الفصل الأول

تقانة إنتاج الغاز الحيوي

1-1 المقدمة:

لقد برز الاهتمام بموضوع الطاقة بصورة كبيرة في فترة القرن العشرين، حيث اتضح أن وضع الطاقة ليس مرتبطاً بتغير أسعار النفط والغاز فقط، بل أيضا على قدرة المخزون الاحتياطي من هذه المصادر القابلة للنضوب على تلبية الطلب الكبير على الطاقة نتيجة الزيادة الهائلة في السكان والتقدم التكنولوجي المصاحب لنمط الحياة، إضافة إلى ظهور نتائج سلبية على مستقبل التطور الاقتصادي والاجتماعي متمثلاً في التلوث البيئي.

إن ظهور هذه النتائج أدى على التركيز للبحث عن مصادر بديلة للطاقات التقليدية خاصة من قبل الدول الصناعية، وهذه المصادر كثيرة وملموسة في حياتنا اليومية، وهي متجددة لأنها لا تنضب أبداً، وتتمثل في الطاقة الشمسية، الكتلة الحية، الأنهار، المد والجزر والطاقة الجيوحرارية.

إن المساهمة في حل مشاكل الطاقة تقع على عاتق المجتمعات الريفية التي تكون في الأغلب مهملة وخاصة في مسألة التنمية في الدول النامية، لذا من واجباتها استثمار الإمكانيات المتاحة في الحصول على موارد الطاقة محلياً بحيث لا تلحق الضرر بالبيئة وتؤمن مصدر اقتصادي هام. لذلك فإن إنتاج الغاز الحيوي واستثماره له أهميته بالاستفادة من الطاقة الناتجة وتشغيل اليد العاملة بالوسائل والمواد الأولية المتوفرة.

وبالرغم من أن معظم التكنولوجيا المستخدمة في القطاعