاً

أ.د.م نوفل الأحمد

عضواً

أ.د.م هيثم شاهين

عضواً

أ.د.م مسلم العبد الله

السيد الأستاذ الدكتور عميد كلية الهندسة التقنية بطرطوس المحترم

تمّ تدقيق أملية الأطروحة المُعدّة من قبل السيد الطالب / أسامة عبدو وهي
بعنوان:

دراسة العوامل المؤثرة على مردود مُفاعل لإنتاج الغاز الحيوي من
مخلفات منزل ريفي في محافظة طرطوس

والمقدمة لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة في
قسم المعدات والآليات كلية الهندسة التقنية بطرطوس حيث تم تصويب بعض
الأخطاء اللغوية والهيات وصارت ذات لغة علمية مقبولة.

المُدقق اللغوي

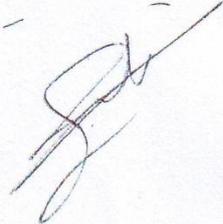
د. ماهر عيسى حبيب



كلية الهندسة التقنية	الرقم	٥٨١٢	٩
	١٤٥	١٤٧	

رئيسة الامتحان العليا

عميد الكلية



شهادة

نشهد بأن العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المهندس أسامه عبد الرحمن
عبدو بإشراف :

أ.د.م نوفل الأحمد الأستاذ في قسم هندسة المعدات والآليات- كلية الهندسة التقنية في جامعة
تشرين، مشرفاً علمياً.

أ.د. علي علي : الأستاذ في قسم تقانة الأغذية- كلية الهندسة التقنية في جامعة تشرين، مشرفاً
مساعداً.

وأية مراجع أخرى موثقة في نص الرسالة.

المشرف العلمي

أ.د.م نوفل الأحمد



المشرف المساعد

أ.د. علي علي



الطالب

م. أسامه عبدو



تصريح

أصّرُح بأن هذا العمل : (دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل ريفي في محافظة طرطوس).

لم يسبق أن قُبِل للحصول على شهادة ، ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

م.أسامه عبد الرحمن عبّو



DECLARATION

This is to declare that, this work:

" study of the factors that affect the yield reactor for the production of biogas from residues country house in Tartous Province"

Has not being submitted concurrently for any other degree.

Eng. Osama Abdo



دراسة العوامل المؤثرة على مردود مفاعل لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات منزل

ريفي في محافظة طرطوس

الملخص:

يعد التّخلص من النفايات العضوية مشكلةً في المناطق الريفية وينتج عن تركها تتخمر في العراء روائح كريهة وتسبب أمراضاً كثيرة، ولذلك فإنّ عملية التّخمير اللاهوائي للمخلفات العضوية تعد الحل الأمثل للتخلص منها بطريقة آمنة ومفيدة فهي تنتج غازاً حيويّاً يمكن استخدامه لأغراض الطهي والتدفئة، كما ينتج عنها سماد عالي الجودة يمكن استخدامه لتخصيب الأرض. ويتعرض البحث إلى دراسة تأثير بعض العوامل على إنتاج الغاز الحيوي؛ كدرجة الحرارة، ودرجة الحموضة، وتأثير إضافة البادئ، حيث تم استخدام مخمرات مخبرية بحجم 5 لتر وبنظام تغذية لمرة واحدة، ثم عرضت النتائج بشكل منحنيات واضحة، ويشكل هذا البحث خطوة نحو تعميم استخدام تقانة الغاز الحيوي وتطبيقها في الريف السوري.

كلمات مفتاحية (تخمر لاهوائي، غاز حيوي، نفايات مطبخ، ميثان، درجة الحموضة).

study of the factors that affect the yield reactor for the production of biogas from residues country house in Tartous Province

Abstract:

The disposal of organic waste is a problem in rural areas, and left it ferments in the open Produces foul odors and diseases. and the process of anaerobic fermentation of organic waste consider a perfect solution to get rid of them in a safe and useful way. it produces biogas which can be used for cooking and heating also produces a high quality fertilizer which can be used to fertilize the land. Research includes the study of the effect of some factors on the production of biogas such as temperature and pH, and the effect of adding the initiator. we used a 5 liters laboratory reactors with Batch Feeding system. the results was shown in a clear curves. this study consider a step for universal use of a biogas technology and applied it in Syrian countryside.

Keywords : Anaerobic digestion; Biogas; Kitchen waste; methane; pH.

الفهرس

1	قائمة الأشكال.
4	قائمة الجداول.
5	جدول الرموز والمصطلحات.
7	أهمية البحث وهدفه.
8	المقدمة.

11 الباب الأول: الدراسة المرجعية والنظرية

12	الفصل الأول: مفهوم الطاقة المتجددة ومصادرها.
12	1-1 الطاقة الشمسية.
12	1-1-1 الطاقة الشمسية الحرارية .
13	1-1-2 الطاقة الفوتوفولطائية الشمسية.
14	1-2 طاقة الرياح .
16	1-3 طاقة المد والجزر.
17	1-4 طاقة حرارة الأرض الجوفية.
18	1-5 طاقة الكتلة الحيوية.
18	1-5-1 مصادر الكتل الحيوية.
19	1-5-2 طرق تحويل الكتل الحيوية إلى مصادر للطاقة .

19	3-5-1 أنواع الوقود المستخرج من الكتل الحيوية.
20	4-5-1 سياسات الوقود الحيوي في دول العالم.
22	الفصل الثاني : الغاز الحيوي.
22	1-2 لمحة تاريخية.
23	2-2 إنتاج الغاز الحيوي في دول العالم والإتحاد الأوروبي.
24	3-2 تركيب ومكونات الغاز الحيوي.
26	4-2 المواد المنتجة للغاز الحيوي.
27	5-2 ميزات استخدام الغاز الحيوي .
28	6-2 كمية الطاقة الموجودة في الغاز الحيوي.
30	الفصل الثالث: الجراثيم التي تشترك في عملية التخمير اللاهوائي ومراحل إنتاج الغاز الحيوي.
30	1-3 مجموعات الأحياء الدقيقة التي تشترك في عملية التخمير اللاهوائي.
30	1-1-3 الجراثيم المفككة Bacteria Hydrolytic.
30	2-1-3 الجراثيم الحمضية المخمرة Fermentative Acidogenic Bacteria.
31	3-1-3 الجراثيم المنتجة للخلات Acetogenic Bacteria.
31	4-1-3 الجراثيم المنتجة للميثان Methanogenic Bacteria.
33	2-3 مراحل المعالجة اللاهوائية للملوثات العضوية (مراحل إنتاج الغاز الحيوي).

33	1-2-3 مرحلة الحلمهة.
33	2-2-3 مرحلة إنتاج الحموض و إنتاج الأسيتيت.
33	3-2-3 مرحلة إنتاج الميثان.
35	الفصل الرابع: أنواع مخمّرات الغاز الحيوي.
35	1-4 نموذج القبة الثابتة Fixed-dome plants.
36	1-1-4 النموذج الصيني (Chinese fixed-dome plant).
36	2-1-4 نموذج جاناتا (Janata model).
37	3-1-4 نموذج نيكاراغوا (Nicaragua model).
37	4-1-4 نموذج دينباندهو (Deenbandhu).
38	5-1-4 نموذج كاماراتيك (CAMARTEC model).
39	2-4 المخمّر ذي الغطاء العائم (القبة الطّافية).
40	1-2-4 ميزات المخمّر ذي الأسطوانة الطّافية.
40	2-2-4 عيوب المخمّر ذو الأسطوانة الطّافية.
41	3-4 المخمّر ذو الكيس المرن.
42	الفصل الخامس : العوامل المؤثرة في إنتاج الغاز الحيوي.
42	1-5 عوامل خاصة بالمخلف.

42	1-1-5 العناصر الغذائية في المخلف (نسبة الكربون للنيتروجين).
42	2-1-5 الصفات الطبيعية للمخمر.
44	3-1-5 وجود مواد مثبطة لنمو البكتيريا ونشاطها.
46	2-5 عوامل خاصة بظروف التشغيل.
46	1-2-5 تأثير درجة الحرارة.
47	2-2-5 تركيز المواد الصلبة الكلية.
47	3-2-5 درجة حموضة المحلول المتخمر (pH).
48	4-2-5 إضافة البادئ.
49	5-2-5 التقليل داخل المخمر.
49	6-2-5 نظام التغذية.
50	7-2-5 زمن بقاء المادة المتخمرة في المخمر.
51	الفصل السادس: إمكانات تقانة الغاز الحيوي في سورية وواقعها.
51	1-6 كمية المخلفات العضوية في سورية.
54	2-6 واقع الغاز الحيوي في سورية.
56	1-2-6 محافظة طرطوس والغاز الحيوي.

58 الباب الثاني: الدراسة العلمية والتجريبية

59	الفصل السابع: تصميم المخمرات ودراسة بعض العوامل المؤثرة على إنتاج الغاز.
59	1-7 مواصفات المخمرات والمواد المتخمرة.
61	2-7 دراسة تأثير درجة الحرارة.
67	3-7 دراسة تأثير درجة الحموضة pH.
70	4-7 دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من الروث.
73	5-7 تأثير إضافة اليوريا $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ على إنتاج الغاز.
76	6-7 تصميم وتشغيل مخمر تجريبي والنموذج المقترح لأسرة ريفية.
79	النتائج والتوصيات
80	المراجع

قائمة الأشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
الشكل- 1	التفاوت السنوي في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة.	9
الشكل- 2	الانخفاض التدريجي في مخزون الوقود الأحفوري والغاز لسنوات قادمة.	10
الشكل(1-1)	الإنتاج العالمي للطاقة الحرارية الشمسية في العام 2007 للدول العشر الأولى.	13
الشكل(2-1)	منزل في إسبانيا يعتمد على الخلايا الشمسية لإنتاج الكهرباء .	14
الشكل(3-1)	محطة ALTA الريحية في الولايات المتحدة الأمريكية.	15
الشكل(4-1)	الدول الأكثر إنتاجاً لطاقة الرياح 2013.	15
الشكل(5-1)	محطة رانس في فرنسا لتوليد الكهرباء بواسطة طاقة المد والجزر .	16
الشكل(6-1)	طريقة الأبراج للاستفادة من طاقة المد والجزر .	17
الشكل(7-1)	محطة Nesjavellir تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية في آيسلندا.	18
الشكل(8-1)	الإنتاج العالمي من الوقود الحيوي والتوقعات للأعوام القادمة.	20
الشكل(9-1)	الإنتاج العالمي من الإيثانول والتوقعات للأعوام القادمة.	21
الشكل(10-1)	أول عشر دول في الاعتماد على الطاقة البديلة.	21
الشكل(1-2)	باحث يستخدم غاز المستنقعات مباشرة كمصدر طاقة.	22
الشكل(2-2)	محطة فينا لإنتاج الغاز الحيوي.	24
الشكل(3-2)	المواد المنتجة للغاز الحيوي.	26
الشكل(4-2)	حافلة تعمل بالغاز الحيوي في السويد.	27
الشكل(5-2)	مقارنة بين القيمة الحرارية للغاز الحيوي وأنواع الوقود التقليدية.	29
الشكل(1-3)	فطور Trichosporon Pullulans المنتجة للميثان.	32
الشكل(2-3)	الخميرة Saccharomyces Cerevisiae المنتجة للميثان.	32
الشكل(3-3)	مراحل إنتاج الغاز الحيوي والبكتريا المشتركة في العملية.	34

- 36 الشكل (1-4) النموذج الصيني ذو القبة الثابتة (Chinese fixed dome plant) .
- 36 الشكل (2-4) نموذج جاناتا ذي القبة الثابتة (Janata design) .
- 37 الشكل (3-4) الأجزاء الرئيسية للمخمر ذو القبة الثابتة نموذج نيكاراغوا .
- 37 الشكل (4-4) نموذج دينباندهو ذو القبة الثابتة .
- 38 الشكل (5-4) نموذج دينباندهو حديث من مواد بلاستيكية .
- 38 الشكل (6-4) نموذج كاماراتيك (Camartec model) .
- 39 الشكل (7-4) عامل يقوم ببناء مخمر نموذج قبة ثابتة في تونس .
- 40 الشكل (8-4) المخمر ذو الأسطوانة الطافية .
- 41 الشكل (9-4) المخمر ذو الكيس المرن .
- 43 الشكل (1-5) تأثير المعالجة الأولية بتجزئة عينات حطب القطن على معدل إنتاج الغاز الحيوي والميثان (%) بالمقارنة مع العينات الغير معالجة .
- 46 الشكل (2-5) تأثير درجة الحرارة على إنتاج الغاز .
- 48 الشكل (3-5) إنتاج الغاز الحيوي عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة .
- 55 الشكل (1-6) نسب توزع مخمرات الغاز الحيوي في سورية 2012 .
- 55 الشكل (2-6) مراحل تنفيذ وحدة إنتاج الغاز الحيوي في محطة البحوث الزراعية في السماقيات / درعا .
- 56 الشكل (3-6) مخمر محطة زاهد للزراعة العضوية .
- 59 الشكل (1-7) المخمرات المستخدمة في البحث .
- 60 الشكل (2-7) نفايات المطبخ المستخدمة في عملية التخمير عند دراسة تأثير درجة الحرارة .
- 61 الشكل (3-7) ميزان الكتروني حساس بدقة 0.0001g
- 62 الشكل (4-7) جهاز التحليل العضوي elementer .
- 63 الشكل (5-7) يوضح اللهب في اليوم العاشر من المخمر الثاني (35C⁰) .
- 63 الشكل (6-7) رسم توضيحي يبين حساب حجم الغاز الناتج بطريقة إزاحة الماء .
- 65 الشكل (7-7) كمية الغاز اليومية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة .

65	الشكل (7-8)	كمية الغاز الكلية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة.
67	الشكل (7-9)	مقياس الرقم الهيدروجيني pH.
69	الشكل (7-10)	كمية الغاز اليومية عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة (L).
69	الشكل (7-11)	كمية الغاز الكلية عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة (L).
72	الشكل (7-12)	كمية الغاز اليومية عند نسب مختلفة لروث الأبقار.
72	الشكل (7-13)	كمية الغاز الكلية الناتجة عند قيم مختلفة لروث الأبقار.
73	الشكل (7-14)	سماد اليوريا.
75	الشكل (7-15)	إنتاج الغاز اليومي عند نسب مختلفة من اليوريا.
75	الشكل (7-16)	كمية الغاز الكلية الناتجة عند نسب مختلفة من اليوريا.
76	الشكل (7-17)	خزان تجميع الغاز.
77	الشكل (7-18)	مخمر تجريبي (تغذية مستمرة).
78	الشكل (7-19)	المخمر المقترح لأسرة ريفية.

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
الجدول - 1	كمية غاز ثاني أكسيد الكربون ومتوسط درجة الحرارة في الغلاف الجوي.	8
الجدول(1-2)	عدد وحدات الغاز الحيوي في دول مختلفة عام 2008.	23
الجدول(2-2)	مكونات الغاز الحيوي ونسبها.	25
الجدول (3-2)	خصائص غاز الميثان.	28
الجدول(1-3)	آلية التفاعلات أثناء تخمر الجلوكوز كمثال عن تخمر السكريات.	30
الجدول(2-3)	آلية تفاعلات تفكك الحموض الأمينية.	31
الجدول(3-3)	تفاعلات تحول الحموض الدسمة بفعل جراثيم <i>Syntrophobacter wolinii</i> .	31
الجدول(4-3)	آلية تفاعلات تشكل غاز الميثان كحصولها نهائية لتفكك المواد العضوية.	32
الجدول (1-5)	نسبة الكربون إلى النتروجين وكمية الغاز الناتج عن تخمير مواد مختلفة.	42
الجدول (2-5)	تأثير إضافة أملاح الحديد على إنتاج الغاز الحيوي من الحمأة.	44
الجدول (3-5)	مستوى السمية والتركيز المثبت للعناصر الكيميائية المختلفة.	45
الجدول (4-5)	العلاقة بين كمية المادة الصلبة وكمية الغاز الحيوي.	47
الجدول (1-6)	إنتاج المدن السورية الرئيسية من مياه الصرف الصحي يومياً.	52
الجدول (2-6)	تقدير إنتاج المدن السورية من القمامة (عام 1998).	53
الجدول (1-7)	نسب العناصر في المادة المتخمرة عند دراسة تأثير درجة الحرارة.	61
الجدول (2-7)	كمية الغاز اليومية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة.	64
الجدول (3-7)	نسب العناصر للمادة المتخمرة في التجربة الثانية.	67
الجدول(4-7)	كمية الغاز اليومية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة.	68
الجدول(5-7)	نسب العناصر للمادة المتخمرة عند نسب مختلفة من روث الأبقار.	70
الجدول(6-7)	كمية الغاز اليومية الناتجة عند نسب مختلفة من روث الأبقار.	71
الجدول(7-7)	نسب العناصر للمادة المتخمرة في تجربة تأثير إضافة اليوريا.	73
الجدول(8-7)	إنتاج الغاز اليومي عند نسب مختلفة من اليوريا.	74

جدول الرموز والمصطلحات

الرمز المستخدم	التوصيف
pH	درجة الحموضة
TSC	كمية المادة الصلبة الكلية
CH ₄	الميثان
CO ₂	غاز ثاني أوكسيد الكربون
PPM	جزء في المليون parts per million
AD	الهضم اللاهوائي Anaerobic Digestion
et al.	وأخرون
m ³	متر مكعب
mg/l	ميلي غرام/ليتر
BL	مليار ليتر
ml	ميلي ليتر
Kg	كيلو غرام
NaOH	هيدروكسيد الصوديوم
NH ₃	أمونيا
Rpm	دورة في الدقيقة
Ktoe	ألف طن مكافئ من النفط
Mtoe	مليون طن مكافئ من النفط
HRT	Hydraulic Retention Time زمن البقاء الهيدروليكي

ODM	<i>Organic Dry Matter</i> المادة العضوية الجافة
EBA	<i>European Biogas Association</i> جمعية الغاز الحيوي الأوروبية
DVG	الجمعية الألمانية للمياه والغاز
EREC	European Renewable Energy Council المجلس الأوروبي للطاقة المتجددة
WWEA	World Wind Energy Association المنظمة العالمية لطاقة الرياح
FAO	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

أهمية البحث وهدفه:

يهدف البحث إلى تسليط الضوء على أحد مصادر الطاقة البديلة (طاقة الغاز الحيوي) الناتج من نفايات المطبخ المتوفرة في كل منزل والتي تضيع دون الاستفادة منها. حيث تعد طريقة التخمّر اللاهوائي للمخلفات العضوية طريقة فعالة لتحويل النفايات العضوية إلى غاز يمكن الاستفادة منه لأغراض الطهي أو التدفئة أو توليد الكهرباء، كما يمكن الاستفادة من بقايا عملية التخمير في زيادة خصوبة الأراضي الزراعية، كما تسهم في الحد من انبعاث الغازات الدفيئة المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري.

كما تم في البحث دراسة أهم العوامل المؤثرة في إنتاج الغاز الحيوي الأمر الذي يساهم في زيادة فاعلية المخمرات ويوفر معلومات جيدة عن طريقة سير عملية التخمير اللاهوائي وأهم الشروط التي يجب اتباعها للحصول على إنتاج جيد للغاز.

مقدمة :

لقد برز الاهتمام في موضوع الطاقة بصورة كبيرة في القرن العشرين حيث اتضح أن وضع الطاقة ليس مرتبطاً بتغير أسعار النفط والغاز فقط بل يرتبط أيضاً بقدرة المخزون الاحتياطي من هذه المصادر القابلة للنضوب على تلبية الطلب على الطاقة نتيجة الزيادة الهائلة في السكان، والتقدم التكنولوجي المصاحب لنمط الحياة، إضافة إلى ظهور نتائج سلبية على مستقبل التطور الاقتصادي والاجتماعي متمثلة في التلوث البيئي (حجو، عبدالمقصود 1999).

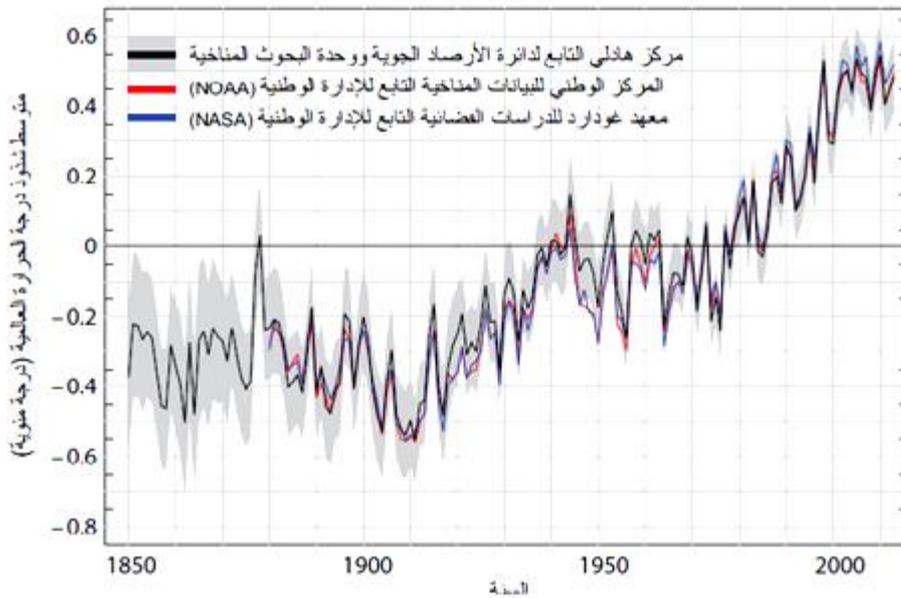
يستهلك العالم حالياً حوالي 13TW (13×10^{12} Watt) من الطاقة سنوياً، وحوالي 80% منها يأتي من حرق الوقود الأحفوري، والاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري يشكل مخاطر عديدة كنضوب موارد الوقود الأحفوري، وتراجع الاحتياطيات، كما ينجم عنه تغيرات مناخية بسبب زيادة نسبة غاز CO_2 في الغلاف الجوي الذي ازدادت كميته في الغلاف الجوي بشكل كبير في العقد الماضي كما يبين الجدول (1) (Rittman 2008).

جدول (1) كمية غاز ثاني أوكسيد الكربون ومتوسط درجة الحرارة في الغلاف الجوي

العام	كمية غاز CO_2 مقدره بـ ppm	متوسط درجة حرارة الغلاف الجوي C°
1800	280	15
1870	280	15
1950	305	15.2
1970	325	15.2
1988	350	15.5
2000	360	15.8
2006	375	16
2050	550	17.2
2100	800	19.2

إن زيادة تركيز غازي الميثان وأكسيد النترجين الناتجين عن تفسخ المخلفات الحيوانية والنباتية، والمخلفات البلدية الصلبة والصناعية والخطرة، وزيادة تركيز غازي ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون الناتجين عن احتراق البترول يشكل سبباً أساسياً لارتفاع حرارة الكرة الأرضية وتفاقم مشكلة الاحتباس الحراري. فقد كان متوسط درجة الحرارة في عام 2013 أعلى بحوالي 0.5 C° عن متوسط درجة الحرارة في الفترة مابين 1961-1990 (مركز هادلي التابع لدائرة الأرصاد الجوية بالمملكة المتحدة).

ويبين الشكل (1) التفاوت السنوي في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة (مقارنة بالفترة 1961-1990) من عام 1850 إلى عام 2013، من مركز هادلي/ وحدة البحوث المناخية (HadCRUT4).



شكل (1) التفاوت السنوي في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة (مركز هادلي)

فجاء اجتماع الدول الأعضاء في هيئة الأمم المتحدة عام 1994 وبروتوكول كيو توتو 1997 للحد من مسببات انبعاث الغازات المسببة لارتفاع حرارة الكون وترشيد استهلاك الطاقة ودعم الأبحاث لإيجاد مصادر لأنظمة الطاقة المتجددة وتمويلها وبالتالي الاستغناء عن الطاقة الناتجة عن احتراق البترول بطاقة الرياح، والشمس، والغاز الحيوي (European Communities, 2003).

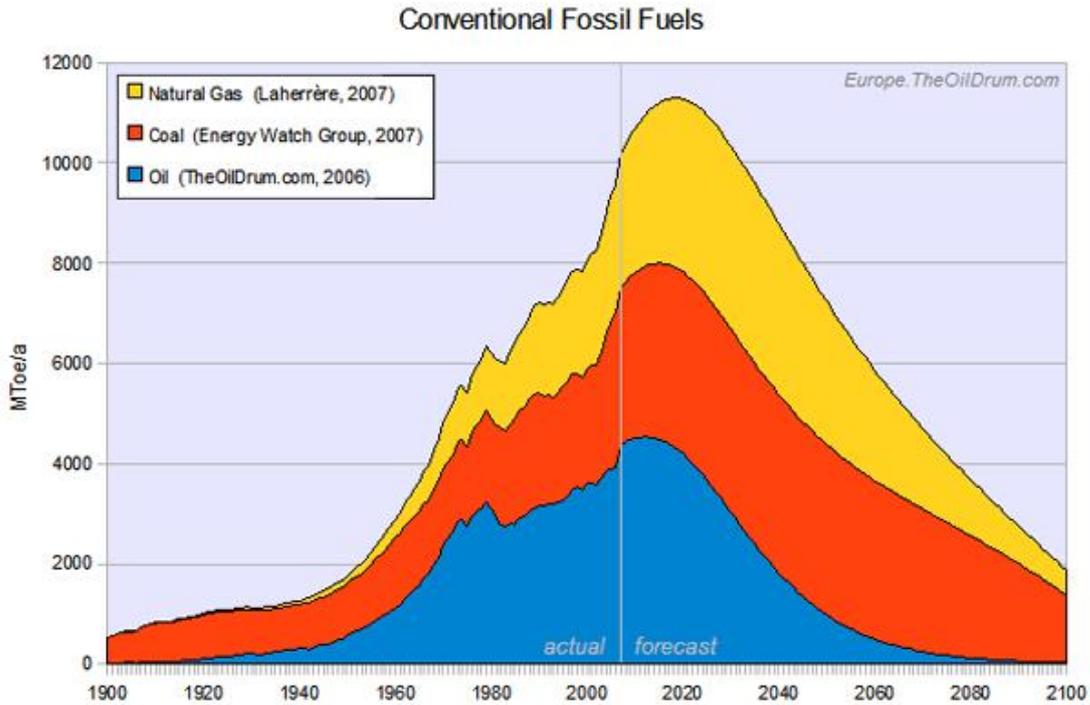
ارتفاع الطلب مقابل تناقص الموارد

إن الطلب العالمي على الوقود الأحفوري أخذ في الارتفاع بشكل كبير، ويرجع ذلك بصفة خاصة إلى ارتفاع معدلات النمو الاقتصادي في أجزاء من آسيا في الوقت الذي يتناقص فيه الاحتياطي، وأصبحت الموارد المتبقية مقتصرة على عدد قليل من المناطق، وغالباً ما تعاني من قلق سياسي. ولقد تسبب ذلك في نشوب

الصراعات السياسية وتزايد عدد المواجهات العسكرية، فضلاً على بروز خطر اقتصادي كبير يتهدد جميع المجتمعات وتتميتها لأنها تعتمد اعتماداً كبيراً على هذه الموارد بالرغم من كونها أكثر كلفة.

ندرة الموارد الأحفورية والنووية

على الرغم من ظهور كثير من المناظرات العلمية وصعوبة تحديد الوقت الذي سينضب فيه إنتاج النفط على المستوى العالمي، فإنه ما من شك في أن ذلك سيحدث في المستقبل القريب. فمتابعة المبادئ الاقتصادية الأساسية بالإضافة إلى ارتفاع الطلب، ولاسيما من جانب الاقتصاديات الناشئة مثل الصين أو الهند أو البرازيل، سيؤدي ذلك كله إلى ارتفاع بارز ومستمر في سعر النفط. فوصول أسعار النفط إلى 200 دولار/البرميل لم تعد مجرد احتمال بعيد، وستتزايد مشاكل المضاربة المالية والصراعات العسكرية مثل تلك الموجودة في الشرق الأوسط، وبالرغم من أن أكثر المشاكل وضوحاً وحدةً هي تلك المتعلقة بالنفط، إلا أن المشاكل المرتقبة التي ستنتج عن نضوب النفط ستتطبق أيضاً على الغاز الطبيعي واليورانيوم والفحم وستتبعه تحديات مماثلة.



شكل (2) الانخفاض التدريجي في مخزون الوقود الأحفوري والغاز لسنوات قادمة (Energy Watch Group 2007).

الباب الأول

الدراسة المرجعية والنظرية

THEORETICAL AND REFERENCE STUDY

الفصل الأول

مفهوم الطاقة المتجددة ومصادرها

الطاقة المتجددة هي تلك التي نحصل عليها من خلال تيارات الطاقة التي يتكرر وجودها في الطبيعة على نحو تلقائي ودوري، وتتميز مصادر الطاقة المتجددة بقابلية استغلالها المستمر دون أن يؤدي ذلك إلى استنفاد منابعها.

1- مصادر الطاقة المتجددة هي:

1-1 الطاقة الشمسية solar energy :

تستخدم الطاقة الشمسية بطريقتين: الأولى هي: الطاقة الحرارية الشمسية

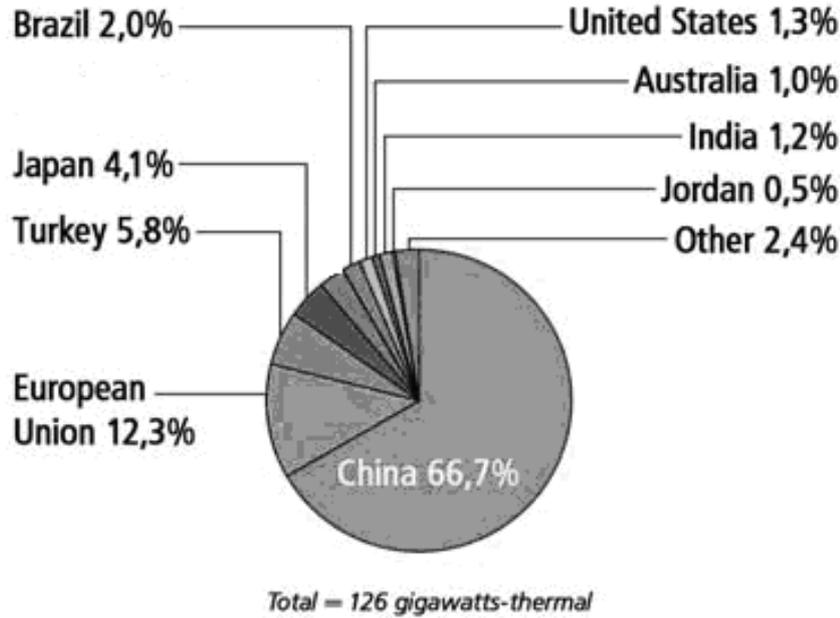
والثانية هي: الطاقة الكهربائية الشمسية.

1-1-1 الطاقة الشمسية الحرارية solar thermal energy :

إن استخدام طاقة الشمس للتسخين والتجفيف والتبخير معروفة منذ قديم الزمان وقد تطورت صناعة توليد الطاقة من أشعة الشمس بحيث أصبحت تشمل العديد من الجوانب، فقد تم إنتاج الكهرباء باستخدام مركبات الطاقة الشمسية حيث يتم تبخير المياه بتوليد درجات حرارة عالية. وكذلك تم توليد الهيدروجين باستخدام الخلايا الفوتوكيميائية، كما تم استخدام الطاقة الشمسية في تسخين المياه للاستخدام المنزلي، أو لتدفئة المنازل من خلال تصاميم معمارية خاصة، وتم تصميم وتصنيع مسخنات الماء الشمسية، والطباخات الشمسية، ومجففات الحبوب الشمسية. ومثال على ذلك فإن الدنمارك وحدها تنتج ما يزيد على ربع مليون وحدة مسخن سنوياً.

وقامت كثير من الدول بوضع قوانين تلزم كل من يقوم ببناء دارٍ جديدة، أو عمارة بتضمينها وحدات مسخنات الطاقة الشمسية وتعد من الأجزاء المكتملة للتصميم ولمنح إجازة .

ويمثل الشكل (1-1) مخططاً للإنتاج العالمي من الطاقة الحرارية الشمسية حيث تنصدر الصين دول العالم بنسبة 66.7% و يليها الاتحاد الأوربي بنسبة 12.3% وتليها تركيا بنسبة 5.8% .



الشكل (1-1) الإنتاج العالمي للطاقة الحرارية الشمسية في العام 2007 للدول العشر الأولى EREC.

2-1-1 الطاقة الفوتوفولطائية الشمسية photovoltaic solar energy :

وتسمى أيضاً الطاقة الكهربائية الشمسية وتعرف الظاهرة الفوتولطائية بأنها عملية تحويل الضوء (ضوء الشمس) إلى طاقة كهربائية مباشرة باستخدام الخواص الإلكترونية لبعض المواد والمركبات التي تصنف ضمن أشباه الموصلات.

إن تحويل الضوء إلى طاقة كهربائية يتم من خلال تراكيب إلكترونية تسمى الخلايا الشمسية Solar Cells إن عمل الخلايا الشمسية ينبع من فكرة بسيطة تتلخص في أنه: عندما تسقط أشعة الضوء على الخلية فإن جزءاً من الضوء يتم امتصاصه من قبل ذرات مادة الخلية. وتعمل هذه الطاقة على إثارة الإلكترونات غير المرتبطة في المادة وتجعلها تتحرك بحرية داخلها، وعندما تتعرض هذه الإلكترونات الحرة لمجال كهربائي فإنها سوف تتحرك كلها في اتجاه واحد وهذا يعني تيار كهربائي، وعند ربط طرفي الخلية الفوتوفولطية بنقطة توصيل على السطح العلوي والسطح السفلي للخلية نحصل على تيار كهربائي طالما استمر سقوط الضوء على الخلية.



شكل (2-1) منزل في إسبانيا يعتمد على الخلايا الشمسية لإنتاج الكهرباء .

2-1 طاقة الرياح (wind power) :

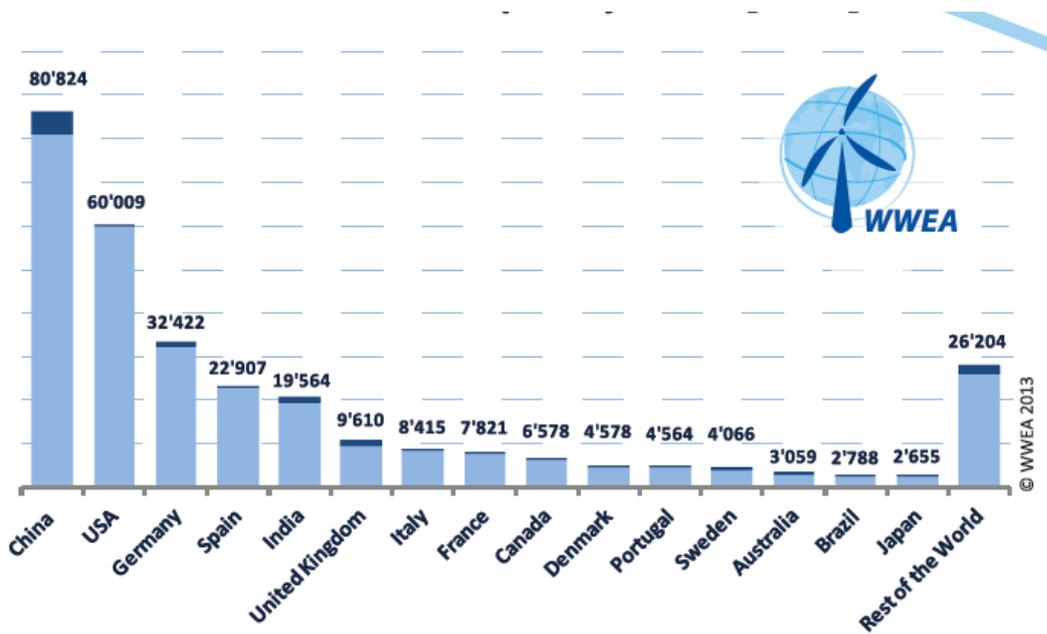
الطاقة الهوائية هي الطاقة المستمدة من حركة الهواء والرياح، واستخدمت طاقة الرياح منذ أقدم العصور؛ سواء في تسيير السفن الشراعية، وإدارة طواحين الهواء لطحن الغلال والحبوب، أم في رفع المياه من الآبار وتستخدم وحدات الرياح في تحويل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية تستخدم مباشرة أو يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية من خلال مولدات .

ويرتبط اليوم مفهوم هذه الطاقة باستعمالها في توليد الكهرباء بواسطة "طواحين هوائية"، ومحطات توليد تُنشأ في مكان معين ويتم تغذية المناطق المحتاجة عبر الأسلاك الكهربائية وبالإمكان حسب تقديرات منظمة المقاييس العالمية توليد 20 مليون ميغاواط من هذا المصدر على نطاق عالمي، وهو أضعاف قدرة الطاقة المائية (م. طالبي، مجلة الباحث عدد 6-2008).



شكل (3-1) محطة الريحية ALTA في الولايات المتحدة الأمريكية باستطاعة 1020MW .

تتصدر الصين قائمة أكثر الدول إنتاجاً لطاقة الرياح إذ يُقدر إنتاجها حوالي 81GW في عام 2013 بحسب المنظمة العالمية لطاقة الرياح (WWEA) .



شكل (4-1) الدول الأكثر إنتاجاً لطاقة الرياح 2013 (WWEA) .

1-3 طاقة المد والجزر:

هي نوع من طاقة الحركة التي تكون مخزونة في التيارات الناتجة عن المد والجزر والناجمة بطبيعة الحال عن جاذبية القمر والشمس ودوران الأرض حول محورها، وبدأت كثير من الدول الساحلية بالإستفادة من هذه الطاقة الحركية لتوليد الطاقة الكهربائية ولكن لا بد من أن يكون ارتفاع المد والجزر لا يقل عن 5 متر ولذلك لا يوجد في العالم سوى 100 موقع يتوفر فيه هذا الشرط. كما أن استخدام هذه التقنية في المياه المالحة يعرض القطع المعدنية المستخدمة إلى الصدأ، وبالتالي لا بد من العناية والصيانة الدائمة وهذا ما قد يرفع من التكاليف وبالتالي تدني الربح.

توجد طريقتان أساسيتان لتوليد الطاقة الكهربائية باستغلال ظاهرة المد والجزر :

الطريقة الأولى : طريقة بناء السدود كما هو منفذ في محطة Rance بفرنسا والتي بُنيت عام 1966 وتعمل بقوة 240MW (شكل 1-5). بُني هذا السد للتحكم في التيارات الناتجة عن المد والجزر وتوجيه هذه التيارات بحيث تمر في فتحات التوربينات أو المراوح.



شكل (1-5) محطة رانس في فرنسا لتوليد الكهرباء بواسطة طاقة المد والجزر.

الطريقة الثانية: طريقة الأبراج التي تعتمد على تثبيت مروحة أو مروحتين على برج متين بحيث تكون تلك المراوح تحت سطح الماء. وتتحول طاقة حركة المروحة بواسطة المولد الكهربائي إلى كهرباء. ويوضح الشكل (1-6) كيفية تثبيت المروحة على البرج وهي لمحطة تجريبية بُنيت عام 2002 بشمال أيرلندا وقوتها 300 كيلوات تقريباً، ونلاحظ في الشكل أن المروحة قد رُفعت فوق سطح الماء لإجراء أعمال الصيانة.



شكل (1-6) طريقة الأبراج للاستفادة من طاقة المد والجزر.

1-4 طاقة حرارة الأرض الجوفية :

الطاقة الحرارية الأرضية هي الحرارة المخزنة تحت القشرة الصلبة للأرض، وكلما تم الحفر بعمق أكثر لداخل الأرض كلما أصبحت أكثر سخونة، ومن المعروف عالمياً أن الحرارة ترتفع ثلاث درجات مئوية لكل مئة متر عمق من مستوى سطح الأرض ومن المتوقع اليوم أن درجة الحرارة داخل الأرض تبلغ بين $5000\sim 6000C^{\circ}$ درجة مئوية، بالمقاييس البشرية فإن الحرارة المختزنة في باطن الأرض لا تتضعب إذ يقدر احتياطي الطاقة الحرارية الجوفية في حزام عمقه 2000 متر تحت سطح الأرض ما يعادل ما ينتجه 250 مليار طن فحم من الطاقة ونظرياً يمكن أن يغطي هذا المقدار من الطاقة حاجة العالم لمدة 100000 سنة قادمة (نصير، 2002).

وتنتج آيسلندا بحدود 170 جيجا واط حرارية كانت كافية لتجهيز 85% من الدور السكنية في هذا البلد في العام 2000، وقد أنتج ما يزيد على 8000 جيجا واط من هذا النوع من الطاقة في مختلف بقاع العالم في العام 2008 بحسب المجلس الأوروبي للطاقة المتجددة (EREC) .



شكل (1-7) محطة Nesjavellir تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية في آيسلندا (ويكيبيديا).

1-5 طاقة الكتلة الحيوية:

إن الكتل الحيوية مصطلحٌ عامٌ يغطي مساحةً واسعةً من المخلفات ذات الأصل النباتي أو الحيواني .

1-5-1 مصادر الكتل الحيوية :

أ -الأخشاب: تعد من مصادر الطاقة المفضلة وذلك لتوفرها في كل مكان تقريباً. لقد أنشأت أغلب بلدان العالم أقساماً لإدامة الغابات، وذلك من خلال زراعة الأشجار ذات الدورة القصيرة في النمو أو الأشجار ذات الإنتاج الكبير للأخشاب.

ب -المخلفات النباتية والحيوانية، والفضلات المنزلية والبلدية، فالمخلفات النباتية التي تشمل القش، وقشور الرز، والأغلفة، والسيقان، وروث الحيوانات هي من أقدم المصادر التي استخدمها الإنسان لتوليد الطاقة.

ج - محاصيل إنتاج الطاقة ومنها:

*المحاصيل العشبية مثل الذرة والبنجر وقصب السكر وهي تتحمل أجواء نمو قاسية.

*محاصيل السكر والنشويات مثل البنجر الحلو وشجرة الكاساف والبطاطا التي تفرغ التربة من النيتروجين.

*الأشجار المائية (Aquatics Plant) وهي لا تحتاج إلى أراضٍ زراعية ومنها الأبصال النهرية التي لها قابلية نمو عالية جداً تزيد على 60 طن/هكتار سنوياً ولكنها تسبب مشاكل بيئية إذا تسربت إلى مجاري الأنهار الطبيعية، وكذلك فإنها تقوم بتجميع أنواع السميات (Toxins) وتحتوي على أنسجة تؤذي الكائنات الحية.

*النباتات الزيتية و الكربوهيدراتية التي لا تستخدم للاستهلاك البشري مثل الجاتروفا و الخروع.

1-5-2 طرق تحويل الكتل الحيوية إلى مصادر للطاقة :

طرق فيزيائية مثل التجفيف والتكثيف وضغط الحجوم.

طرق حرارية مثل الحرق أو الأكسدة.

طرق كيميائية مثل التخمر والتفاعلات اللاهوائية.

وتؤدي عمليات التحويل في النهاية إلى الحصول على مواد صلبة أو سائلة أو غازية وهذه إحدى أهم محاسن طاقة الكتل الحيوية التي لا تتوفر في الطاقات الأخرى.

1-5-3 أنواع الوقود المستخرج من الكتل الحيوية:

أ- الإيثانول: عبارة عن وقود حيوي سائل ينتج بطريقة تخمر الفضلات (Fermentation) بواسطة الكائنات الحية في غياب الهواء وتتم هذه العملية بصورة طبيعية وقد عرفه الإنسان كشراب مسكر قبل ألف عام واستخدم كمحلول مذيّب في بعض الصناعات الكيماوية. لقد تم تطوير وسائل إنتاجه وذلك بتقليل الطاقة المصروفة لتصنيعه. ومن الدول الرائدة في هذه الصناعة البرازيل حيث يستخدم الإيثانول كوقود للسيارات بصورة واسعة .

ب- الوقود الحيوي (Biofuel): هناك نوعان من الوقود الحيوي

الأول يسمى الديزل الحيوي (Biodiesel) الذي نحصل عليه بسحق كمية من الذرة وخلطها مع الكازولين.

الثاني الميثانول وهو وقود سائل ينتج بطريقة التحلل الحراري (Paralysis) حيث تتحلل الكتل الحيوية في درجات حرارة تزيد على 300C° درجة مئوية مع عدم وجود الهواء (تحلل لا هوائي).

ج -الغاز الحيوي.

1-5-4 سياسات الوقود الحيوي في دول العالم:

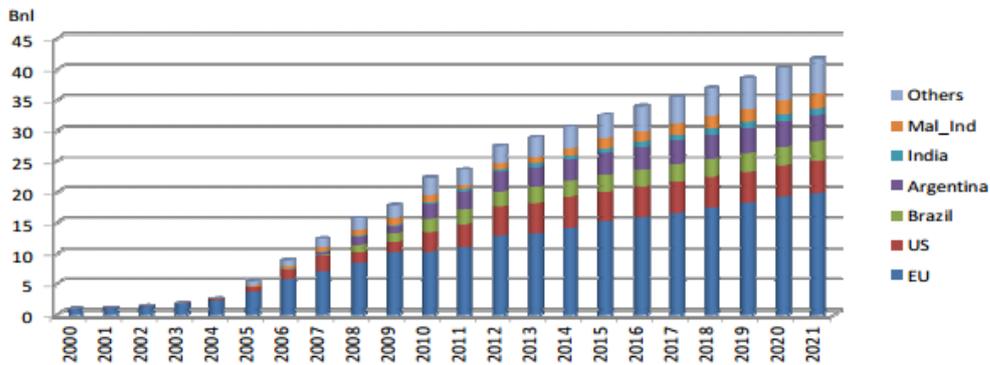
في السنوات الأخيرة تبنت كثير من البلدان سياسات لتشجيع إنتاج الوقود الحيوي واستهلاكه وذلك لتحقيق واحد أو أكثر من هذه الأهداف:

تقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري (أمن الطاقة)، والتقليل من انبعاث غازات الدفيئة (التخفيف من آثار التغير المناخي)، وخلق طلب على المحاصيل الزراعية الفائضة (التممية الريفية).

وتتلخص تدابير سياسات الوقود الحيوي في أربع نقاط هي:

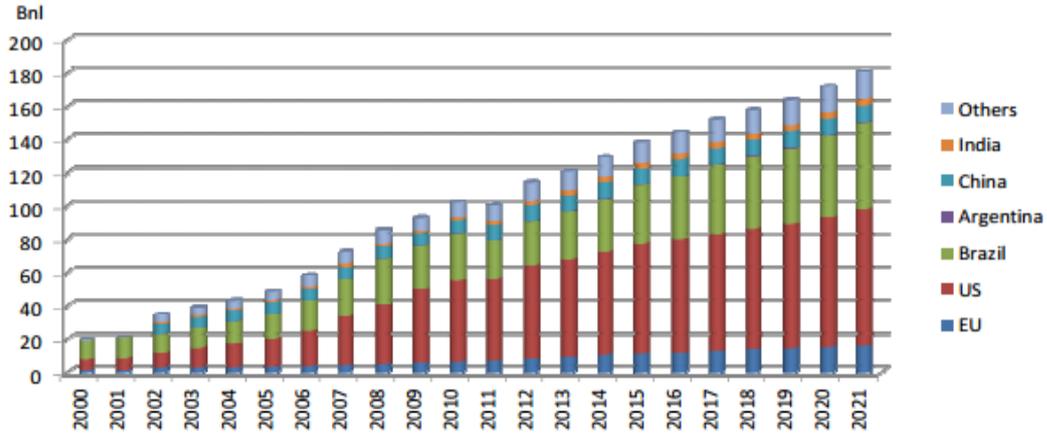
- 1 - دعم الميزانية : مثل الدعم المباشر لمشاريع إنتاج الغاز الحيوي وتوفير القروض للأسر الريفية لبناء وحدات إنتاج غاز حيوي صغيرة وقروض للمستثمرين الكبار في مجال إنتاج الطاقة من المخلفات العضوية .
 - 2 - اتخاذ تشريعات لتحديد الحد الأدنى من كمية الوقود الحيوي المستخدم في وسائل النقل.
 - 3 - التدابير الجمركية: كالإعفاء من التعرفة الجمركية على استيراد أجهزة إنتاج الوقود الحيوي.
 - 4 - تدابير لتشجيع طرق إنتاج الوقود الحيوي وتطويرها وإجراء البحوث، ودعم الباحثين في هذا المجال.
- (Blanco et al. 2010) .

اعتمد الاتحاد الأوروبي عام 2009 الاتجاه إلى الطاقة البديلة (Renewable Energy Directive (RED) ووضع هدفا لذلك فافتراض أنه بحلول عام 2020 سيكون حوالي 10% من الوقود المستخدم في وسائل النقل عبارة عن وقود حيوي. وسيكون في الولايات المتحدة الأمريكية بحدود عام 2022 حوالي 36 مليار غالون من وقود السيارات عبارة عن وقود حيوي (FAO).



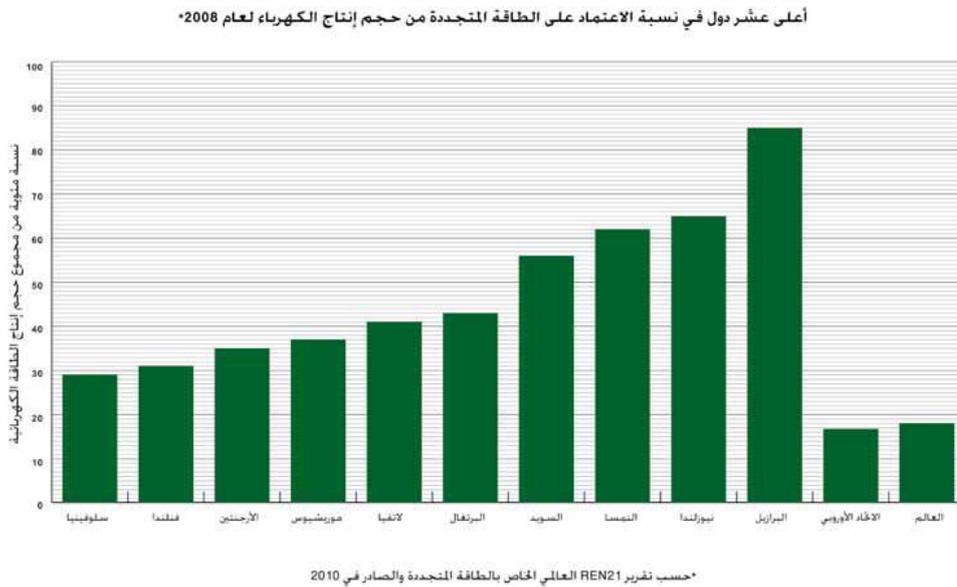
Source: Based on data from OECD-FAO (2012)

شكل (1-8) الإنتاج العالمي من الوقود الحيوي (مليار لتر) والتوقعات للأعوام القادمة (FAO 2012) .



شكل (9-1) الإنتاج العالمي من الإيثانول (مليار لتر) والتوقعات للأعوام القادمة (FAO 2012).

بشكل عام لا تزال الطاقة البديلة تحتل نسباً متدنيةً في مجمل إنتاج الطاقة وخاصة في البلدان النامية، وتتفاوت الدول في اعتمادها على الطاقة البديلة وفيما يلي أول عشر دول في العالم في اعتمادها على الطاقة البديلة بحسب تقرير REN21 الصادر في 2010 .



شكل (10-1) أول عشر دول في الاعتماد على الطاقة البديلة (REN21) .

الفصل الثاني

الغاز الحيوي

1-2 لمحة تاريخية:

اكتشف الغاز الحيوي عام 1776 في إيطاليا بواسطة الكسندر وفولتا، وعُرفَ بغاز المستنقعات حيث كان يتولد عن طريق تخمير المخلفات العضوية الحيوانية والبشرية والبقايا النباتية وبعض المخلفات العضوية الصناعية في حفر خاصة بمعزل عن الهواء (بواسطة الكائنات الحية الدقيقة)، فيتصاعد غاز قابل للاشتعال يعرف بالغاز الحيوي ويتكون أساساً من الميثان وينتج عن عملية التخمير مادة تستخدم سماداً طبيعياً يساعد على زيادة خصوبة التربة الزراعية ويعرف هذا الغاز بالبيوغاز.

إن الاهتمام العلمي بتصنيع الغاز الناتج عن التحلل الطبيعي للمواد العضوية حدث لأول مرة في القرن السابع عشر بواسطة Robert Boyle and Stephen Hale الذين لاحظوا أن غازاً قابلاً للاشتعال ينطلق من الجداول والبحيرات (Ferguson, T. & Mah, R 2006) وتم بناء أول هاضم لاهوائي بواسطة leper colony في بومباي في الهند عام 1859، وفي عام 1895 طُوِّرت هذه التكنولوجيا في اكستير بالمملكة المتحدة حيث كان الغاز المستخرج من مجاري هذه المدينة يستعمل في إنارة الشوارع (FAQ).



شكل (1-2) باحث يستخدم غاز المستنقعات مباشرة كمصدر طاقة.

2-2 إنتاج الغاز الحيوي في دول العالم والاتحاد الأوروبي.

لقد تطورت تكنولوجيا الغاز الحيوي بشكل كبير كما زاد عدد وحدات الغاز الحيوي بشكل كبير جداً وقد وصل هذا العدد إلى أربعة ملايين وحدة في الهند وسبعة وعشرين مليون وحدة في الصين وحدها وأغلبها يتراوح بين حجم $6-10m^3$ (Chen *et al.*, 2010).

ويبين الجدول (1-2) عدد وحدات الغاز الحيوي في دول مختلفة من العالم في عام 2008 (Turker, 2008).

Countries	Plant
Austria	350
Belgium	10
Czech Republic	12
Denmark	70
Estonia	5
Finland	10
France	5
Germany	3700
Greece	2
Hungary	2
Ireland	5
Italy	70
Lithuania	2
Luxemburg	15
Netherlands	70
China	20000000
Russia	70
Kazakhstan	30
India	2500000
Nepal	145000
Vietnam	1800
Turkey	48

جدول (1-2) عدد وحدات الغاز الحيوي في دول مختلفة عام 2008 .

يعد الاتحاد الأوروبي رائداً على مستوى العالم في مجال إنتاج الغاز الحيوي حيث أنتج $10,085.8 \text{ ktOE y}^{-1}$ (ألف طن مكافئ من النفط يومياً) في عام 2011، وهو يمثل حوالي 60% من الإنتاج العالمي للغاز الحيوي وجاءت ألمانيا في مقدمة الدول الأوروبية بإنتاج حوالي $5067.6 \text{ ktOE y}^{-1}$ منها حوالي $4414.2 \text{ ktOE y}^{-1}$ من الهضم اللاهوائي وجاءت المملكة المتحدة في المركز الثاني بحوالي 1764.8 ألف طن مكافئ من النفط، وإيطاليا ثالثة بحوالي 1095.7 ثم فرنسا 349.6، ويقدر أن يصل إنتاج دول الاتحاد الأوروبي من الغاز الحيوي لحوالي 28 ktOE y^{-1} مليون طن مكافئ من النفط بحلول عام 2020 .



شكل (2-2) محطة فينا لإنتاج الغاز الحيوي (النمسا).

2-3 تركيب الغاز الحيوي ومكوناته.

إنّ المعطيات والبيانات الموجودة في المراجع حول تركيب الغاز الحيوي ونسب الغازات المكونة له تعطي معلومات متباينة جداً، حيث يعود هذا الأمر إلى وجود عوامل ومتغيرات مختلفة تحدد طبيعة هذا التركيب من بينها المنشأ الحيوي الأصل الذي يستخرج منه الغاز بالإضافة إلى آلية سير العمل داخل خزانات التخمر، ولكن بشكل عام تشير معظم هذه المراجع إلى أن غاز الميثان يشكل المكون الرئيس للغاز الحيوي بنسب تتراوح بين 45~75% ثم غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة بين 25~55% إلا أن هذه القيم تكون متغيرة خلال مراحل التخمر ففي الأيام الأولى تكون نسبة الميثان منخفضة بالمقارنة مع نسبة غاز CO_2 ، والبيانات الموجودة في الجدول (2-2) المرافق تظهر نسب أهم مكونات الغاز الحيوي وذلك حسب دراسة أعدتها الجمعية الألمانية للغاز والمياه DVG.

أهم مكونات الغاز الحيوي هو الميثان، حيث إنه كلما ازدادت نسبته ضمن المكونات كلما زادت نسبة الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الغاز الحيوي، أما ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء فهما مكونان ليسا بأهمية كبيرة، بينما وجود كبريتيد الهيدروجين والأمونياك يمكن أن يسبب مشاكل بيئية وذلك لإمكانية تشكيل أكاسيد الكبريت والنيتروجين المسؤولة عن تشكل الأمطار الحامضية فيجب بالتالي التخلص منها قبل حرقها في محرق احتراق الغاز خاصة أنها من الغازات الأكلالة أيضاً.

جدول (2-2) مكونات الغاز الحيوي ونسبها بحسب الجمعية الألمانية للمياه والغاز (DVG) .

القيمة المتوسطة	مجال القيمة	المكون
60%	45-70%	الميثان (CH ₄)
35%	25-55%	ثاني أكسيد الكربون (CO ₂)
3,1%	0-10%	بخار ماء (H ₂ O)
1%	0,01-5%	نيتروجين (N ₂)
0.3%	0,01-2%	أكسجين (O ₂)
<1%	0-1%	هيدروجين (H ₂)
0,7 mg/m ³	0,01-2,5 mg/m ³	أمونياك (NH ₃)
500 mg/m ³	10-30000 mg/m ³	كبريتيت الهيدروجين (H ₂ S)

إن النسب المئوية لهذه الغازات تعتمد بشكل أساسي على مواد تغذية المفاعل، وعلى إدارة عملية التخمر ضمنه، إن غازي ثاني أكسيد الكربون، والنيتروجين هما غازان خاملان يخفضان من القيمة الحرارية للغاز الحيوي؛ وبالتالي فإنه من المهم جداً أن تتم عملية ترقية الغاز الحيوي وذلك بإزالة النيتروجين وثاني أكسيد الكربون منه، إلا أن عملية إزالة النيتروجين مكلفة، بينما هناك العديد من التقنيات التي يمكن استعمالها من أجل إزالة CO₂ من الغاز الحيوي وبكف منخفضة، أما بالنسبة إلى كبريت الهيدروجين H₂S فهو غاز سام ومسبب للتآكل وعلى الرغم من كمياته الصغيرة في الغاز الحيوي إلا أنه يجب أن يتم تخفيضه إلى أقل من 3 PPM (جزء من مليون جزء) لمنع التآكل، ويمكن تخفيض نسبته في الغاز عن طريق تمريره على محلول من هيدروكسيد الصوديوم حيث يتفاعل معه وفق المعادلة:



2-4 المواد المنتجة للغاز الحيوي.

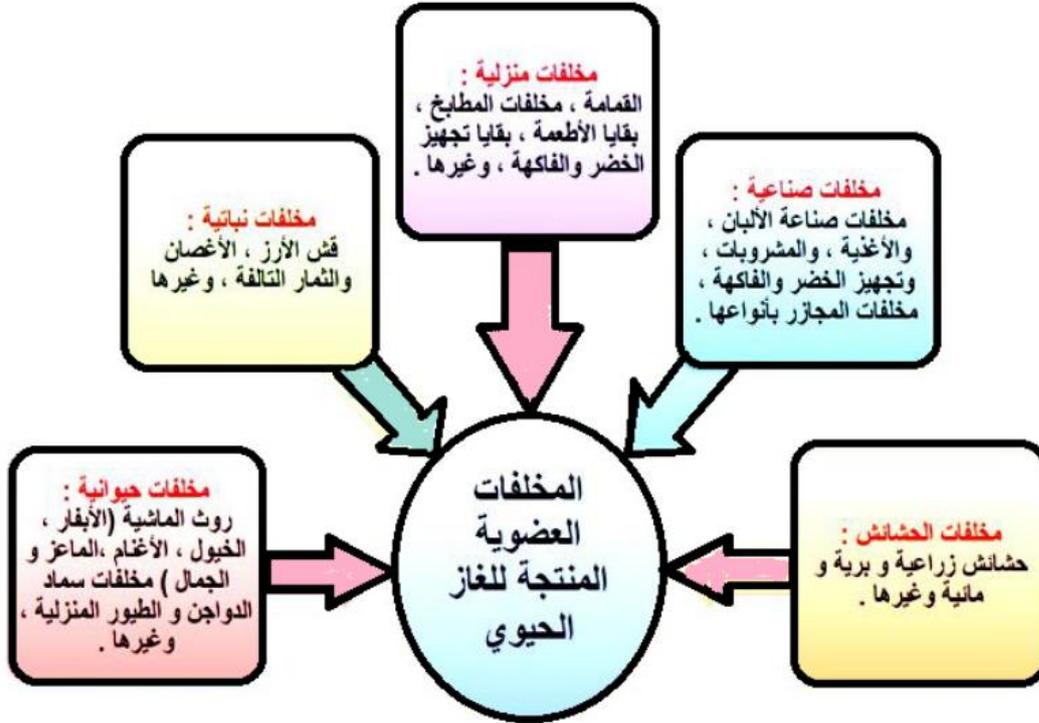
المواد المنتجة للغاز الحيوي متعددة :

مخلفات حيوانية : روث الماشية (الأبقار والأغنام والماعز والخيول) ومخلفات الدواجن .

مخلفات نباتية : كالكش وبقايا التقليم والثمار التالفة .

مخلفات منزلية : بقايا الأطعمة وبقايا الخضر والفاكهة .

مخلفات صناعية : بقايا مصانع العصير والمعلبات ومخلفات المسالخ .



شكل (2-3) المواد المنتجة للغاز الحيوي.

2-5 ميزات استخدام الغاز الحيوي.

- 1- يُستخدَم للتخلّص من النفايات الزراعية والصناعية بشكل آمن.
- 2- يحلُّ مشكله إمدادات الطاقة حيث إنه أفضل من حرق الخشب.
- 3- يعد غاز الميثان واحداً من أفضل الغازات حيث لا ينتج عنه دخان.
- 4- يستخدم غاز الميثان في توليد الكهرباء.
- 5- يحل مشكله الصرف الصحي وتحسين النظافة اليومية الزراعية والبيئية.
- 6- تُستخدم البقايا المستفدّة من الخليط الداخل في إنتاج الغاز كسماد عضوي جيد حيث إن الطن منه يباع بعشرين دولار تقريباً.
- 7- يُستخدَم غاز الميثان لأغراض الطهي وكوقود رخيص للسيارات.



شكل (2-4) حافلة تعمل بالغاز الحيوي في السويد ، لينكونج (wikipedia)

- 8- يستخدم غاز الميثان لإنتاج الميثانول CH_4OH والذي يستخدم في صناعات عديدة.
- 9- إن خروج غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون بصورة حرة إلى الغلاف الجوي جراء عمليات التحلل الهوائي يسبب زيادة تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري، فتأثير غاز الميثان يفوق تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون بما

يعادل واحد وعشرين ضعفاً. وأثبت اختبار غاز الميثان الحيوي قدرته على تقليل 99 مليون طن متري من انبعاثات غاز الاحتباس الحراري أو حوالي 4% من غازات الاحتباس الحراري التي تنتجها الولايات المتحدة (Cuellar.et al. 2008).

6-2 كمية الطاقة الموجودة في الغاز الحيوي.

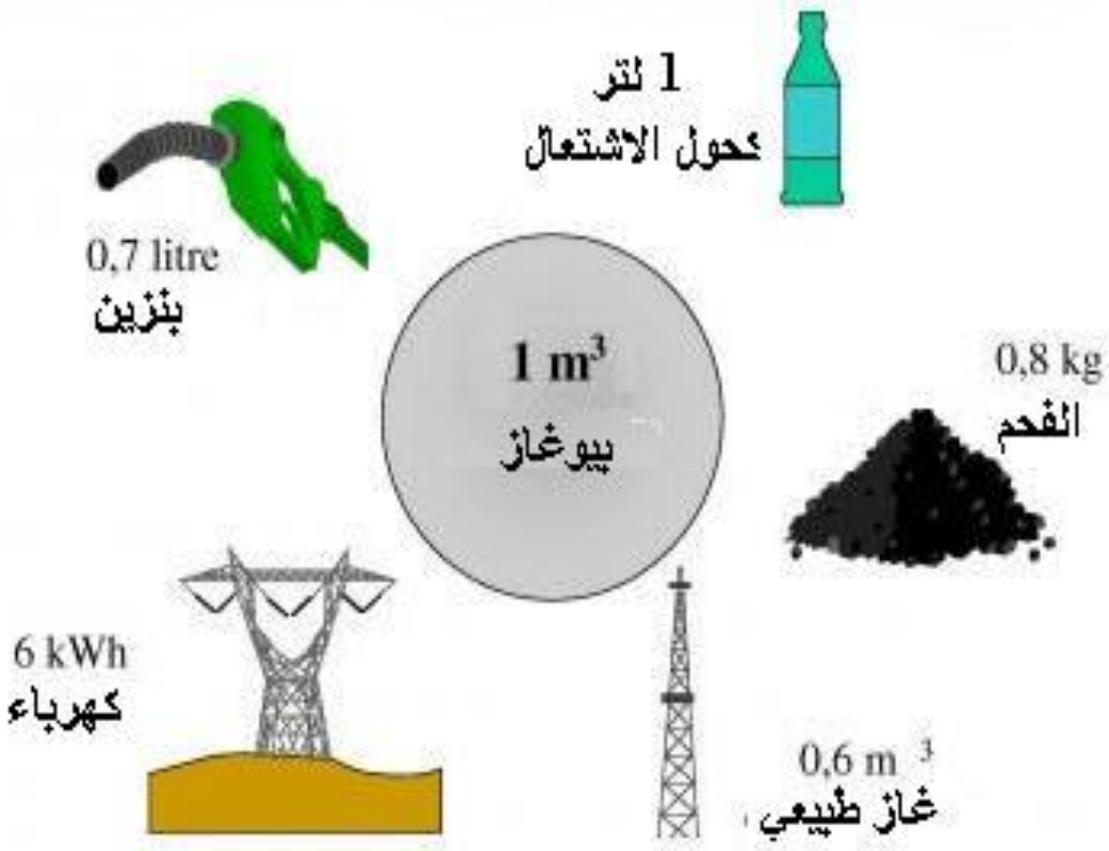
تختلف كمية الطاقة الموجودة في الغاز الحيوي تبعاً إلى محتواه من الميثان.

جدول (2-3) خصائص غاز الميثان CH₄ (Wikipedia) .

CH ₄	الصيغة الجزيئية
16.042 g/mol	الكتلة المولية
غاز عديم اللون	المظهر
0.717 kg/m ³	الكثافة
- 182.5 C ⁰	نقطة الانصهار
- 161.6 C ⁰	نقطة الغليان
3.5 mg/100 ml H ₂ O عند درجة حرارة 17C ⁰	الذوبان في الماء

ومحتوى الطاقة في المتر المكعب الواحد من الغاز الحيوي هو 1.3 إلى 1.5 كيلو واط ساعي تبعاً إلى محتواه من الميثان، وهذا ما يعادل 0.6 لتر من الوقود.

الغاز الحيوي هو غاز أخف بحوالي 20% من الهواء وحرارة اشتعاله بين 650-750 C⁰ وهو غاز عديم اللون والرائحة يحترق بلهب أزرق وكمية الطاقة التي ينتجها بشكل تقريبي 20 MJ/m³.



شكل (5-2) مقارنة بين القيمة الحرارية للغاز الحيوي وأنواع الوقود التقليدية.

الفصل الثالث

الجراثيم التي تشترك في عملية التخمير اللاهوائي ومراحل إنتاج الغاز الحيوي

1-3 مجموعات الأحياء الدقيقة التي تشترك في عملية التخمير اللاهوائي:

1-1-3 المجموعة الأولى الجراثيم المفككة Bacteria Hydrolytic :

هي مجموعة من الجراثيم اللاهوائية التي تحول المركبات العضوية المعقدة (بروتينات، سليلوز، وليغنين، وليبيدات...) إلى مركبات وحيدة الجزيئة منحلة، مثل الحموض الأمينية، والغلوكوز، والحموض الدسمة، والجليسرول، وتشكل وسطا مغذيا للمجموعة الجرثومية الثانية (الحمضية)، وإن الأنزيمات الخلوية مثل السليلوز والبروتياز والليباز تحفز حلمهة الجزيئات المعقدة.

2-1-3 المجموعة الثانية الجراثيم الحمضية المخمرة Fermentative Acidogenic Bacteria:

تحول السكريات والحموض الأمينية، والحموض الدسمة، والحموض العضوية (الخل والبروبينوبك والبيوتيريك والفورميك واللاكتيد والسوكسينيك) والكحول، والكيونات مثل (الإيتانول والميتانول والأسيتون والجليسرول)، إلى الخلات وغاز ثنائي أكسيد الكربون، وغاز الهيدروجين، وتعد الخلات الناتج الرئيس لتخمير السكريات، وهذا الناتج المتكون يتنوع مع اختلاف نوع الجرثومة، ووفق ظروف الوسط (درجة حرارة، ودرجة حموضة، والمغذيات الأساسية).

جدول (1-3) آلية التفاعلات أثناء تخمر الغلوكوز كمثل عن تخمر السكريات.

الركازة	التفاعل
$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O$	$\rightarrow 2 CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
$C_6H_{12}O_6$	$\rightarrow CH_3CH_2COOH + CH_3COOH + CO_2 + H_2$
$C_6H_{12}O_6$	$\rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
$C_6H_{12}O_6$	$\rightarrow 2 CH_3CHOHCOOH$
$C_6H_{12}O_6$	$\rightarrow 2 CH_3CH_2OH + 2CO_2$

جدول (2-3) آلية تفاعلات تفكك الحموض الأمينية.

الركازة	التفاعل
Propionate $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Butyrate $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow 2 \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$
Valerate $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2$

3-1-3 المجموعة الثالثة الجراثيم المنتجة للخلات : Acetogenic Bacteria

هي الجراثيم التي تحول ما تبقى من الحموض الدسمة مثل (حمض البيوتيريك والبريبنوثيك) والكحول، إلى خلات وهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون، حيث يستخدم من قبل الجراثيم المنتجة للميثان، وهذه المجموعة تعمل في تراكيز منخفضة من الهيدروجين لتحويل الحموض الدسمة بالشكل الملائم.

جدول (3-3) تفاعلات تحول الحموض الدسمة بفعل جراثيم *Syntrophobacter wolinii* :

الحموض الدسمة	التفاعل
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons 2 \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2 + \text{H}^+$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons 3 \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}_2 + 2\text{H}^+$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 6\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons 4 \text{CH}_3\text{COO}^- + 6\text{H}_2 + 3\text{H}^+$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{COO}^- + 2 \text{H}_2 + \text{H}^+$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 2 \text{CH}_3\text{COO}^- + 4 \text{H}_2 + 2\text{H}^+$
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2 + \text{H}^+$

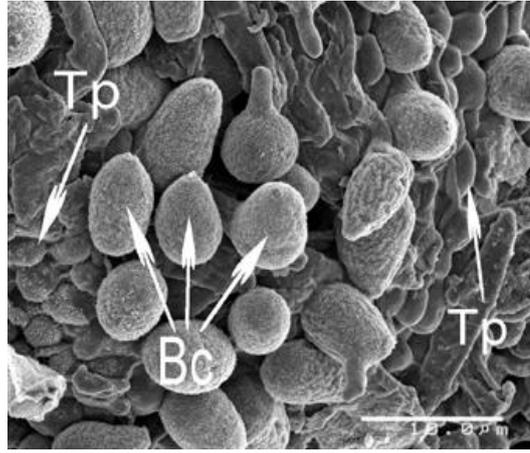
4-1-3 المجموعة الرابعة الجراثيم المنتجة للميثان : Methanogenic Bacteria

هذه الجراثيم تحول حمض الفورميك والميثانول، والميثيل أمين، وحمض الخل في ظروف لا هوائية إلى غاز الميثان. ومنه غاز الميثان الناتج يشتق في جزء من هذه المركبات بينما الجزء الآخر منها يعطي غاز ثنائي أكسيد الكربون. إنَّ الجراثيم المنتجة للميثان حساسة للظروف البيئية وتمتلك مجالاً ضيقاً من درجة الحموضة تتراوح بين (6.5~7.5) .

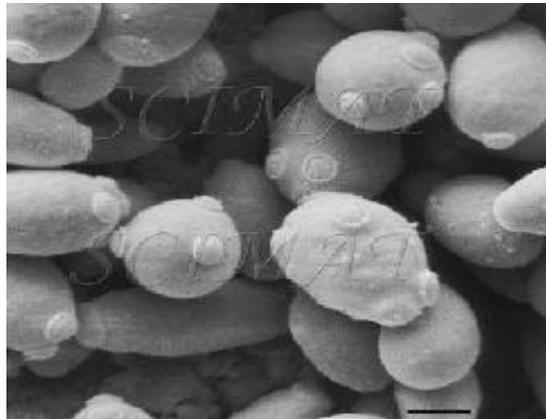
جدول (3-4) آلية تفاعلات تشكل غاز الميثان كحصولها نهائية لتفكك المواد العضوية

التفاعل		
Hydrogenotrophic methanogenesis	$4H_2 + CO_2$	$\rightarrow CH_4 + 2H_2O$
Aceticlastic methanogenesis	CH_3COOH	$\rightarrow CH_4 + CO_2$
Acetate oxidation	$CH_3COOH + 2H_2O$	$\rightarrow 4H_2 + 2CO_2$
Homoacetogenesis	$4H_2 + 2CO_2$	$\rightarrow CH_3COOH + 2H_2O$

يتم إنتاج غاز الميثان بشكل عام بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة ومنها على سبيل المثال نوع من الفطور يسمى *Trichosporon Pullulans*، والخميرة *Saccharomyces Cerevisiae* وهي من جنس خميرة الخبز المعروفة ونوعها، والبكتيريا *Clostridium Sporogenes*، وبكتيريا *Bacillus*، وبكتيريا *Pseudomonas sp*.



شكل (1-3) فطور *Trichosporon Pullulans* المنتجة للميثان.



شكل (2-3) الخميرة *Saccharomyces Cerevisiae* المنتجة للميثان.

2-3 مراحل المعالجة اللاهوائية للملوثات العضوية (مراحل إنتاج الغاز الحيوي):

تقسم مراحل إنتاج الغاز الحيوي إلى أربع مراحل إلا أن بعض الباحثين دمجوا المرحلتين الثانية والثالثة وقسموا عملية المعالجة اللاهوائية للمركبات العضوية إلى ثلاث مراحل.

1-2-3 مرحلة الحمهة:

وفيها تقوم البكتيريا اللاهوائية بفرز أنزيمات إلى الوسط الخارجي، بحيث تقوم بتفكيك المواد العضوية المعقدة التي لا تستطيع المرور عبر الجدار الخلوي إلى مواد بسيطة منحلة تتمكن من المرور بسهولة عبر الجدار الخلوي، فعلى سبيل المثال الكربوهيدرات المعقدة تتحول إلى سكريات بسيطة، وتتحول الدهون المعقدة إلى حموض دهنية و البروتينات المعقدة إلى حموض أمينية.

2-2-3 مرحلة إنتاج الحموض و إنتاج الأسيتيت:

خلال مرحلة إنتاج الحموض إن نواتج الحمهة تدخل عبر الجدر الخلوية للبكتيريا، ويتم أكسدها لاهوائيا (تخمير) بحيث ينتج الأكدسة غاز ثاني أكسيد الميثان، وغاز الكبريت، والكحول، وحموض عضوية أخرى، ومركبات تحوي النتروجين العضوي، والكبريت العضوي. إن الحمض العضوي الأكثر أهمية من بين الحموض هو الأسيتيت. إن الأسيتيت هو الحمض العضوي الأساسي الذي يستخدم من قبل بكتريا الميثان لإنتاج غاز الميثان. إن الحموض الدهنية ذات السلاسل القصيرة، غير حمض الأسيتيت، والتي تنتج في المرحلة الحمضية (إنتاج الحموض) وتتحول بدورها إلى حمض الأسيتيت وغاز الهيدروجين، وغاز ثاني أكسيد الكربون بواسطة بكتيريا المنتجة للأسيتيت (مرحلة إنتاج الأسيتيت). والهيدروجين المتوفر (H_2) وغاز ثاني أكسيد الكربون يتحولان جزئياً إلى حمض الأسيتيت. كلاً من حمض البروبيونيت، والبيوتاييريت لا يمكن استخدامها مباشرة من قبل بكتيريا الميثان لذلك تقوم بكتيريا الأسيتيت المنتجة للهيدروجين بتحويلها إلى أسيتيت وهيدروجين، ولا تبدأ عملية تفكيك هذين الحمضين حتى تستهلك بكتريا الميثان كامل حمض الأسيتيت الموجود. إن بكتيريا الأسيتيت تتكاثر بشكل بطيء وعادة ما يكون زمن التوالد أكبر من ثلاثة أيام.

3-2-3 مرحلة إنتاج الميثان:

في هذه المرحلة يتم إنتاج أغلب غاز الميثان من الأسيتيت ومن كل من غاز الهيدروجين وغاز ثاني أكسيد الكربون. ويتم إنتاج غاز الميثان أيضاً من الأكدسة اللاهوائية لبعض المركبات العضوية غير الأسيتيت. فحوالي 70% من غاز الميثان يتم إنتاجه من الأسيتيت. يظهر الشكل (3-3) المراحل العامة للأكدسة اللاهوائية للملوثات العضوية، وأهم الجراثيم التي تشترك بعملية إنتاج الميثان. إن زمن التكاثر الخلوي لبكتيريا الميثان يبلغ حوالي 3 أيام عند درجة حرارة $35C^{\circ}$ مئوية إلى 50 يوم عند درجة حرارة $10C^{\circ}$ مئوية بالنسبة إلى المعالجة اللاهوائية لمياه الحمأة.

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على المعالجة البيولوجية اللاهوائية للملوثات العضوية مثل درجة الحرارة، وحموضة المياه، ووجود العناصر السامة، ونوع الملوثات المراد معالجتها، وقلوية المياه، وزمن المكوث، ومدى توفر المواد المغذية مثل الفوسفور والنيتروجين، ..الخ.

الحلمة Hydrolysis	<p>-----> الكربوهيدرات المعقدة -----> الدهون المعقدة -----> البروتينات المعقدة</p>	<p>سكريات بسيطة حموض دهنية حموض أمينية</p>
إنتاج الحموض Asid Production	<p>حموض عضوية بما فيها الأستيت+الكحول Simpel sugars+fatty acids+amino asids ----></p>	<p>سكريات بسيطة+حموض دهنية+حموض أمينية --< Organic asidsincluding acetate+alcohols</p>
إنتاج الأستيت Acetogenesis(acetate production)	<p>أستيت Organic acids+alcohols-----></p>	<p>حموض عضوية+كحول-----< Acetate</p>
Methane production إنتاج الميثان (1)	<p>(Asetoclastic methanogenesis) Asetate</p>	<p>-----> CH₄+CO₂</p>
Methane production إنتاج الميثان (2)	<p>(Hydrogenotrophic methanogenesis) H₂+CO₂</p>	<p>-----> CH₄</p>
Methane production إنتاج الميثان (3)	<p>(Methyltrophic methanogenesis) Methanol</p>	<p>-----> CH₄+H₂O</p>

شكل (3-3) مراحل إنتاج الغاز الحيوي والبكتريا المشتركة في العملية.

الفصل الرابع

أنواع مخمرات الغاز الحيوي

هناك العديد من أنواع المخمرات التي يختلف تصميمها حسب حجم المخمر ومكان تواجده و أبرزها:

4-1 نموذج القبة الثابتة Fixed-dome plants :

يتألف هذا المخمر بشكل عام من قبة نصف كروية تمثل جسم المخمر إضافةً على حجرة لدخول المواد العضوية وحجرة أخرى لخروجها، ويتم بناء المخمر من الطوب، إنَّ كلفة المخمر من نموذج القبة الثابتة قليلة نسبياً، وعمره الافتراضي حوالي 20 سنة أو أكثر.

ويتم بناء جسم المفاعل تحت الأرض مما يحميه من الضرر، ويوفر من مساحة الأرض ويحميه كذلك من تأثير درجة الحرارة المنخفضة في الليل أو في الفصول الباردة، ومن تأثير أشعة الشمس المباشرة في فصل الصيف، والتي تسبب ارتفاعاً كبيراً في درجة الحرارة مما يؤثر على الجراثيم المنتجة للميثان، كما يحمي من فروق درجة الحرارة بين الليل والنهار التي تؤثر على عملية إنتاج الغاز.

كما أن بناء مخمرات القبة الثابتة يخلق فرص عمل للسكان المحليين، حيث إن بناء هذا النموذج ليس بالعمل السهل، ويحتاج إلى خبراء في مجال الغاز الحيوي وإلا سيحصل تسرب للغاز من الشقوق والمسامات.

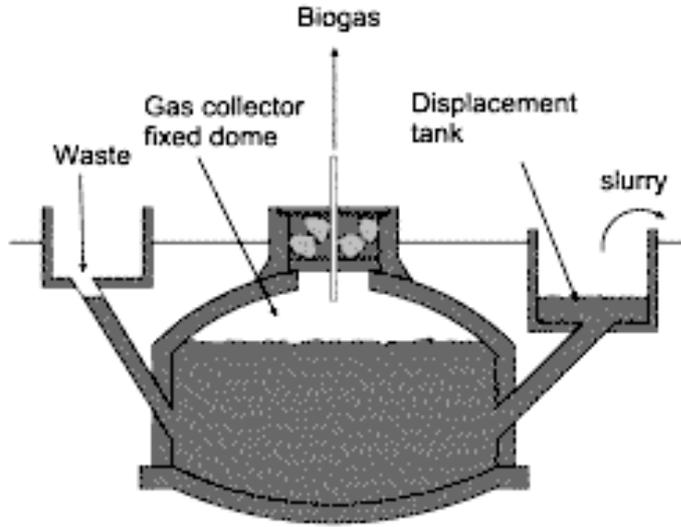
ومن مميزات نموذج القبة الثابتة: كلفة أولية منخفضة، وعمره طويل، ولا توجد فيه أجزاء متحركة أو معدنية قابلة للصدأ، كما يوفر في مساحة الأرض، ويؤمن عزلاً جيداً حيث يحافظ على حرارة ثابتة خلال عملية التخمر، كما يخلق فرص عمل للسكان المحليين للعمل في بناء المخمرات.

ومن عيوب نموذج القبة الثابتة: صعوبة الإنشاء حيث يحتاج إلى اختصاصيين في هذا المجال لضمان إحكام جيد ومنع تسرب الغاز، وكمية الغاز الناتجة ليست مرئية مباشرة، كما أن تأرجح قيم الضغط داخل المخمر ومعدلات الضغط المرتفع في حال عدم استهلاك الغاز تؤثر سلباً على إنتاج الغاز .

وفيما يلي أبرز أنواع المخمرات ذات القبة الثابتة (Types of fixed-dome plants) :

1-1-4 النموذج الصيني (Chinese fixed-dome plant): يعد هذا النموذج هو النموذج الأصلي لكل

نماذج مخمرات القبة الثابتة وقد تم بناء أكثر من مليون من هذه المخمرات في الصين لوحدها .

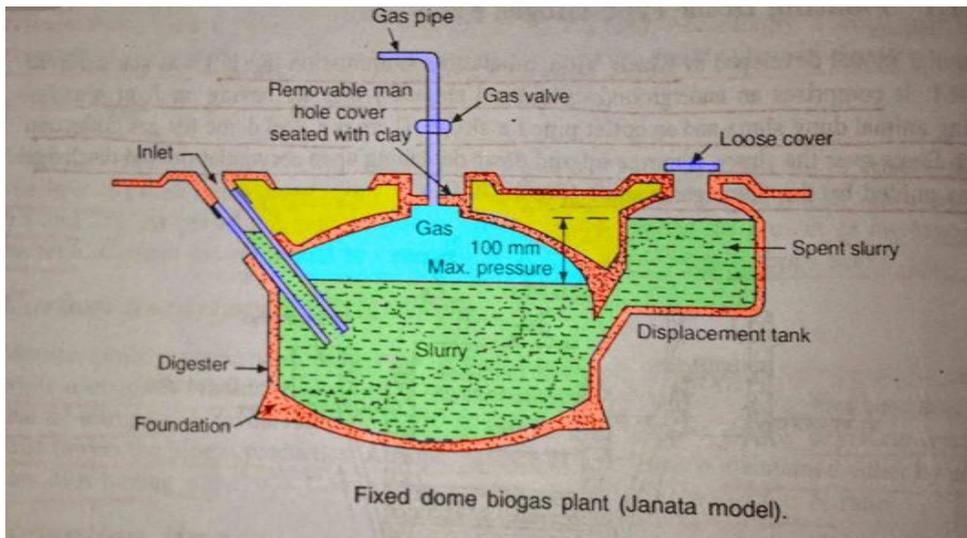


شكل (1-4) النموذج الصيني ذو القبة الثابتة (Chinese fixed dome plant) .

2-1-4 نموذج جاناتا (Janata model) : يعد هذا النموذج من أوائل النماذج للمخمرات ذات القبة الثابتة في

الهند، ولكن هذا النموذج لم يعد يبني في الهند، لأنّ طريقة التركيب تحتاج إلى خبرة كما ذكرنا، والقليل من هذه

النماذج تكون محكمة الإغلاق وتمنع تسرب الغاز .

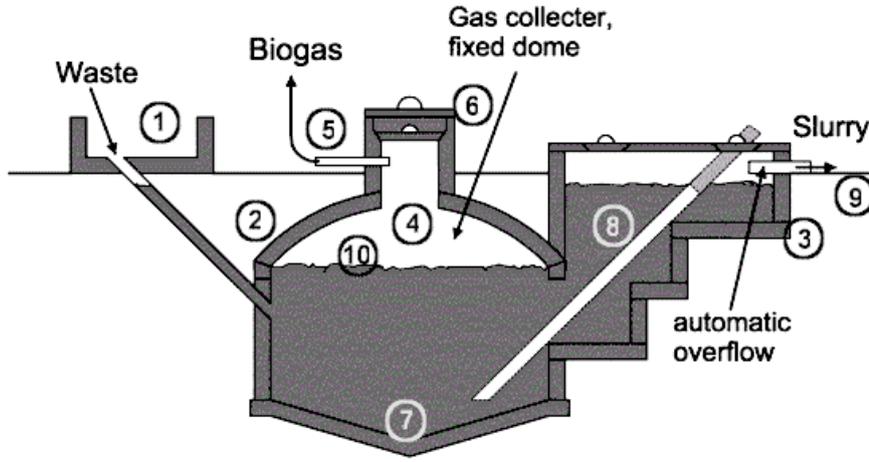


شكل (2-4) نموذج جاناتا ذي القبة الثابتة (Janata design) .

4-1-3 نموذج نيكاراغوا :

الأجزاء الرئيسية لمخمر القبة الثابتة نموذج نيكاراغوا:

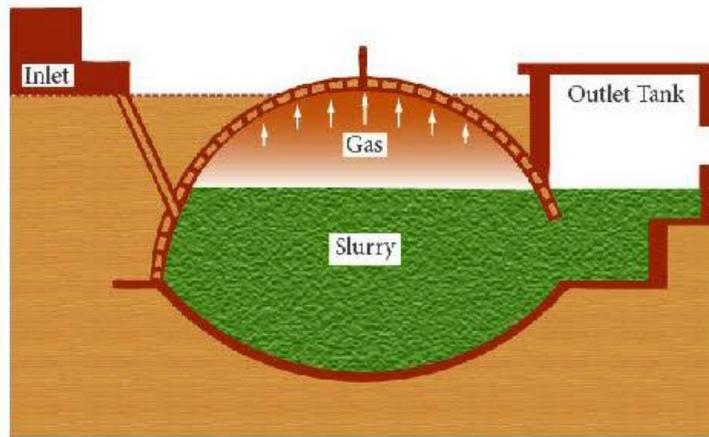
- 1- حجرة دخول المواد العضوية مع أنبوب الدخول، 2- جسم المخمر، 3- حجرة الخروج، 4- مجمع الغاز،
- 5- أنبوب خروج الغاز، 6- فتحة دخول لتنظيف المخمر أو القيام بأعمال صيانة إذا تطلب الأمر ذلك، 7-
- منطقة تراكم المواد العضوية الثقيلة، 8- أنبوب الخروج، 9- المستوى المرجعي، 10- طبقة الزيت الطافية أو مستوى المادة العضوية في المخمر.



شكل (4-3) الأجزاء الرئيسية للمخمر ذو القبة الثابتة نموذج نيكاراغوا.

4-1-4 نموذج دينباندهو (Deenbandhu):

هذا النموذج هو النموذج المطور من نموذج جانانا، فهو يحتاج إلى مواد بناء أقل، وأكثر إحكاما لتسرب الغاز.



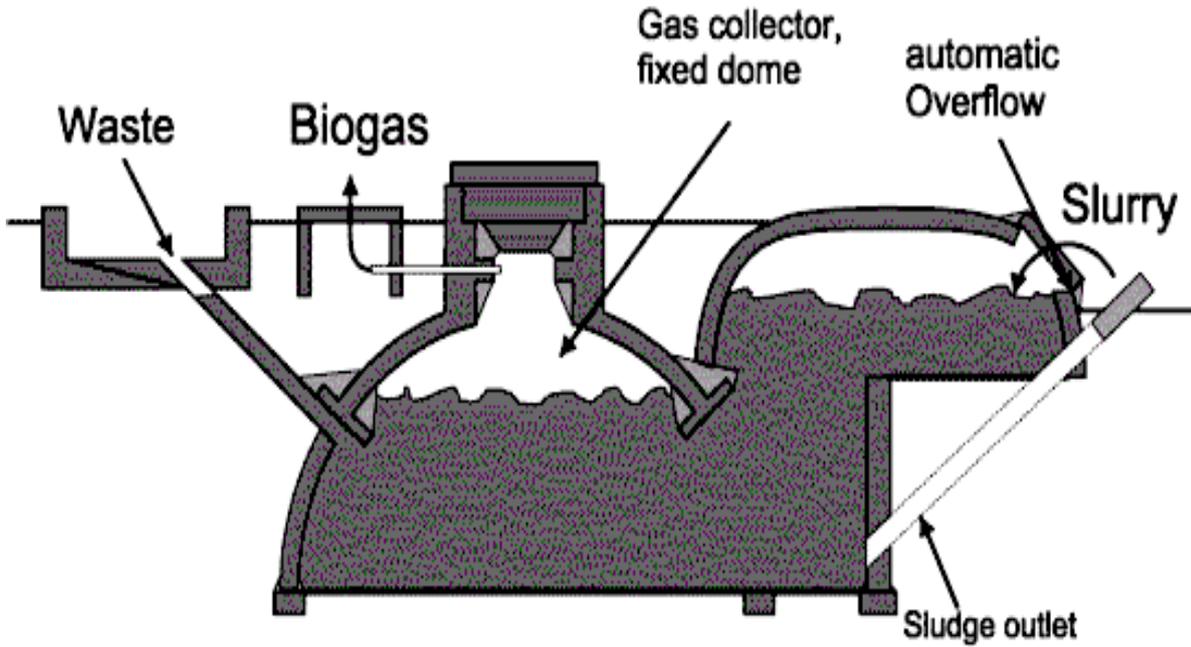
شكل (4-4) نموذج دينباندهو ذو القبة الثابتة.



شكل (4-5) نموذج دينباندهو حديث من مواد بلاستيكية .

5-1-4 نموذج كاماراتيك (CAMARTEC model):

تركيبه بسيط نسبيا مع قبة نصف كروية، وتم تطوير هذا النموذج في أواخر الثمانينات في تانزانيا.



شكل (4-6) نموذج كاماراتيك (CAMARTEC model) .



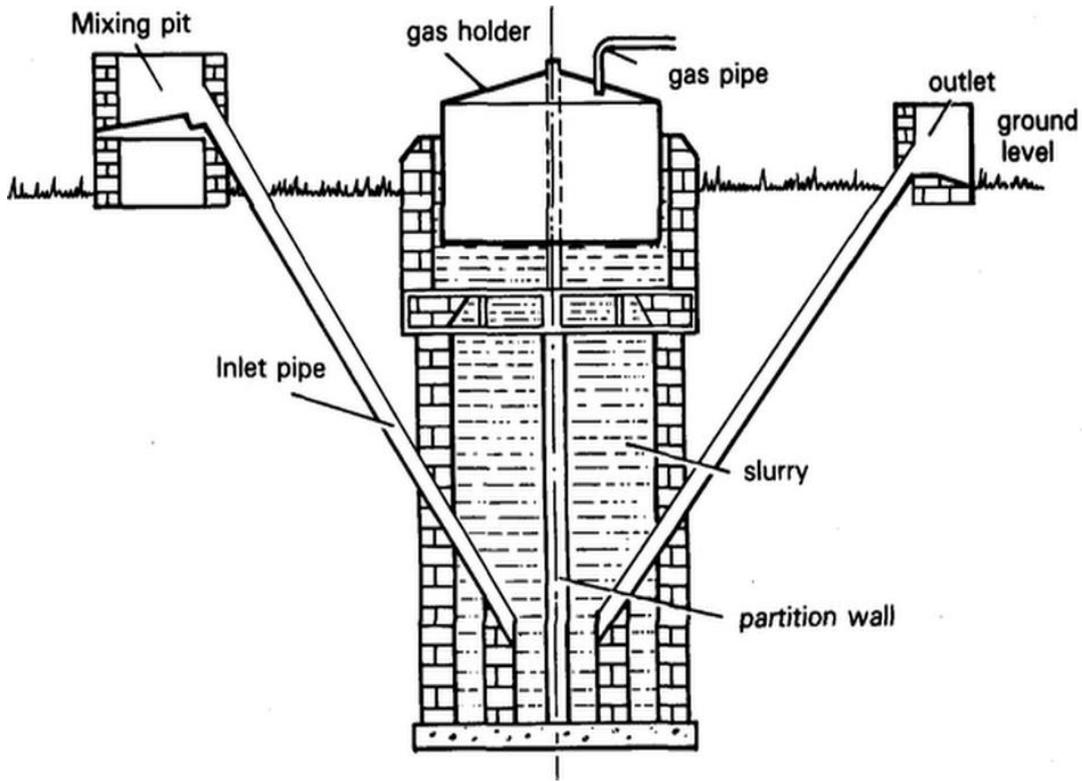
شكل (4-7) عامل يقوم ببناء مخمر نموذج قبة ثابتة في تونس.

4-2 المخمر ذو الغطاء العائم (القبة الطافية):

يعد هذا النوع من المخمرات الأكثر انتشاراً في الهند كما ينتشر استخدامه في معظم أنحاء العالم نظراً لسهولة إنشائه وتشغيله، وهذا النوع من المخمرات هو عبارة عن بناء أسطواني الشكل مبني من القرميد تحت سطح الأرض وعلى أعماق كبيرة تصل حتى أربعة أمتار، ويغطي المبنى بخزان معدني طافي مفتوح من الأسفل ومغلق من الأعلى بحيث يسمح باستقبال الغاز وتخزينه ويتحرك الخزان نحو الأعلى والأسفل تبعاً لإنتاج الغاز واستهلاكه، وتتم تقوية الخزان المعدني من الداخل بزوايا حديدية، كما تتم حركة الخزان للأعلى والأسفل بمعاونة دليل معدني مثبت في جدار المخمر، ويحتوي المخمر بالنسبة إلى الأحجام الكبيرة على فاصل أو أكثر لتحسين كفاءة الهضم فيه.

وتتم تغذية المخمر باستمرار بمعدل مرة واحدة يومياً أو أكثر، حيث يتم خلط الروث مع الماء في حجرة التغذية ثم تمر إلى جسم المخمر بواسطة ماسورة التغذية التي تصل إلى أسفل المخمر ويتم خروج كمية مماثلة من المحلول المتخمر بواسطة ماسورة الخروج.

ويوضح الشكل (4-8) مخمراً من نموذج الأسطوانة الطافية (النموذج الهندي).



شكل (4-8) المخمر ذو الأسطوانة الطافية.

1-2-4 ميزات المخمر ذو الأسطوانة الطافية:

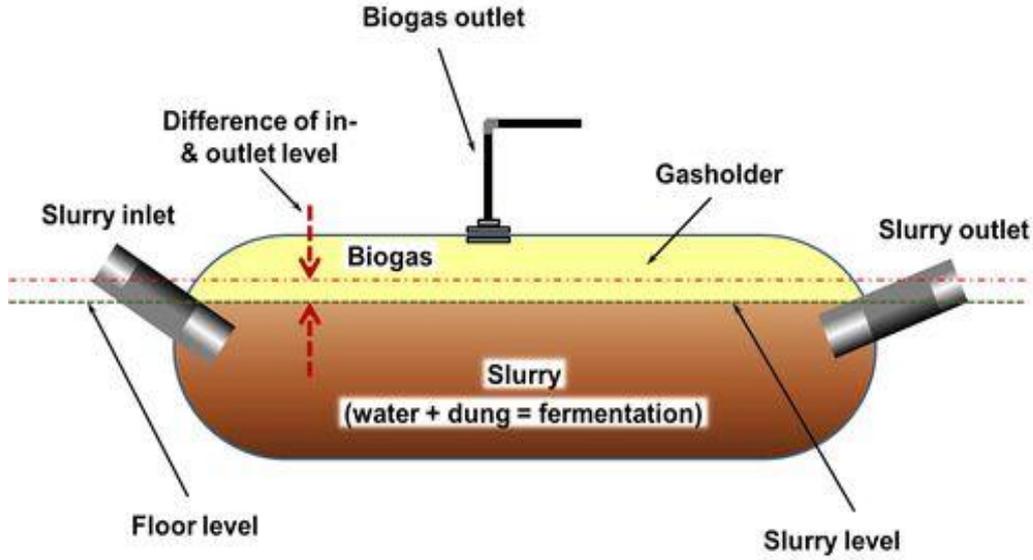
إن هذا النموذج سهل التشغيل والبناء، ويعطي غاز بضغط ثابت خلال عملية التخمير، ويمكن ملاحظة الغاز مباشرة حيث يرتفع الغطاء العائم مباشرة عند إنتاج الغاز، ولا توجد مشكلة في تسرب الغاز كما في نموذج القبة الثابتة.

2-2-4 عيوب المخمر ذو الأسطوانة الطافية:

إن الأسطوانة المعدنية الطافية مرتفعة الثمن نسبياً، كما أنها تتعرض للصدأ. حيث أنه لا يعمر كثيراً كحد أقصى 15 سنة وفي المناطق الساحلية يجب تبديل الأسطوانة كل 5 سنوات، كما أن العمق الكبير للمخمر والذي لا يقل عن أربعة أمتار يجعله غير ملائم للمناطق ذات المياه السطحية المرتفعة، كما أن الغطاء ونتيجة لطبيعته المعدنية يؤدي إلى تبديد الحرارة، ففي الليل تنخفض درجة الحرارة وينتقل ذلك عبر الغطاء المعدني إلى مخلوط التخمير الأمر الذي يؤثر على البكتريا المنتجة للميثان الحساسة للتغير في درجة الحرارة، الأمر الذي قد يؤدي إلى توقف إنتاج الغاز، لذلك لا يمكن استخدام هذا النموذج في المناطق التي تحدث فيها فروق حرارية كبيرة بين الليل والنهار.

3-4 المخمر ذو الكيس المرن:

يستخدم هذا النوع من المخمرات مادة البولي ايثيلين (polyethylene) أو أية مادة أخرى من اللدائن رخيصة الثمن وقد يكون غطاء المخمر فقط من اللدائن بينما يتوضع محلول التخمر تحت سطح الأرض أو قد يكون جسم المخمر بكامله من اللدائن ويزود بفتحة لدخول مواد التخمر، وفتحة أخرى لخروجها. كما يزود بفتحة لخروج الغاز في أعلى جسم المخمر، وعندما يبدأ إنتاج الغاز يبدأ الكيس بالانتفاخ.



شكل (9-4) المخمر ذو الكيس المرن.

من مميزات هذا النوع أن مادة البولي ايثيلين متوفرة ورخيصة نسبيا وبالتالي ينعكس ذلك على انخفاض تكاليف إنشائه، وسهولة تنظيفه وتفريغها، كما أنه لا يحتاج إلى خبرات كبيرة من أجل عملية بنائه.

أما عيوبه انخفاض الضغط داخل المخمر بالإضافة إلى عدم محافظته على درجة الحرارة لأنه يوجد فوق سطح الأرض، ولا يستخدم في الأيام الباردة، بالإضافة إلى عدم إمكانية استخدام المساحة التي يشغلها من الأرض بالمقارنة مع النماذج السابقة التي تكون تحت الأرض، بالإضافة إلى أن فترة حياته قصيرة نتيجة إمكانية تلف الكيس أو حدوث ثقب فيه مما يؤدي إلى تسرب الغاز.

الفصل الخامس

العوامل المؤثرة في إنتاج الغاز الحيوي

1-5 عوامل خاصة بالمخلف :

1-1-5 العناصر الغذائية في المخلف (نسبة الكربون للنتروجين) :

للحصول على أعلى إنتاج من الغاز الحيوي لابد من الحفاظ على أقصى نشاط للبكتريا التي تقوم بعملية الهضم اللاهوائي وذلك بتوافر العناصر الغذائية اللازمة لنموها مثل: الكربون، والهيدروجين، والفسفور، وبعض العناصر الأخرى والنسبة المثلى لها (150 كربون: 5 نتروجين: 1 فوسفور) ونسبة الكربون إلى النتروجين في بعض المخلفات بالتقريب (25-15-3-83-67) لكل من روث الماشية، وزرق الدجاج، والمخلفات الأدمية، وتبن القمح، وقش الأرز على التوالي (جمال الدين 1992).

إن النسبة المثلى للكربون إلى النتروجين تعادل 30~1/25 وإن نسبة أقل من 1/10 تكون مثبطة وعندما تنخفض النسبة عن 10 يزداد معدل النشادر ويكون له تأثير سام على بكتريا الميثان. ولكي تتزود بكتريا الميثان بالمادة الغذائية الكافية يجب أن تكون نسبة C:N:P:S هي 600:15:5:1 على الترتيب.

جدول (1-5) نسبة الكربون إلى النتروجين وكمية الغاز الناتج عن تخمير مواد مختلفة أكساد(1996).

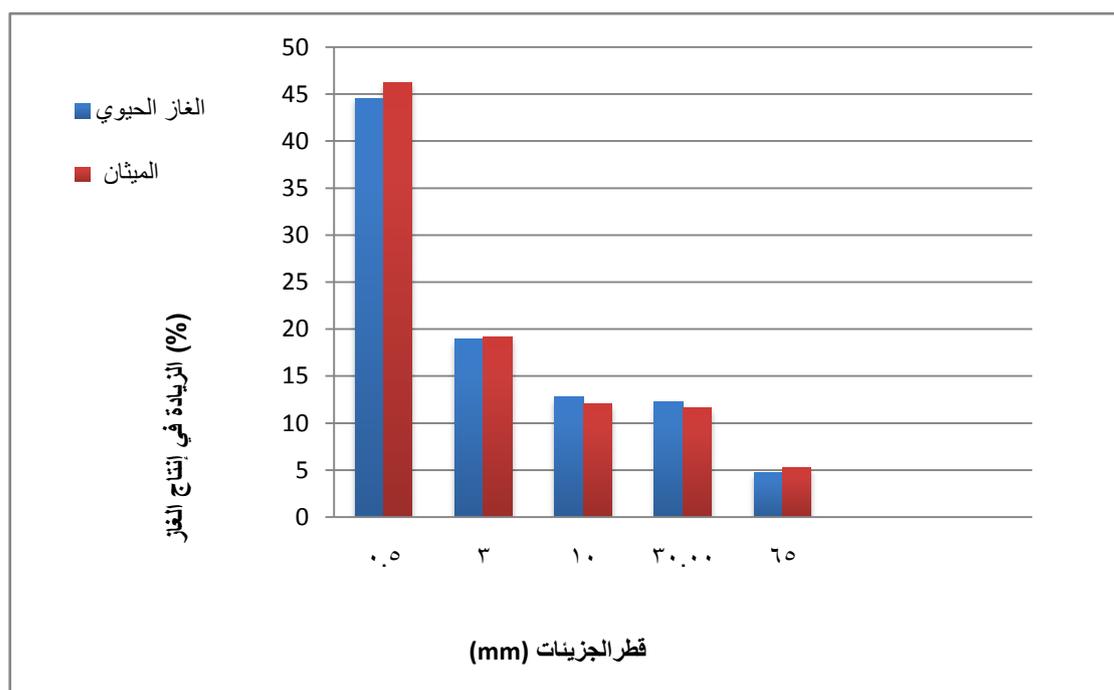
إنتاج الغاز ليتر/كغ	نسبة الكربون إلى النتروجين	مواد التغذية
260-280	15	روث الماشية
360	16	زرق الطيور
340	80	تبن القمح
640	15	مخلفات المجاري

2-1-5 الصفات الطبيعية للمخمر :

تؤثر الصفات الطبيعية للمخلف على إنتاج الغاز الحيوي فالمخلفات السائلة التي لا تحتوي على مواد صلبة لا توفر سطوحا تتوضع عليها البكتريا مما يقلل من إنتاجية الغاز الحيوي لذا تحتاج هذه المخلفات إلى وحدات ذات تصميم خاص كما تزداد إنتاجيته بزيادة تفتيت مادة المخلف (جمال الدين 1992).

ولحجم الجزيئات تأثير على إنتاج الغاز حيث أشار الباحثان (هيندرك و زيمان) إلى أن إنتاج الميثان من المواد اللغوسيلوزية يتناسب طردياً مع درجة تجزئتها قبل التخمر (Hendriks A. and Zeeman G., 2009). وأن معدل إنتاج الميثان من التخمر اللاهوائي لألياف المخلفات الحيوانية التي أقطار جزيئاتها بحدود 5mm ازداد بنسبة 16% عند فرمها إلى أجزاء بين 1 و 2mm. بينما أشار (العفيف) إلى أن المعالجة الميكانيكية الأولية لحطب القطن أدت إلى زيادة في إنتاج الميثان ونسبة تركيزه في الغاز الحيوي، فحصل على أعلى معدل لإنتاج الميثان 167.4 NL/kg من العينات المجزأة أطوالها إلى 0.5mm، فبلغت نسبة الزيادة في إنتاج الميثان 46.25% وزاد تركيزه في الغاز الحيوي بنسبة 2% مقارنة مع النتيجة التي حصل عليها من تخمير حطب القطن دون معالجة أولية، الشكل (5-2).

كما أن المعالجة الميكانيكية الأولية خفضت من زمن البقاء الهيدروليكي في وحدات التخمر اللاهوائية، فزمن البقاء الهيدروليكي المقترح للمخمر والذي يتم خلاله أعلى معدل من التحلل البكتيري لحطب القطن عند درجة تجزئة 0.5mm هو خمسة وعشرون يوماً بينما هو ثلاثة أيام تقريباً دون معالجة ميكانيكية أولية.



الشكل (5-1) تأثير المعالجة الأولية بتجزئة عينات حطب القطن على معدل إنتاج الغاز الحيوي والميثان (%) بالمقارنة مع العينات غير المعالجة.

5-1-3 وجود مواد مثبطة لنمو البكتريا ونشاطها :

تؤثر التركيزات العالية لبعض المواد مثل المبيدات والمنظفات الصناعية والمضادات الحيوية والمعادن الثقيلة على قدرة البكتريا على العمل كما يجب ألا يزيد تركيز الأمونيا والأحماض الدهنية الطيارة عن 3g/L (محمد 2001).

وُدِرِسَ تأثير إضافة أملاح الحديد على إنتاج الغاز الحيوي من قبل بعض الباحثين أمثال (Smith,) وُدِرِسَ تأثير إضافة أملاح الحديد على إنتاج الغاز الحيوي وعلى نسبة الميثان في هذا الغاز. (Carliell-Marquet 2008, 2009; Novak *et al.* 2007) وقد أشار معظم هؤلاء الباحثين إلى التأثير السلبي لأملاح الحديد على إنتاج الغاز الحيوي وعلى نسبة الميثان في هذا الغاز.

جدول(5-2) تأثير إضافة أملاح الحديد على إنتاج الغاز الحيوي من الحمأة (Smith, Carliell-Marquet 2009)

إنتاج الغاز	المرجع
21-32% إنتاج أقل من الغاز الحيوي	Dentel, Gosset (1982)
32% إنتاج أقل من الغاز الحيوي	Johnson <i>et al.</i> (2003)
إنتاج أقل من الغاز الحيوي 12% 4-7% إنتاج أقل من الميثان	Smith, Carliell-Marquet (2008)
12-20% إنتاج أقل من الغاز الحيوي 10-22% إنتاج أقل من الميثان	Smith, Carliell-Marquet (2009)

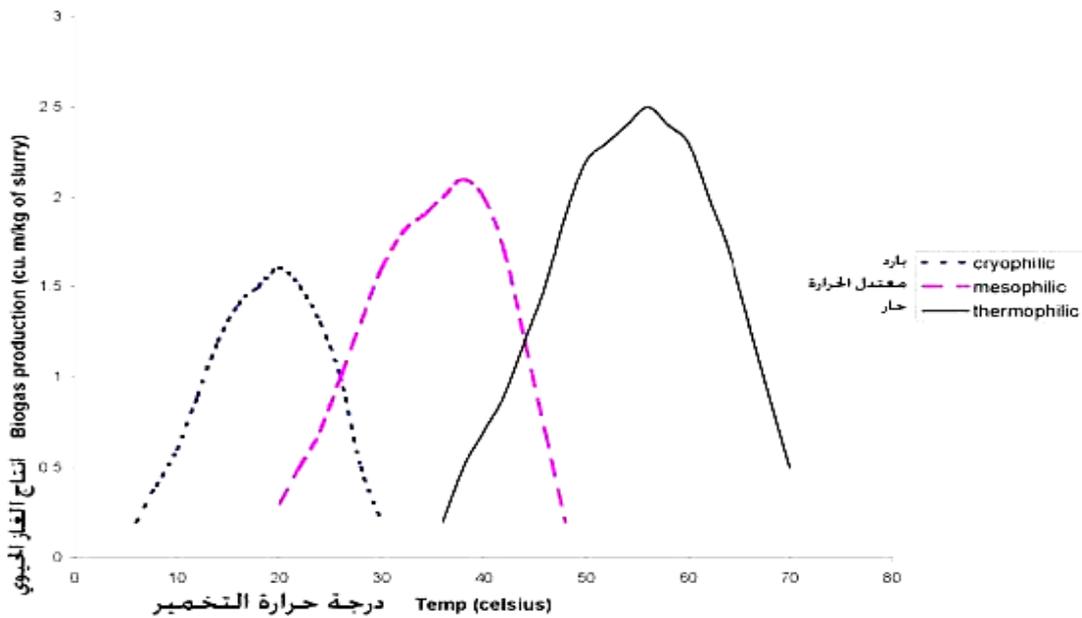
جدول (3-5) مستوى السُّمية والتركيز المثبط للعناصر الكيميائية المختلفة (Johnson *et al.* 2003) .

العناصر	التركيز المثبط
كبريتات (SO ₄ ^{- -})	5,000 ppm
كلوريد الصوديوم (NaCl)	40,000 ppm
نترات (NO ₃ ⁻)	0.05 mg/ml
نحاس (Cu ⁺⁺)	100 mg/l
كروم (Cr ⁺⁺⁺)	200 mg/l
نيكل (Ni ⁺⁺⁺)	200 - 500 mg/l
صوديوم (Na ⁺)	3,500 - 5,500 mg/l
بوتاسيوم (K ⁺)	2,500 - 4,500 mg/l
كالسيوم (Ca ⁺⁺)	2,500 - 4,500 mg/l
مغنيزيوم (Mg ⁺⁺)	1,000 - 1,500 mg/l
منغنيز (Mn ⁺⁺)	Above 1,500 mg/l

2-5 عوامل خاصة بظروف التشغيل :

1-2-5 تأثير درجة الحرارة :

إنَّ معدل التفاعلات الكيميائية والتغذية والنمو للأحياء الدقيقة يزيد بزيادة درجة الحرارة في المدى الحراري المحتمل لتلك الميكروبات، وقد صنفت بكتريا الميثان إلى ثلاث مجموعات حسب تكيفها مع درجة الحرارة فالمجموعة الأولى تسمى البكتريا المحبة للبرودة، وتعمل في مجال من $10\sim 25C^{\circ}$ وإنتاج الميثان في هذه الدرجة غير شائع الاستخدام، أما المجموعة الثانية فهي البكتريا المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة وتكون في قمة نشاطها في مدى $35\sim 37C^{\circ}$ ، والمجموعة الثالثة البكتريا المحبة للحرارة وتعمل في درجات حرارة بين $55\sim 60C^{\circ}$ ويجب عدم تعريض مواد التخمير لتغيرات حادة في درجة الحرارة خاصة في حالة المجموعتين الأولى والثانية ويوضح الشكل (2-5) العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الغاز الناتج (Kramer 2002).



شكل (2-5) تأثير درجة الحرارة على إنتاج الغاز .

أدى الهضم اللاهوائي لتفل الزيتون في ظروف الحرارة العالية إلى زيادة في معدل إنتاج الغاز والميثان بنسبة 17% و 10% على التوالي وذلك مقارنة بمثيله في ظروف الحرارة العادية $37.5 C^{\circ}$ (العفيف، 2010).

ودرس (الأمين، 2006) تأثير درجة الحرارة على إنتاج الغاز الحيوي من روث الأبقار باستخدام مخمر بحجم $32 m^3$ فكانت كمية الغاز الكلية الناتجة $38.36m^3$ عند درجة حرارة $15C^{\circ}$ ، مقابل $276.2m^3$ عند درجة حرارة $25C^{\circ}$ ، وحوالي $339m^3$ عند درجة حرارة $35C^{\circ}$.

5-2-2 تركيز المواد الصلبة الكلية:

يزداد معدل إنتاج الغاز بزيادة تركيز المادة الصلبة الكلية في محلول التخمر إلى حد معين تبعاً إلى نوع المخلف المستخدم و يعتمد تحديد التركيز الأمثل على حجم المخمر والموازنة بين الكلفة والعائد ودرجة الحرارة وسهولة سريان محلول التخمر من وإلى المفاعل، وتركيز الأمونيا الناتج عن هضم المخلف وتركيز الأحماض الدهنية الطيارة الناتجة. إن التركيز الأمثل في حالة روث الأبقار يتراوح بين 8~10% بينما في زرق الدواجن بين 6~7% (جمال الدين 1992).

إن المحافظة على تركيز المادة الصلبة الكلية بنسبة 8~10% يساعد على سريان المحلول ويحافظ على التوازن ويبين الجدول (4-5) العلاقة بين تركيز المادة الصلبة الكلية (TSC total solids concentration) وإنتاج الغاز الحيوي بالنسبة إلى روث الأبقار.

جدول (4-5) العلاقة بين كمية المادة الصلبة الكلية وكمية الغاز الحيوي.

8	6	4	2	كمية المادة الصلبة الكلية %
260	180	100	60	كمية الغاز لـ لتر/كغ مادة صلبة

5-2-3 درجة حموضة المحلول المتخمر (pH):

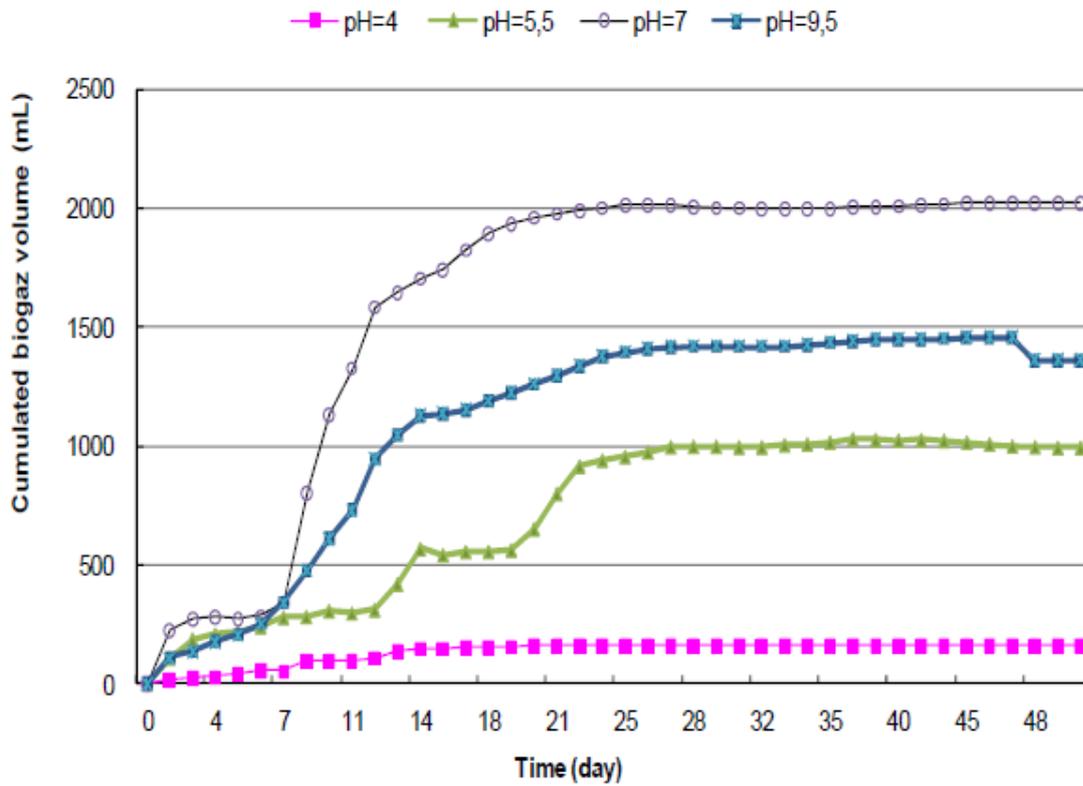
إن الحفاظ على درجة حموضة المواد المتخمرة عند الحد الأمثل يمثل عاملاً مهماً في إنتاج الغاز الحيوي والمدى المناسب من درجات الحموضة يتراوح بين 6.6~7.4 وأفضل إنتاج للغاز يكون عند درجة حموضة 7~7.2 (Antonopoulou et al.2008). في حين يتوقف عند درجة حموضة أقل من 4.5 ويتم تصحيح انخفاض الحموضة عن طريق وقف التغذية لفترة معينة أو إضافة مواد تحتوي على نسبة عالية من البروتين أو إضافة محاليل قلوية مثل ماء الجير.

إن بكتريا التحلل (hydrolysis bacteria) والبكتريا المنتجة للحموض (acid-producing bacteria) وبكتريا الميثان (methane-producing bacteria) جميعها حساسة للتغير في قيم درجة الحموضة.

بالنسبة إلى بكتريا التحلل والبكتريا المنتجة للحموض الرقم الهيدروجيني الأمثل لكليهما يتراوح بين (5~6) بينما البكتريا المنتجة للميثان تحتاج إلى درجة حموضة بين 6.5~7.8 لذلك يفضل المصممون تقسيم المخمرات إلى

مرحلتين منفصلتين لتحقيق نتائج أفضل؛ المرحلة الأولى: مرحلة التحلل وإنتاج الحموض، والمرحلة الثانية: مرحلة إنتاج الأسيتيت وإنتاج الميثان (Gomez, 2011).

وُدِرَس تأثير درجة الحموضة الأولية على إنتاج الغاز الحيوي باستخدام مخمرات مخبرية بحجم 400ml عند درجة حرارة 55C° فكانت كمية الغاز الكلية 163L , 1000L , 2000L , 1500L عند درجات حموضة 9.5 , 7 , 5.5 , 4 على الترتيب شكل (3-5) وهذا يوضح أهمية ضبط الرقم الهيدروجيني عند بداية عملية التخمير (Kheireddine et al. 2014).



شكل (3-5) إنتاج الغاز الحيوي عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة.

وبشكل عام تعد الحموضة الزائدة أحد أهم المشاكل التي تعيق عملية تشكل الغاز، وقد تؤدي إلى إيقافه بشكل كامل، ويمكن معالجة هذه المشكلة بإضافة مواد كيميائية قلوية لمعادلة الحموضة الزائدة مثل هيدروكسيد الكالسيوم، وكربونات الصوديوم، أو بوقف عملية التغذية للمخمر بالمواد العضوية مؤقتاً حتى تجد بكتيريا الميثان الوقت الكافي لخفض كمية الأحماض الدهنية بالوسط الغذائي .

4-2-5 إضافة البادئ :

تحتاج عملية هضم المواد العضوية إلى تواجد البكتريا المتخصصة وبأعداد مناسبة، حيث إن إضافة بادئ من 5~25% من محلول التخمير يؤدي إلى تسريع التفاعل وزيادة إنتاج الغاز الحيوي زيادة كبيرة عند بداية

التشغيل، وروث الماشية يحتوي على بكتريا التخمر ولكن إضافة البادئ يسرع عملية التخمر (جمال الدين 1992)، كما يمكن استخدام أنواع مختلفة من الأنزيمات والأنزيمات محفزات ممتازة قادرة على التأثير في مجموعة واسعة من الجزيئات المعقدة، ويمكن أن تحقق فوائد عديدة من استخدامها بشكل تكميلي في عملية التحلل الحيوي. (Schmid *et al.*, 2001)

5-2-5 التقليل داخل المخمر:

وهو من العوامل الضرورية لرفع كفاءة عملية التخمر وزيادة إنتاجية الغاز وعن طريق التقليل تتجانس مكونات المخمر، وتزداد فرص التلامس بين المخلفات والبكتيريا، ويزداد نشاط بكتيريا الميتان مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات إنتاج الغاز كما أن التقليل يمنع تشكل طبقة الخبث فوق سطح مخلوط التخمر وتبيسها مما يعوق وصول الغاز إلى الأعلى. وحصل (الأمين 2006) عند استخدام مخمر نموذج القبة الثابتة بحجم 32m^3 وتشغيل خلاط ميكانيكي بعدد دورات (35 دورة/دقيقة) على إنتاج للغاز بمعدل يومي بلغ (18.81m^3) بالمقارنة مع معدل إنتاج يومي (16.68m^3) عند عدد دورات (20 دورة/دقيقة) و(11.3m^3) دون تشغيل الخلاط الميكانيكي.

5-2-6 نظام التغذية :

توجد طريقتان لتغذية المخمر تعرف الطريقة الأولى بنظام التغذية مرة واحدة Batch Feeding، حيث يتم تعبئة المخمر بمحلول المواد العضوية لمرة واحدة ويترك بدون تغذية حتى انتهاء عملية إنتاج الغاز وبعدها يتم تفرغها من المحلول المخمر وتعبئته من جديد، ودلت نتائج هذه الطريقة على تغير إنتاج الغاز بمرور الوقت حيث يكون منخفضاً في البداية، ثم يزداد تدريجياً ليصل إلى أقصى معدل له ثم يبدأ بالانخفاض حتى يتوقف تماماً.

أما الطريقة الثانية فتعرف بنظام التغذية المستمرة Continuous Feeding، وفيها يتم تغذية المخمر على فترات تتراوح بين عدت ساعات في حالة الوحدات عالية الكفاءة التي تتعامل مع محاليل منخفضة التركيز أو تغذية يومية في حالة المخمرات العادية ويكون معدل إنتاج الغاز ثابتاً تقريباً طوال فترة تشغيل الوحدة.

إن معدل التغذية يحسب غالباً على أساس درجة تركيز المادة العضوية الجافة في محلول التخمر كنسبة مئوية في حالة نظام التغذية الواحدة، في حين يحسب معدل التغذية في مقدار المادة العضوية الجافة بالكيلو جرام المضافة لكل متر مكعب من حيز التخمر في اليوم الواحد (كيلو غرام مادة جافة / م³ / يوم) في حالة نظام التغذية المستمرة. ويعتمد معدل التغذية على نوع المادة العضوية المستخدمة وطبيعتها، ومدى قابليتها للتحلل، ودرجة الحرارة، وزمن الاحتباس، وحجم المخمر، وكمية الغاز المطلوبة.

إن معدل التغذية هو كمية التغذية اليومية بالمواد العضوية مقسومة على حجم المخمر، وزيادة التغذية إلى حد معين يرفع إنتاج الغاز الحيوي أما زيادتها بدرجة كبيرة تسبب تراكم الأحماض العضوية (انخفاض قيمة pH) مما يؤثر على أداء البكتريا .

5-2-7 زمن بقاء المادة المتخمرة في المخمر :

يعرف زمن البقاء الهيدروليكي (HRT) Hydraulic Retention Time بمتوسط عدد الأيام التي يمكنها المحلول المخمر داخل المخمر، ويتأثر بعوامل كثيرة منها خواص المادة العضوية المستخدمة ، درجة الحرارة ، ونوع المخمر المستخدم . ويجب أن يزيد الحد الأدنى لزمن البقاء عن الزمن اللازم لتكاثر بكتريا الميثان حتى لا تزال البكتريا من المخمر بسرعة أكبر من سرعة تكاثرها ولذلك ينبغي ألا يقل زمن البقاء عن خمسة أيام. وعموماً يحسب زمن البقاء بقسمة الحجم الفعال للمخمر على حجم محلول المواد العضوية المضافة إلى المخمر في اليوم.

$$Vd = Sd \times HRT [m^3 = m^3/day \times \text{number of days}].$$

Vd: digester volume. (حجم المخمر)

HRT: Hydraulic retention time. (زمن بقاء المادة العضوية)

Sd: daily substrate input quantity. (كمية المواد العضوية المضافة يومياً)

الفصل السادس

إمكانات تقانة الغاز الحيوي في سورية وواقعها

6-1 كمية المخلفات العضوية في سورية :

تمتلك سورية كمية هائلة من المخلفات العضوية تتمثل بـ :

مخلفات الأشجار: بلغ وسطي الإنتاج من مخلفات الزيتون 391999 طن في عام 2010، في حين بلغ إجمالي الإنتاج من هذه مخلفات أشجار النخيل في عام 2010 نحو 4749.3 طن. أما وسطي الإنتاج من مخلفات أشجار الحمضيات فقد بلغ نحو 111798.6 طن في عام 2010، وهذه المخلفات جميعها تذهب حرقاً ولا يتم استثمارها.

مخلفات الصرف الصحي والصناعي: تعد معالجة مياه الصرف الصناعي والصحي والحماة الناتجة عن المعالجة من العوامل الأساسية في حماية البيئة، لقد تم الاتجاه إلى معالجة مياه الصرف الصناعي وخصوصاً عندما تكون الملوثات العضوية أعلى من 3000mg/l وخصوصاً ضمن الصناعات الغذائية. ويبين الجدول رقم (6-1) إنتاج المدن السورية الرئيسية من مياه الصرف الصحي يومياً (Bioenergy and Environment) (Workshop,2007).

باعتبار أن نسبة المادة الصلبة في مياه الصرف الصحي هي 3% ينتج كمية مخلفات صلبة تساوي:

ألف طن يومياً $34.635 = 1154.5 \times 0.03$ يتحول منها 90% مواد طيارة ويتفكك منها 60% مكونة

غازاً حيويًا مقداره $0.6 \text{m}^3/\text{kg}$

وهذا يؤدي إلى إنتاج: $34.635 \times 0.9 \times 0.6 = 11.222$ مليون متر مكعب من الغاز يومياً

ويساوي 4095.94 مليون متر مكعب سنوياً في سوريا (نظرياً).

جدول (6-1) إنتاج المدن السورية الرئيسية من مياه الصرف الصحي يومياً (Al-Mohamad, 2001).

المدينة	الإنتاج (ألف متر مكعب)	النسبة %
دمشق	485	42
حلب	255	22
حمّاه	70	6.1
حمص	133.6	11.6
سلمية	5.85	0.5
درعا	21.8	1.9
السويداء	18.75	1.6
إدلب	30	2.6
اللاذقية	100.8	8.6
طرطوس	33.44	2.9
المجموع	1154.5	100

القمامة: ويمكن استخدام القمامة في سوريا لإنتاج الغاز الحيوي، الذي يتولد في مواقع طمر النفايات . فجزء كبير من مواد القمامة هي مواد بيولوجية يتم رميها غالباً في مناطق طمر منعزلة. وهذه القمامة (Vertices) تكون مناسبة للتخمير اللاهوائي، وينبعث منها غاز الميثان. وعملية التخمير في هذه المواقع تكون أبطأ، وربما تستغرق أعواماً بدلاً من أسابيع، وذلك لعدم توفر ظروف مناسبة كالحرارة والرطوبة. والنتاج النهائي هو غاز خليط من غازي الميثان وثاني أكسيد الكربون. ويتراوح إنتاج هذه الهاضمات نظرياً من حوالي 150 إلى 300 متر مكعب من الغاز مقابل طن من الفضلات، وتكون نسبة غاز الميثان فيها متراوحاً من 50% إلى 60%، وبهذا يتم الحصول على طاقة تعادل من 5 إلى 6 غيغا جول لكل طن من القمامة .

ويبين الجدول (2-6) إحصائية لكميات القمامة الناتجة من المدن السورية (Bioenergy and Environment)
 . (Workshop,2007

جدول (2-6) تقدير إنتاج المدن السورية من القمامة (عام 1998) .

المحافظات	النسبة %	إنتاج القمامة طن /يوم
دمشق	9.7	766
ريف دمشق	12.4	967
حلب	21.7	1692.2
حمص	8.8	686
حماة	7.9	616.1
اللاذقية	5.3	413.3
دير الزور	5.3	413.3
إدلب	6.6	514.7
الحسكة	7.4	577
الرقبة	4	311.9
السويداء	1.9	148.2
درعا	4.5	350.9
طرطوس	4.1	319.7
المجموع	100	7797

وتبين الدراسة النظرية أنه بالإمكان إنتاج من كل طن قمامة مئة وأربعين متراً مكعباً من الغاز حيوي و بالتالي يمكن إنتاج: $140 \times 7797 = 1091580$ متر مكعب يومياً أي 389.43 مليون متر مكعب سنوياً.

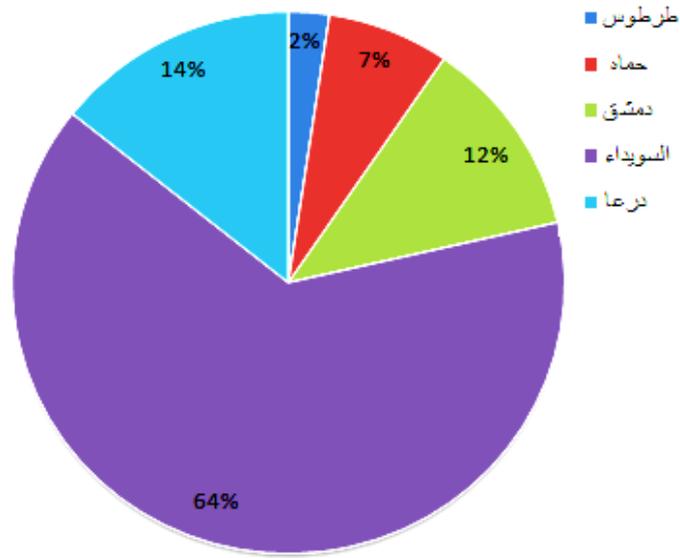
وبشكل عام تصل كمية المخلفات العضوية الرئيسية في سورية إلى 1251000 طن، يمكن أن تنتج حوالي 300 مليون متر مكعب من الغاز الحيوي سنوياً (Al-Mohamad, 2001) والتي ينتج عنها طاقة بمقدار 2328 غيغا واط ساعي (Mitterleitner, 2000)، وبمقارنة هذه الكمية مع مجمل استهلاك الطاقة في سوريا الذي يصل إلى 32,077GWh (Ministry of electricity - Syria, 1996) فإنها يمكن أن تغطي 7.5% من استهلاك الطاقة في الجمهورية العربية السورية .

إن إنتاج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي للمخلفات العضوية الحيوانية والنباتية والقمامة ومياه الصرف الصحي والصناعي يمكن أن يكون مصدراً مهماً لتوليد الطاقة النظيفة البديلة عن البترول وبالتالي التقليل من المشاكل البيئية في سوريا. وإنتاج سماد من رواسب التخمر ذو مواصفات جيدة.

6-2 واقع الغاز الحيوي في سورية:

تعد التجربة السورية في مجال تطبيق تقانة الغاز الحيوي متواضعة حيث بلغ عدد الهواضم المنفذة ثلاثة وأربعين هاضم حتى عام 2010 بحجم يتراوح بين 13 و 20 متراً مكعباً. بدأ تنفيذ الهواضم الصغيرة في القطر منذ عام 1990 حيث تم إنشاء بعض الوحدات التجريبية في سورية من قبل وزارة الزراعة والمركز العربي لدراسة المناطق الجافة (أكساد)؛ وبينت هذه التجارب إمكانية استعمال المخلفات العضوية الحيوانية والنباتية في إنتاج الغاز الحيوي واستثمار الطاقة الناتجة للاستعمالات الريفية بالإضافة إلى تحويل الراسب الناتج عن الهضم اللاهوائي إلى سماد ذي مواصفات جيدة. وأهم وأكبر مشروع في مجال الهواضم الصغيرة هو المشروع الذي قام به المركز الوطني لبحوث الطاقة على طريق دمشق - السويداء عام 2008 والذي تضمن إنشاء 19 هاضماً منزلياً بهدف تشجيع استخدام الهواضم الصغيرة في الريف السوري وتعريف المجتمعات الريفية على هذه التقنية من حيث فوائدها وأسلوب التعامل معها وقد لاقى هذا المشروع تقبلاً ملحوظاً فضلاً على تحقيقه عدة فوائد بيئية واقتصادية. وجميع هذه الهواضم تستخدم مخلفات الحيوانات لإنتاج الغاز الحيوي، أي لم يتم استخدام هذه المخمرات لتخمير أنواع أخرى من المخلفات العضوية كبقايا المحاصيل أو بقايا الطعام أو مخلفات المعاصر وغيرها.

وبيين الشكل (6-1) نسب توزيع مخمرات الغاز الحيوي في سورية عام 2012 بحسب الشبكة الوطنية للطاقات المتجددة .



شكل (6-1) نسب توزع مخمرات الغاز الحيوي في سورية 2012.



شكل (6-2) مراحل تنفيذ وحدة إنتاج الغاز الحيوي في محطة البحوث الزراعية في السماقيات / درعا.

1-2-6 محافظة طرطوس والغاز الحيوي :

تمتلك محافظة طرطوس كميات كبيرة من المخلفات العضوية كنفایات مطاعم ومنازل، بالإضافة إلى امتلاكها ثروة حيوانية جيدة نسبياً فوفقاً لإحصائية عام 2010 الصادرة عن مديرية زراعة طرطوس قدر عدد الأبقار في المحافظة 31896 بقرة، وعدد الماعز 11879، وعدد الأغنام 77985، علماً بأن البقرة الواحدة تنتج حوالي 12kg من الروث يومياً، وينتج عن هذه الأعداد الكبيرة كمية كبيرة من المخلفات يمكن الاستفادة منها لإنتاج الغاز الحيوي والاستفادة من السماد الناتج عن التخمير لتسميد الأرض.

ووفقاً لمدير إدارة النفايات الصلبة بطرطوس فقد زادت كمية النفايات الصلبة في المحافظة خلال الأشهر الأولى من عام 2013 فوصلت إلى حوالي 800 طن يومياً بعد أن كانت لا تتجاوز 450 طناً يومياً قبل أشهر قليلة بسبب زيادة أعداد الوافدين إلى المحافظة (صحيفة تشرين 2013/9/3). وتشكل مشكلة ترحيلها أو التخلص منها عبئاً كبيراً على كاهل المحافظة، وهذه الكمية الهائلة من النفايات تعد طاقة مهدورة ولو تم استثمارها على نحو جيد لكانت غطت جزءاً لا يستهان به من احتياجات المحافظة من إنتاج الغاز أو إنتاج الكهرباء.

وتكاد تجربة المحافظة في مجال الغاز الحيوي لا تذكر، واقتصر الأمر على هاضم واحد قامت بتنفيذه أكساد في محطة زاهد للزراعة العضوية التابعة لمركز البحوث العلمية الزراعية بطرطوس في عام 2009 بحجم 14m^3 والهاضم عبارة عن حجرة للتخمير أسطوانية الشكل بقطر حوالي 4m^3 بالإضافة إلى فتحة لدخول خليط التخمير وفتحة لخروج المواد المتخمرة تصل إلى حوض لتجفيفها، كما يوجد خزان لتجميع الغاز شكل (3-6) .



شكل (3-6) مخمر محطة زاهد للزراعة العضوية .

ويعمل الهاضم حالياً ويزود المحطة باحتياجاتها من الغاز، كما يتم استخدام السماد الناتج عن عملية التخمير كبديل للسماد الكيماوي حيث أكد مدير المحطة بأن السماد الناتج ذو جودة عالية. ولكن اقتضت عملية التخمير على روث الأبقار التي يتم جلبها من مبرة زاهد القريبة كما أنه لم تجر دراسات لتقدير كمية الغاز الناتجة وتحديد نسبة الميثان فيه.

وبشكل عام أن تجربة المحافظة كمثيلاتها في القطر تجربة فقيرة جداً فيجب القيام ببناء هواضم جديدة وتوعية المواطنين بأهمية هذا المصدر من الطاقة البديلة .

الباب الثاني

الدراسة العملية والتجريبية

EXPERIMENTAL INVESTIGATION

الفصل السابع

تصميم المخمرات ودراسة بعض العوامل المؤثرة على إنتاج الغاز

1-7 مواصفات المخمرات والمواد المتخمرة :

تم استخدام مخمرات هي عبارة عن أوعية بلاستيكية بحجم 5L. والمخمرات معزولة بالصوف الزجاجي وبمادة (بولي يوريثان ألنيوم) للحفاظ على درجة الحرارة، ومجهزة ببطانية تسخين مع ترموستات للتحكم بدرجة الحرارة، ومجهزة أيضاً بفتحة لخروج الغاز موصولة مع أكياس لتجميعه بسعة 2L لكل كيس، حيث يتم تجميع الغاز في هذه الأكياس قبل القيام بعملية قياس حجمه.

وتمت التغذية لمرة واحدة ثم أُغْلِقَت المخمّرات طيلة مدة التخمير.



شكل (1-7) المخمرات المستخدمة في البحث

في بداية البحث تم استخدام مخمر بحجم 1m^3 ولكن كون دراسة البارمتر الواحد عند ثلاث قيم يتطلب ثلاثة مخمرات بحجم 1m^3 ويتطلب كمية كبيرة من المخلفات العضوية التي تشكل عملية نقلها إلى الكلية معضلة كبيرة بالإضافة إلى عدم وجود متسع كاف لهذه المخمرات الثلاثة، لذلك تم الاستعاضة عنها بالمخمرات المخبرية المذكورة أعلاه.

مواصفات المادة المتخمرة :

المادة المستخدمة في التخمير فضلات المطبخ لمنزل عادي جمعت لمدة أسبوع وهي عبارة عن بقايا الخضار والفاكهة بالإضافة إلى بقايا طعام مطبوخ ودهن حيواني .

تم تقطيع المخلفات وفرمها بواسطة فرامة يدوية للحصول على حجم جزيئات صغير بقطر حوالي 0.5~0.7 cm



شكل (7-2) نفايات المطبخ المستخدمة في عملية التخمير عند دراسة تأثير درجة الحرارة

كما تم إضافة نسبة حوالي 20% من الروث إلى نفايات المطبخ في التجارب الأولى والثانية والثالثة، كما تم استخدام حوالي 50g من خليط نشط تم تحضيره سابقاً بتخمير كمية من روث الأبقار واستخدم هذا الخليط في جميع التجارب وذلك لتسريع عملية التخمير .

7-2 دراسة تأثير درجة الحرارة:

جُمعت نفايات المطبخ لمدة أسبوع وأضيف إليها نسبة 20% من روث الأبقار، وقيست كمية الرطوبة بناءً على الفقد في الوزن بحيث أخذت عينة وتم وزنها بواسطة ميزان الكتروني حساس فكان وزنها 10.05g ثم وضعت في المجفف حتى تم تخليصها من الرطوبة وكان وزن العينة الجافة حوالي 2.51g وبالتالي نسبة الرطوبة حوالي 75%.



شكل (7-3) ميزان الكتروني حساس بدقة 0.0001g

وحلّت العينة بعد إزالة الرطوبة منها بواسطة جهاز التحليل العضوي (elementer)، حيث تم أخذ ثلاث قراءات للحصول على نتيجة أدق، ويعد جهاز التحليل العضوي جهازاً مختصراً بتحليل العناصر الآتية: (O, S, N, H, C) الكبريت والهيدروجين والنيتروجين والكاربون بالإضافة إلى الأوكسجين.

جدول (7-1) نسب العناصر في المادة المتخمرة عند دراسة تأثير درجة الحرارة.

	N%	C%	H%	S%	C/N%
العينة 1	3.02	71.18	17.347	0.412	23.57
العينة 2	3.12	75.08	16.98	0.395	24.064
العينة 3	2.8	73.8	18.165	0.521	26.357
القيمة الوسطية	2.98	73.33	17.497	0.442	24.663



شكل (4-7) جهاز التحليل العضوي elementer

ترك فراغ هوائي في المخمرات الثلاثة بحوالي 1L وبالتالي الحجم الفعال 4L وبناءً على توصيات العديد من الباحثين بأن تكون نسبة المادة الصلبة الكلية حوالي 10%، وبما أن نسبة الرطوبة كانت حوالي 75% تم إضافة 1.6kg لكل مخمر ثم أضيف ماء للحصول على حجم 4L، كما تم قياس درجة الحموضة فكانت حوالي 6.2 .

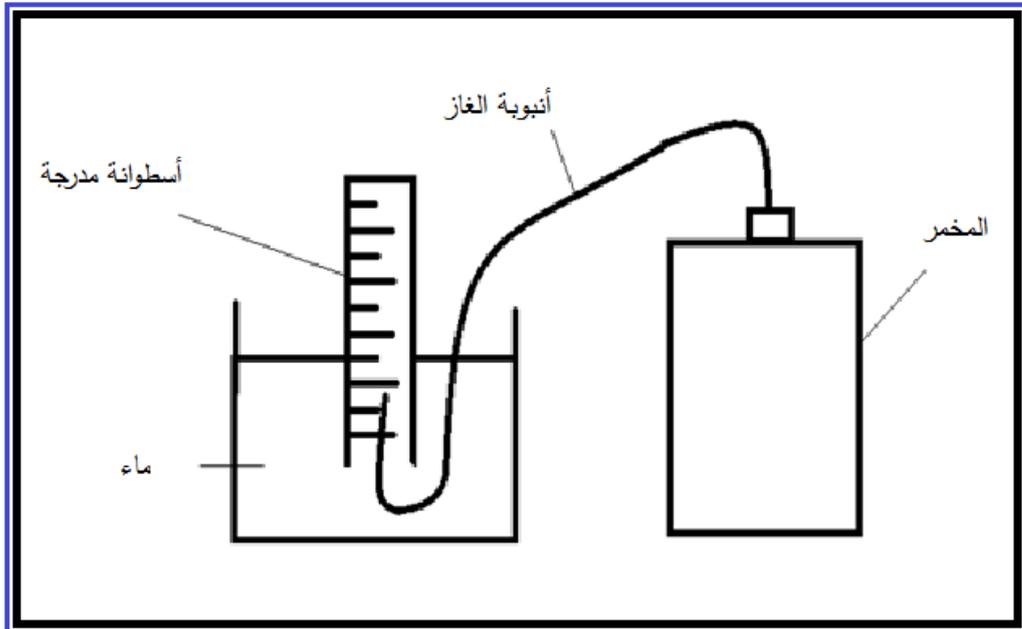
وضعت المواد في المخمرات الثلاثة بتاريخ 3/3/2013 وأغلقت بإحكام، وترك المخمر الأول دون ضبط درجة حرارته ولكن تم عزله جيداً، علماً بأن متوسط درجة الحرارة خلال تلك الفترة $15.5C^{\circ}$ وفقاً لمركز الأرصاد الجوية، وضبطت درجة حرارة المخمر الثاني على الدرجة $35C^{\circ}$ ، والمخمر الثالث على الدرجة $50C^{\circ}$ طيلة مدة التخمير، وتم قياس درجة الحموضة لخليط التخمير قبل وضعه بالمفاعل فكانت $pH=6.5$.

وكان يتم التحريك يدوياً قبل قياس كمية الغاز الناتج وذلك بشكل يدوي. كما كان يتم قياس كمية الغاز الناتجة يومياً والتحقق من قابلية الغاز للاشتعال، في الأيام الأولى لم يشتعل الغاز الناتج ويعود ذلك إلى ارتفاع نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 كما كانت رائحة الغاز الناتج كريهة جداً بسبب ارتفاع نسبة غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S وبدءاً من اليوم السادس خفت الرائحة بشكل واضح وبدأ يشتعل الغاز بلهب أقوى.



شكل (5-7) يوضح اللهب في اليوم العاشر من المخمر الثاني (35C°)

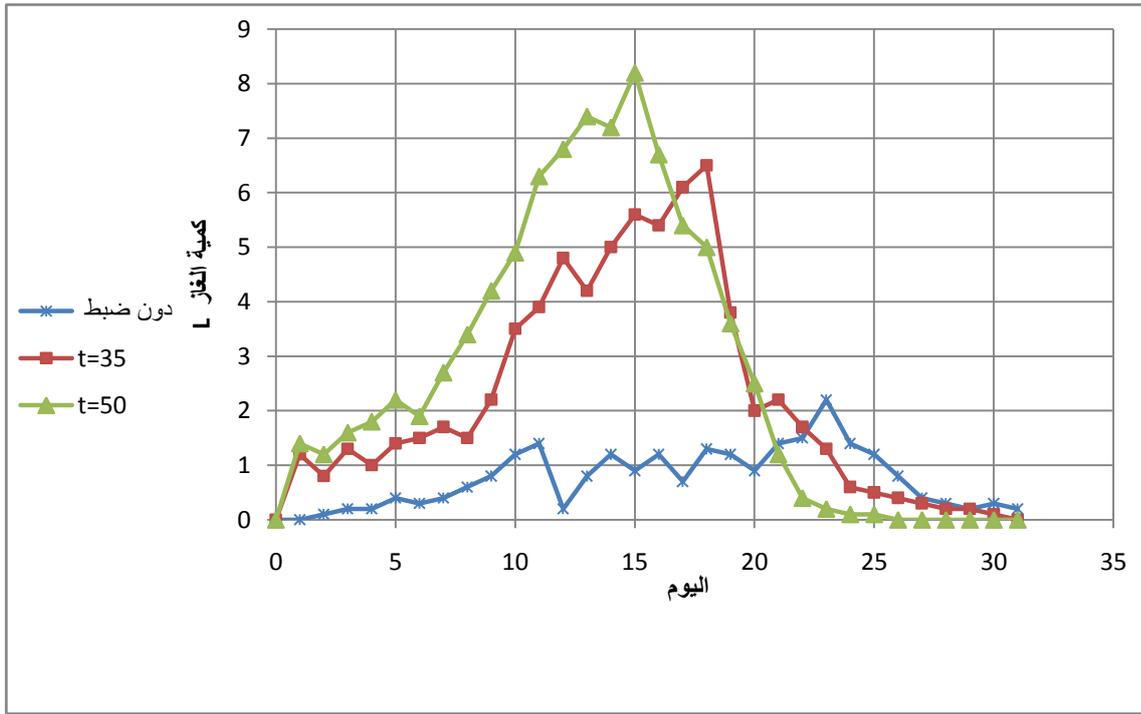
تم قياس حجم الغاز الناتج بطريقة إزاحة الماء (Ekwenchi&Yaro,2010)



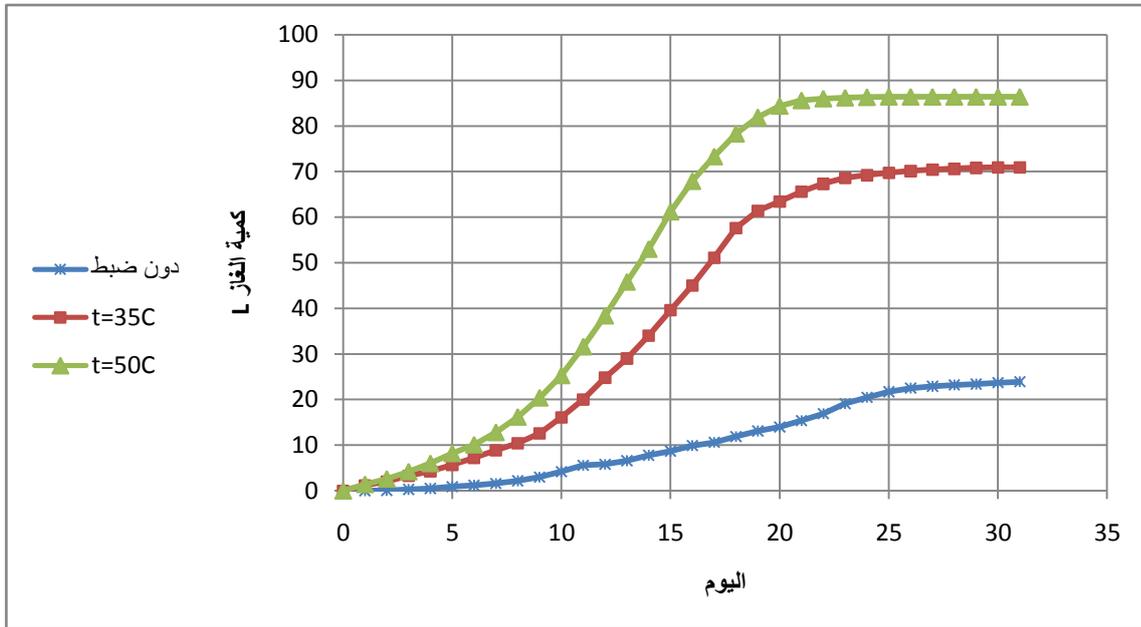
شكل (6-7) رسم توضيحي يبين حساب حجم الغاز الناتج بطريقة إزاحة الماء.

جدول (2-7) كمية الغاز اليومية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة.

t=50C°	t=35C°	دون ضبط	اليوم
1.4	1.2	0	1
1.2	0.8	0.1	2
1.6	1.3	0.2	3
1.8	1	0.2	4
2.2	1.4	0.4	5
1.9	1.5	0.3	6
2.7	1.7	0.4	7
3.4	1.5	0.6	8
4.2	2.2	0.8	9
4.9	3.5	1.2	10
6.3	3.9	1.4	11
6.8	4.8	0.2	12
7.4	4.2	0.8	13
7.2	5	1.2	14
8.2	5.6	0.9	15
6.7	5.4	1.2	16
5.4	6.1	0.7	17
5	6.5	1.3	18
3.6	3.8	1.2	19
2.5	2	0.9	20
1.2	2.2	1.4	21
0.4	1.7	1.5	22
0.2	1.3	2.2	23
0.1	0.6	1.4	24
0.1	0.5	1.2	25
0	0.4	0.8	26
0	0.3	0.4	27
0	0.2	0.3	28
0	0.2	0.2	29
0	0.1	0.3	30
0	0	0.2	31



شكل (7-7) كمية الغاز اليومية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة.



شكل (8-7) كمية الغاز الكلية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحرارة

ومن قراءة المخططين السابقين نلاحظ أن أكبر كمية كلية للغاز الناتج كانت عند درجة حرارة $50C^{\circ}$ حوالي 86.4L، ثم عند درجة حرارة $35C^{\circ}$ حوالي 70.9L، بينما كانت كمية الغاز في المخمر الأول الذي ترك دون ضبط درجة حرارة حوالي 23.9L علماً بأن إنتاج الغاز لم يتوقف في هذا المخمر حتى اليوم الحادي والثلاثين.

كما نلاحظ بأن ارتفاع درجة الحرارة لم يؤدِ إلى زيادة كمية الغاز وحسب؛ بل أدى إلى تخفيض مدة التخمير حيث توقف إنتاج الغاز في المخمر الثالث ($50C^{\circ}$) في اليوم الخامس والعشرين. بينما استمر حتى اليوم الحادي والثلاثين في المخمر الثاني ($35C^{\circ}$)، واستمر إنتاج الغاز في المخمر الأول (دون ضبط درجة الحرارة) إلى ما بعد اليوم الحادي والثلاثين ولكن لم نَقم بتسجيل قيم الغاز بعد ذلك.

كما أنّ أكبر كمية يومية للغاز الناتج كانت في اليوم الخامس عشر في المخمر الثالث 8.2L، بينما أكبر إنتاج للغاز في المخمر الثاني كانت 6.5L في اليوم الثامن عشر، وأكبر كمية في المخمر الأول كانت 2.2L في اليوم الثالث والعشرين.

3-7 دراسة تأثير درجة الحموضة pH:

تعد عملية التخمر اللاهوائي حساسة جداً للتغير في قيم pH، كما أن نفايات المطبخ قد تكون ذات درجة حموضة مرتفعة تعيق عملية إنتاج الغاز.

جدول (3-7) نسب العناصر للمادة المتخمرة في التجربة الثانية.

	N%	C%	H%	S%	C/N%
العينة 1	3.15	74.16	16.057	0.382	23.54
العينة 2	3.07	72.6	17.48	0.407	23.64
العينة 3	3.61	75.8	17.347	0.492	21
القيمة الوسطية	3.27	74.19	16.961	0.427	22.69

كما كانت درجة الحموضة pH=6.1 وتركت كما هي في المخمر الأول وتم تعديلها إلى pH=7 في المخمر الثاني، وإلى pH=8 في المخمر الثالث وذلك بواسطة بيكربونات الصوديوم NaHCO_3 .

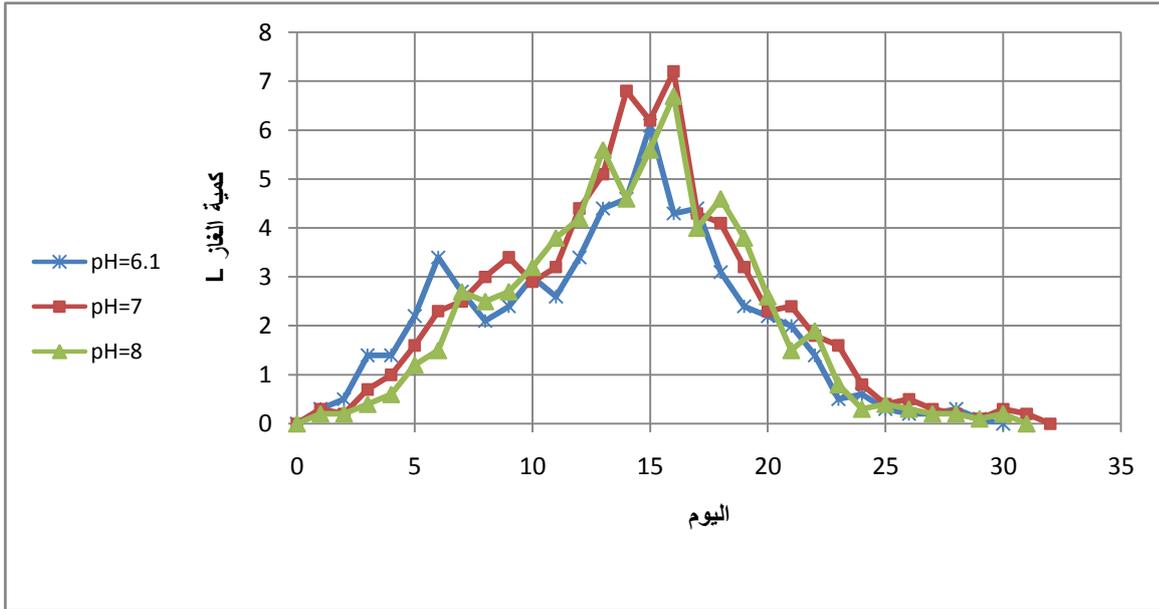
(كنا قد قمنا بتجربة سابقة لإنتاج الغاز من نفايات المطبخ دون إضافة أي كمية من الروث وكانت قيمة الحموضة الأولية مرتفعة حوالي pH=5.8، إنتاج الغاز لم يكن جيداً وتوقف في اليوم الخامس، حيث تم قياس درجة الحموضة وكانت pH=5.2 وهذا يفسر توقف عملية إنتاج الغاز كون جراثيم الميثان حساسة لدرجة الحموضة).



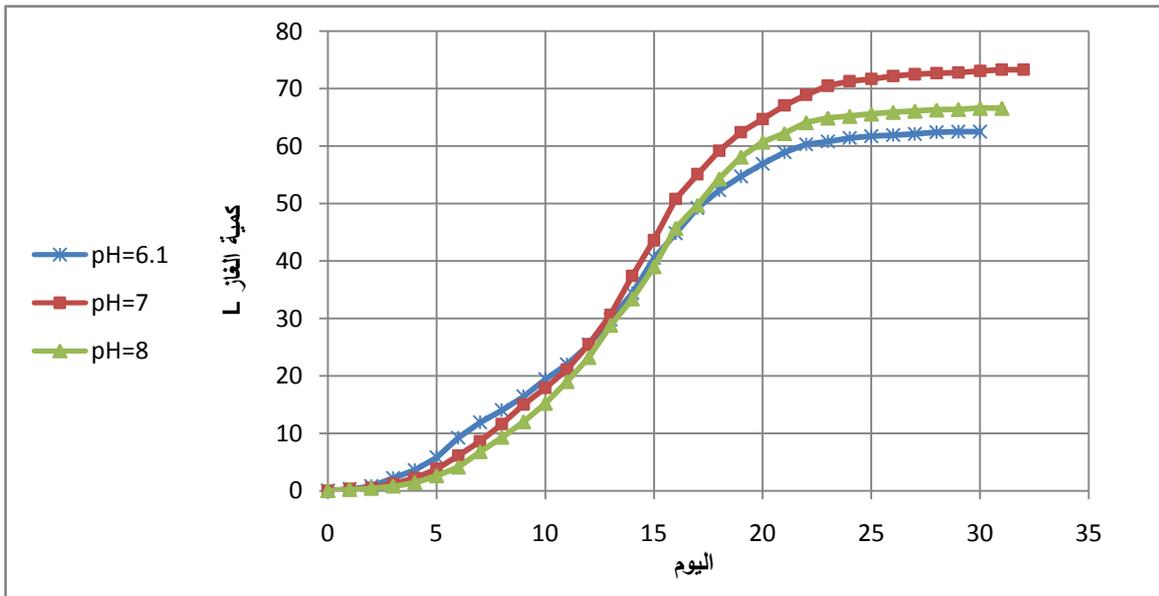
شكل (9-7) مقياس الرقم الهيدروجيني pH.

جدول (4-7) كمية الغاز اليومية الناتجة عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة (L)

pH=8	pH=7	pH=6.1	اليوم
0.2	0.3	0.3	1
0.2	0.2	0.5	2
0.4	0.7	1.4	3
0.6	1	1.4	4
1.2	1.6	2.2	5
1.5	2.3	3.4	6
2.7	2.5	2.7	7
2.5	3	2.1	8
2.7	3.4	2.4	9
3.2	2.9	3	10
3.8	3.2	2.6	11
4.2	4.4	3.4	12
5.6	5.1	4.4	13
4.6	6.8	4.6	14
5.6	6.2	6.1	15
6.7	7.2	4.3	16
4	4.3	4.4	17
4.6	4.1	3.1	18
3.8	3.2	2.4	19
2.6	2.3	2.2	20
1.5	2.4	2	21
1.9	1.8	1.4	22
0.8	1.6	0.5	23
0.3	0.8	0.6	24
0.4	0.4	0.3	25
0.3	0.5	0.2	26
0.2	0.3	0.2	27
0.2	0.2	0.3	28
0.1	0.1	0.1	29
0.2	0.3	0	30
0	0.2	0	31



شكل (7-10) كمية الغاز اليومية عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة (L)



شكل (7-11) كمية الغاز الكلية عند قيم مختلفة لدرجة الحموضة (L)

ومن قراءة المخططين السابقين نلاحظ أنَّ أكبر كمية كلية للغاز كانت عند $\text{pH}=7$ حوالي 73.3L، ثم في المخمر الثالث $\text{pH}=8$ حوالي 66.6L، ثم في المخمر الأول الذي ترك دون ضبط الرقم الهيدروجيني $\text{pH}=6.1$ حوالي 62.5L .

وكانت كمية الغاز الناتج أكبر في الأيام الأولى في المخمر الأول، ولكن كمية يومية للغاز الناتج كانت 7.2L في المخمر الثاني في اليوم السادس عشر، بالمقارنة مع 6.7L في اليوم السادس عشر أيضا في المخمر الثالث و6.1L في اليوم الخامس عشر في المخمر الأول.

7-4 دراسة تأثير إضافة نسب مختلفة من الروث:

درسنا في هذه التجربة تأثير إضافة نسب مختلفة من روث الأبقار إلى نفايات المطبخ على إنتاج الغاز الحيوي، ففي المخمر الأول كانت نسبة الروث 20%، والمخمر الثاني نسبة الروث 40%، والمخمر الثالث بنسبة 60%. تم تحليل عينات من المخلفات وكانت نسب العناصر كما هو موضح في الجدول (7-5).

جدول (7-5) نسب العناصر للمادة المتخمرة عند نسب مختلفة من روث الأبقار

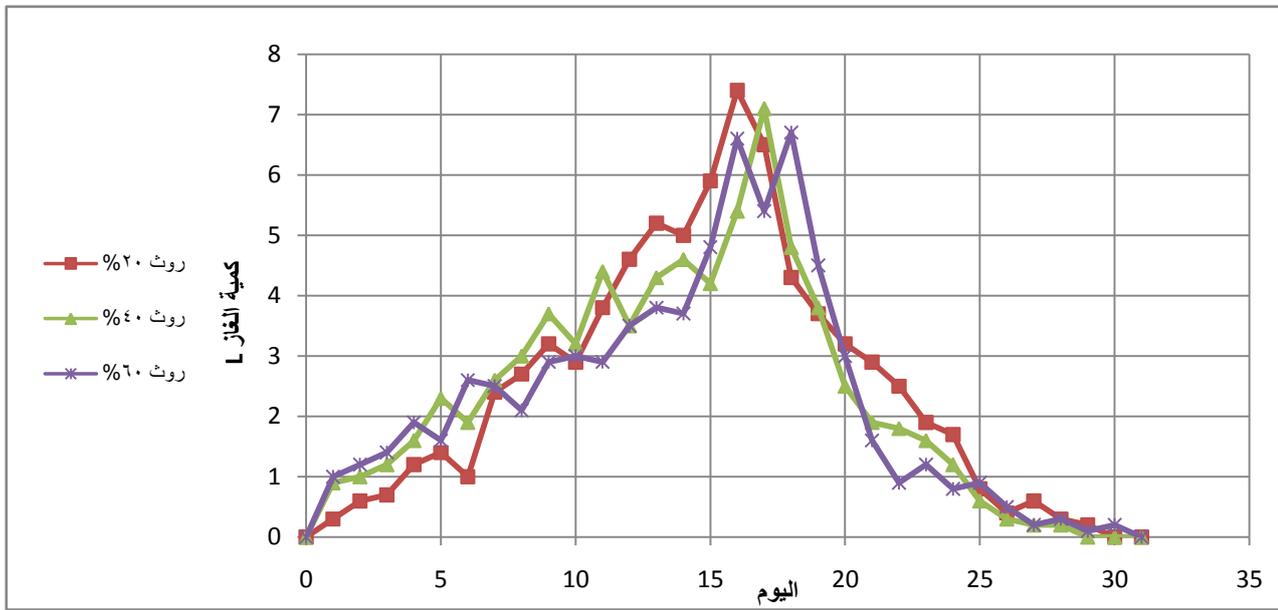
	N%	C%	H%	S%	C/N%
نسبة الروث 20%	3.41	73.48	15.327	0.327	21.55
نسبة الروث 40%	3.17	74.6	16.182	0.368	23.53
نسبة الروث 60%	3.08	74.19	16.749	0.409	24.68

تم قياس درجة الحموضة في المخمرات الثلاثة وكانت كالتالي: pH=6.4 في المخمر الأول 20% روث، و pH=6.9 في المخمر الثاني 40% روث، و pH=7.2 في المخمر الثالث 60% روث. وضبطت درجة الحرارة في المخمرات الثلاثة على الدرجة 35C° طيلة مدة التخمير. وكما في باقي التجارب كان يتم التحريك يومياً قبل القيام بعملية قياس كمية الغاز الناتج. وضعت المواد في المخمرات بتاريخ 2/6/2013، وقيست نسبة الرطوبة للمادة المتخمرة قبل إضافة الماء إليها وكانت 23% عند نسبة روث 20%، مقابل 25% عند نسبة روث 40%، و 27% عند نسبة روث 60%. حيث تعود النسبة المرتفعة للرطوبة إلى كون فضلات الطعام كانت تحوي نسبة عالية من الخضار الصيفية الغنية بالماء .

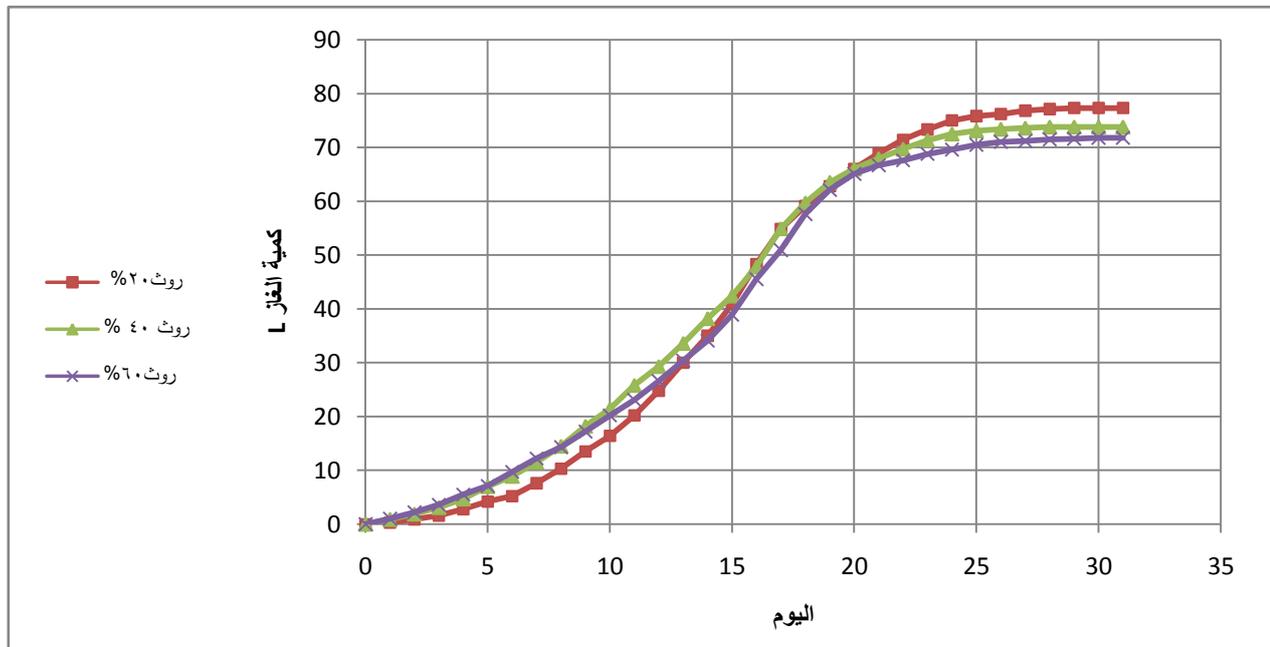
وبناء على ذلك ولتحقيق نسبة مادة صلبة كلية حوالي 10% تم وضع حوالي 1740g من المادة العضوية في المخمر الأول (روث 20%)، و 1670g من المادة العضوية في المخمر الثاني (روث 40%)، و 1500g في المخمر الثالث (روث 60%).

جدول (6-7) كمية الغاز اليومية الناتجة عند نسب مختلفة لروث الأبقار (L)

اليوم	روث 20%	روث 40%	روث 60%
1	0.3	0.9	1
2	0.6	1	1.2
3	0.7	1.2	1.4
4	1.2	1.6	1.9
5	1.4	2.3	1.6
6	1	1.9	2.6
7	2.4	2.6	2.5
8	2.7	3	2.1
9	3.2	3.7	2.9
10	2.9	3.2	3
11	3.8	4.4	2.9
12	4.6	3.5	3.5
13	5.2	4.3	3.8
14	5	4.6	3.7
15	5.9	4.2	4.8
16	7.4	5.4	6.6
17	6.5	7.1	5.4
18	4.3	4.8	6.7
19	3.7	3.8	4.5
20	3.2	2.5	3
21	2.9	1.9	1.6
22	2.5	1.8	0.9
23	1.9	1.6	1.2
24	1.7	1.2	0.8
25	0.8	0.6	0.9
26	0.4	0.3	0.5
27	0.6	0.2	0.2
28	0.3	0.2	0.3
29	0.2	0	0.1
30	0	0	0.2
31	0	0	0



شكل (7-12) كمية الغاز اليومية عند نسب مختلفة لروث الأبقار



شكل (7-13) كمية الغاز الكلية الناتجة عند قيم مختلفة لروث الأبقار

واستمرت عملية التخمير تسعة وعشرين يوماً في المخمر الأول، وتوقفت في اليوم الثامن والعشرين في المخمر الثاني، بينما توقفت في اليوم الثلاثين في المخمر الثالث. أكبر كمية يومية للغاز كانت 7.4L في اليوم السادس عشر في المخمر الأول، ثم 7.1L في المخمر الثاني، و6.6L في المخمر الثالث، وبلغت كمية الغاز الكلية الناتج في نهاية عملية التخمير 77.3L في المخمر الأول، و73.5L في المخمر الثاني، و71.8L في المخمر الثالث.

وبشكل عام لم تؤد زيادة نسبة الروث إلى زيادة ملحوظة في كمية الغاز ولكن أدت إلى تسريع عملية التخمير قليلاً حيث بدأ إنتاج الغاز بشكل أسرع نسبياً في المخمر الثالث، حيث اشتعل الغاز من المخمر الثالث بشكل جيد بدءاً من اليوم الرابع، بينما الغاز من المخمرين الأول والثاني لم يشتعل بشكل جيد حتى اليوم السادس والسابع.

7-5 تأثير إضافة اليوريا $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ على إنتاج الغاز:

تم قياس نسبة الرطوبة في المخلفات وكانت بحدود 28% وتم تحليل عينة بعد تجفيفها لمعرفة نسب العناصر الأساسية وكانت العناصر كما هو موضح في الجدول (7-7).

جدول (7-7) نسب العناصر للمادة المتخمرة في تجربة تأثير إضافة اليوريا.

	N%	C%	H%	S%	C/N%
العينة 1	2.8	68.9	18.03	0.62	24.63
العينة 2	2.63	70.3	17.8	0.72	27.03
العينة 3	3.04	72.1	18.51	0.68	23.72
القيمة الوسطية	2.82	70.43	18.11	0.67	25.13

وضع حوالي 1450g من المخلفات التي تحوي على نسبة 20% روث في كل مخمر، ثم تم إضافة اليوريا إلى المخمرات الثلاثة بنسبة 5mg/L في المخمر الأول، و 10mg/L في المخمر الثاني، و 20mg/L في المخمر الثالث، وضبطت درجة الحموضة في المخمرات الثلاث على الرقم pH=7 في بداية عملية التخمير.

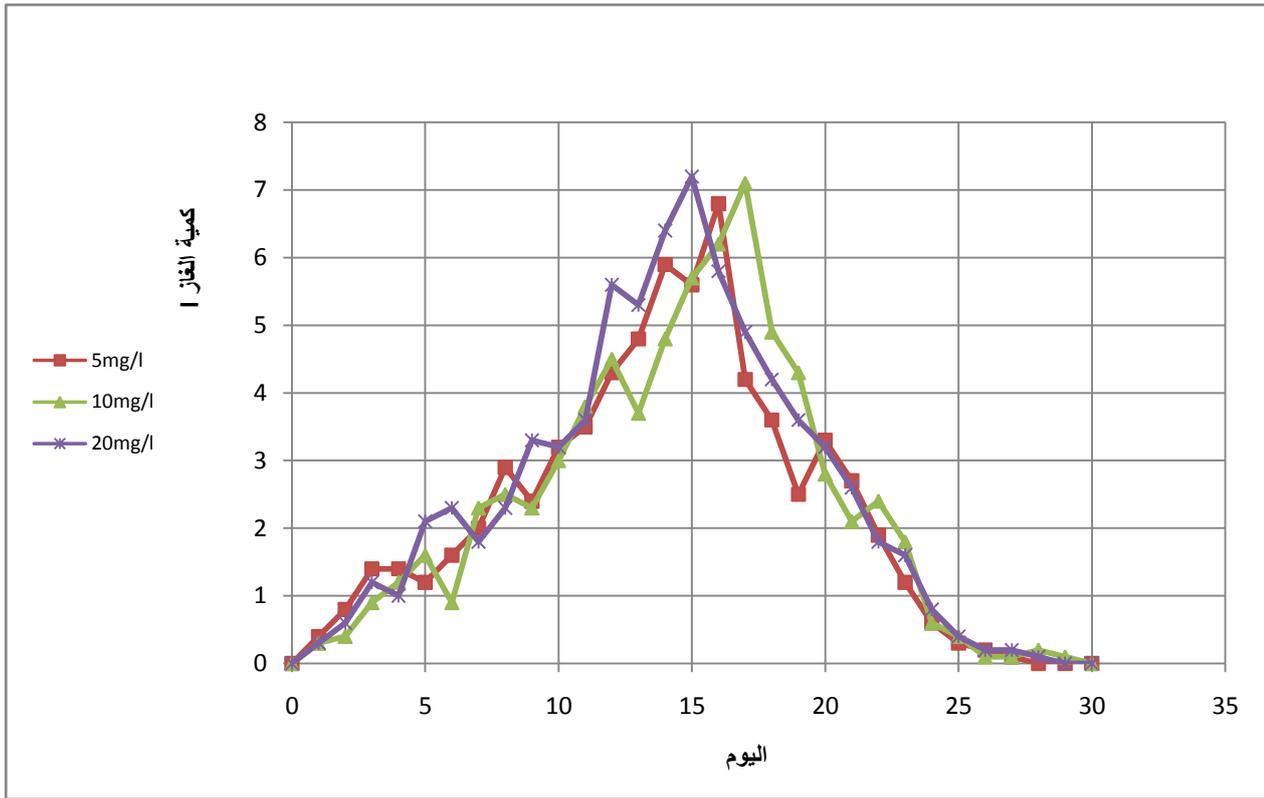
وضعت المواد في المخمرات الثلاث بتاريخ 25/8/2013 وأغلقت المخمرات بإحكام، وتم تحريك المخلفات بشكل يومي، وقيست كمية الغاز الناتج بشكل يومي أيضا حتى نهاية عملية التخمير.



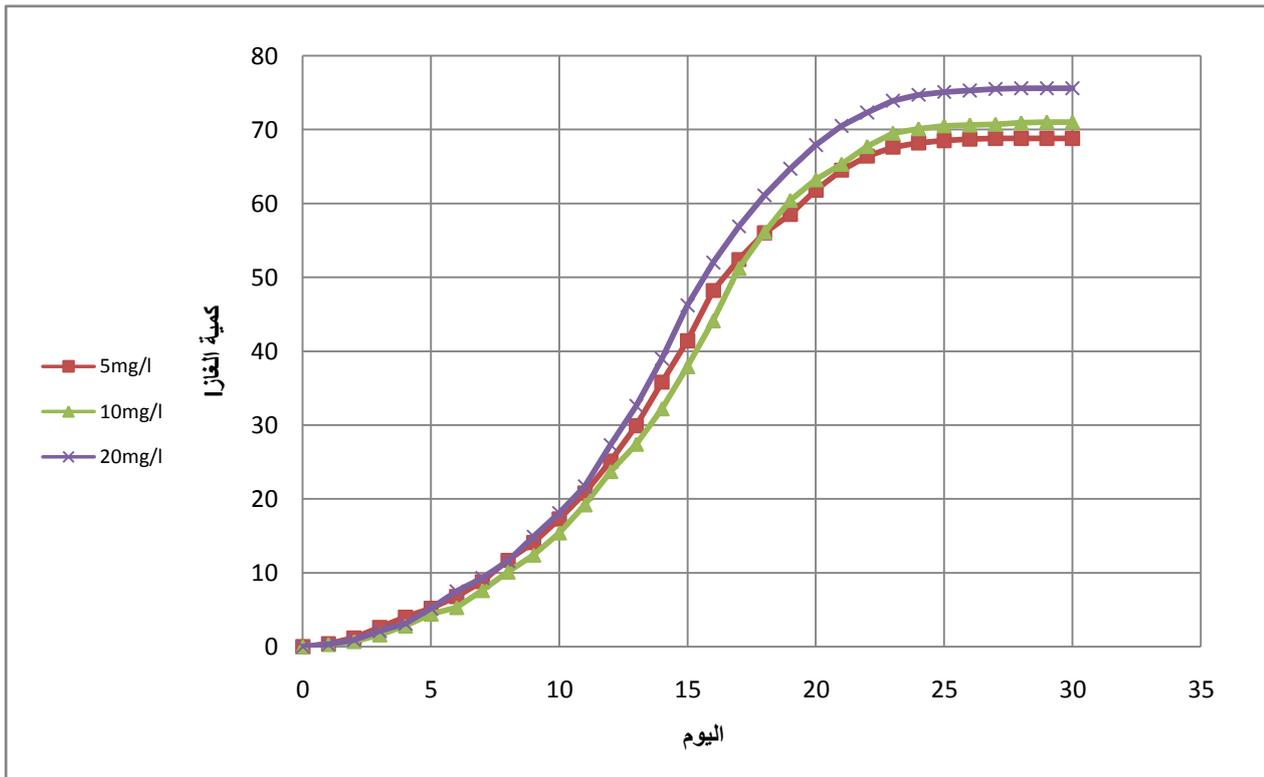
شكل (7-14) سماد اليوريا

جدول (8-7) إنتاج الغاز اليومي عند نسب مختلفة من اليوريا (L).

20mg/l	10mg/l	5mg/l	اليوم
0.3	0.3	0.4	1
0.6	0.4	0.8	2
1.2	0.9	1.4	3
1	1.2	1.4	4
2.1	1.6	1.2	5
2.3	0.9	1.6	6
1.8	2.3	2	7
2.3	2.5	2.9	8
3.3	2.3	2.4	9
3.2	3	3.2	10
3.6	3.8	3.5	11
5.6	4.5	4.3	12
5.3	3.7	4.8	13
6.4	4.8	5.9	14
7.2	5.7	5.6	15
5.8	6.2	6.8	16
4.9	7.1	4.2	17
4.2	4.9	3.6	18
3.6	4.3	2.5	19
3.2	2.8	3.3	20
2.6	2.1	2.7	21
1.8	2.4	1.9	22
1.6	1.8	1.2	23
0.8	0.6	0.6	24
0.4	0.4	0.3	25
0.2	0.1	0.2	26
0.2	0.1	0.1	27
0.1	0.2	0	28
0	0.1	0	29



شكل (15-7) إنتاج الغاز اليومي عند نسب مختلفة من اليوريا



شكل (16-7) كمية الغاز الكلية الناتجة عند نسب مختلفة من اليوريا

ومن خلال قراءة المخططين السابقين نلاحظ أنَّ أكبر كمية يومية للغاز كانت في المخمر الثالث حوالي 7.2L في اليوم الخامس عشر، ثم 7.1L في اليوم السابع عشر من المخمر الثاني، ثم 6.8L في اليوم السادس عشر من المخمر الأول.

وأكبر كمية كلية للغاز كانت في المخمر الثالث 75.6L، ثم 71L من المخمر الثاني، و68.8L من المخمر الأول. أي أن إضافة البوريا أدت إلى زيادة طفيفة في إنتاج الغاز الحيوي.

6-7 تصميم وتشغيل مخمر تجريبي والنموذج المقترح لأسرة ريفية.

تم تصميم مخمر تجريبي بحجم 200L (الحجم فعال 160L) وتم تزويده بفتحة لدخول المخلفات وفتحة لخروجها، وفتحة لخروج الغاز من أعلى جسم المخمر تتصل بواسطة أنبوب إلى خزان لتجميع الغاز، وطلي المخمر من الداخل بمادة الإيبوكسي لحمايته من الصدأ، كما تم عزل المخمر جيداً ولفه ببطانية تسخين، وضبطت درجة الحرارة على الدرجة 35°C .

وفقاً للنتائج التي حصلنا عليها فإن 1kg مادة جافة أعطت حوالي 6L من الغاز يومياً، وبالأخذ بعين الاعتبار استهلاك الغاز خلال اليوم فيكون حجم خزان التجميع حوالي 60% من كمية الاستهلاك اليومية والتي يجب أن تساوي معدل الإنتاج اليومي.

حيث تم تجميع الغاز في أسطوانة بقطر 45cm وارتفاع 55cm بحجم 85L موضوعة داخل أسطوانة أخرى بقطر 50cm وبنفس الارتفاع السابق بحيث تم ملأ الأسطوانتين بالماء وبدأت الأسطوانة الداخلية بالارتفاع مع بدء إنتاج الغاز .



شكل(7-17) خزان تجميع الغاز

وضع حوالي 60kg من المخلفات في المخمر، والتي تحوي نسبة 20% روث أبقار أي ما يعادل 12kg وأضيف إليها الماء، حيث بدأ إنتاج الغاز منذ اليوم الثاني ولكن الغاز لم يحترق بشكل ملحوظ حتى اليوم السادس. وبدأ إنتاج الغاز يزداد تدريجياً حتى وصل في اليوم الرابع عشر إلى حوالي 82L ثم بدأ ينخفض تدريجياً.

تم بعد ذلك إضافة شحنة يومية بمعدل 2kg من المخلفات بشكل يومي وتراوحت كمية الغاز الناتجة بين 58~78L يومياً.



شكل(7-18) مخمر تجريبي (تغذية مستمرة).

تحديد حجم النموذج المقترح وأبعاده:

بفرض أن $1m^3$ من الغاز تكفي لإشعال موقد متوسط الشعلة من 3-2.5 ساعة، سنقوم بإجراء الحسابات بناء على كمية $1.5m^3$ من الغاز يومياً.

وفقاً لنتائج البحث فإن 1kg مادة جافة أعطت حوالي 200L من الغاز الحيوي ، أي أنني بحاجة إلى حوالي 7.5kg مادة جافة يومياً وبفرض نسبة الرطوبة في المخلفات حوالي 75% أي أنني بحاجة إلى حوالي 30kg من المخلفات يومياً ، أي يجب إضافة حوالي 75L من خليط المادة العضوية والماء إلى المخمر يومياً ، وبفرض زمن البقاء الهيدروليكي $HRT=40$ يوم أي أنني بحاجة إلى مخمر بحجم $3m^3$.

digester volume=HRT*daily feeding .

$$=40*75=30000[L]$$

كما أنني بحاجة إلى خزان لتجميع الغاز يعادل $gas\ storage=0.6*1.5=0.9[m^3]$

سنختار مخمر نموذج قبة ثابتة وبالتالي يمكن الاستغناء عن خزان تجميع الغاز حيث يتجمع الغاز داخل جسم المخمر .

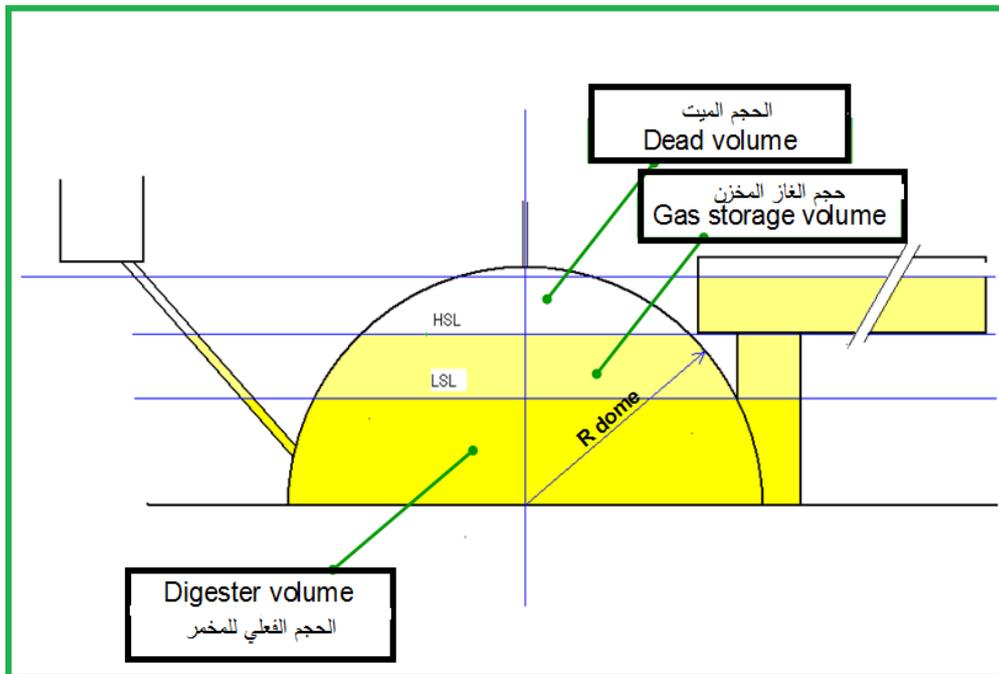
حجم المخمر الفعلي هو الحجم تحت الحد الأدنى لمستوى الخليط (LSL) وحجم الغاز هو الحجم بين الحد الأدنى لمستوى الخليط (LSL) والحد الأعلى لمستوى الخليط (HSL) . بينما الحجم فوق (HSL) يعبر عنه بالحجم الميت "dead volume" ويعادل الحجم الميت حوالي 20% من حجم المخمر الكلي.

$$dead\ volume=0.2*(3+0.9)=0.78[m^3]$$

وبالتالي يكون حجم الوحدة الكلي (V tot) المطلوب يساوي حجم المخمر الفعلي + حجم الغاز + الحجم الميت.

total plant volume=(digester volume + gas storage + dead volume)

$$=(3+0.9+0.78)=4.68[m^3]$$



شكل (19-7) المخمر المقترح لأسرة ريفية.

النتائج والتوصيات:

- تعتبر تقانة الغاز الحيوي حديثة العهد في سورية على الرغم من انتشارها الواسع عالمياً، والبحث سلب الضوء على مصدر مهم من مصادر الطاقة المتجددة ويمكن اعتباره قاعدة قابلة للتطوير والبناء عليها مستقبلاً.
- تم الحصول على إنتاج للغاز عند درجة حرارة 50°C أكبر بحوالي 22% بالمقارنة مع درجة حرارة 35°C ، وأكبر بحوالي 260% بالمقارنة مع المخمر الذي ترك دون ضبط درجة الحرارة، وهذا يوضح أهمية الحرارة كعامل مؤثر على إنتاج الغاز، وأهمية عزل المخمر للحفاظ على درجة حرارة ثابتة قدر الإمكان طيلة مدة التخمر.
- فضلات الطعام تملك درجة حموضة منخفضة، ووفقاً للنتائج التي حصلنا عليها فإن أعلى معدل لإنتاج الغاز كان عند درجة حموضة $\text{pH}=7$ فمن الضروري تعديل الحموضة، وإحدى هذه الطرق هي بإجراء عملية هضم مشترك لمخلفات الطعام وروث الأبقار التي تملك قيم معتدلة لدرجة الحموضة.
- لم تؤد إضافة اليوريا إلى زيادة كبيرة في إنتاج الغاز، لذلك من الضروري إجراء المزيد من التجارب حول بعض الإضافات والمواد التي تؤدي إلى زيادة إنتاج الغاز.
- ضرورة تعميم هذه التقانة في الريف السوري وتقديم الدعم المادي والتقني للأسر الراحبة بالاستفادة من هذه التقانة التي تحل مشكلة تزويد الأرياف بالغاز وتقلل من الاعتماد على الأخشاب والتي يهدد قطعها زوال الغطاء النباتي.
- إنشاء نماذج مخبرية في كلية الهندسة التقنية وتزويدها بأجهزة قياس نسب الغازات لتحديد الظروف الأمثل لعمل المخمرات.
- من المهم إنشاء محطات كبيرة لمعالجة نفايات المنازل العضوية، الأمر الذي يحل مشكلة مكبات القمامة التي تسبب روائح كريهة وأمراض، فضلاً عن إنتاج غاز يمكن استخدامه لتوليد الكهرباء أو كغاز منزلي.

المراجع:

أكساد،(1996).الدورة التدريبية على دراسة تصميم وإنشاء وتشغيل وصيانة وحدات إنتاج الغاز الحيوي في المجتمعات الريفية العربية - المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (اكساد) جامعة الدول العربية - سوريا.

الأمين ، عادل علي صالح (2006) تصميم وتنفيذ مفاعل محسن لإنتاج الغاز الحيوي وأمثلة عناصر التفاعل .

جمال الدين ،حسني محمد (1992)استخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي -جامعة الدول العربية - المنظمة العربية للتنمية الزراعية.

حجو،عبد المقصود(1999) الطاقة المتجددة أمل المستقبل ،سلسلة العالم والحياة 36- 129 - الهيئة المصرية للكتاب .

م. طالبي " أهمية الطاقة المتجددة في حماية البيئة لأجل التنمية المستدامة" - مجلة الباحث العدد- 2008/06 .

نصير،عبد الله عبد القادر " البيئة والتنمية المستدامة التكامل الإستراتيجي للعمل الخيري" مركز التميز للمنظمات غير

الحكومية، أبحاث ودراسات،عدد(07) 12 يوليو 2002 .

References:

Al Afif, R., Amon T., 2008. Biogas production from olive pulp and cattle manure – Effect of co-fermentation and enzymes on methane productivity, Damascus University journal for the Agricultural sciences (in press).

Al-Mohamad, A., 2001. Renewable energy resources in Syria, Renewable Energy, 24, 365-371.

Blanco M., Burrell A., Gay H., Henseler M., Kavallari A., M'Barek R., Pérez I., Tonini A. (2010). Impacts of the EU biofuel target on agricultural markets and land use: a comparative modelling assessment. JRC Reference Reports, EUR 24449. Luxembourg: Publications Office of the European Union, doi:10.2791/45105.

Chen Y, Yang G, Sweeney S, Feng Y. Household biogas use in rural China: a study of opportunities and constraints. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14 (1):545–9.

Cuellar, Amanda D and Michael E Webber (2008). "Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas". Environ. Res. Lett. 3: 034002.doi:10.1088/1748-9326/3/3/034002.

Dentel, S. K.; Gosset, J. M. 1982. Effect of chemical coagulation on anaerobic digestibility of organic materials, *Water Resources* 16: 707–718.

Ekwenchi, M. M. & Yaro, M. N (2010): Gaseous Fuel production by Fungal degradation of banana leaves *CHESEARCH Journal* 1 (1) : 28-32.

Ferguson, T. & Mah, R. (2006) Methanogenic bacteria in Anaerobic digestion of biomass, p49.

Gómez, R.R., (2011) Upflow anaerobic sludge blanket reactor: modeling. Licentiate thesis project. Department of Chemical Engineering and Technology. School of Chemical Science and Engineering. Royal Institute of Technology (KTH). 12 p.

Hendriks A. and Zeeman G., 2009, Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass, *Bioresource Technology*, Volume 100, Issue 1, Pages 10-18.

Johnson, D.; Carliell-Marquet, C.; Forster, C. 2003. An examination of the treatment of iron-dosed waste activated sludge by anaerobic digestion, *Environmental Technology* 24: 937–945.

Kheireddine B., Derbal K., Bencheikh-Lehocine M., 2014, Effect of starting ph on the produced methane from dairy wastewater in thermophilic phase, *Chemical Engineering Transactions*, 38, 511-516 DOI: 10.3303/CET1438086.

Kramer ,joseph M (2002) agricultural biogas casebook Great lakes regional biomass energy program council of great lakes Governors p.12.

Rittmann BE. Opportunities for renewable bioenergy using micro organisms. *Biotechnol Bioeng* 2008;100:203–12.

Schmid, A., Doordick, J.S., Kiener, B., Wubbolts, M., Witholt, B., 2001 Industrial biocatalysts today and tomorrow, *Nature* 409, pp, 258-268.

Smith, J. A.; Carliell-Marquet, C. M. 2008. The digestibility of iron-dosed activated sludge, *Bioresource Technology* 99: 8585–8592. doi:10.1016/j.biortech.2008.04.005.

Smith, J. A.; Carliell-Marquet, C. M. 2009. A novel laboratory method to determine the biogas potential of iron-dosed activated sludge, *Bioresource Technology* 100: 1767–1774.

The Official Information Portal on AD 'Anaerobic Digestion FAQ.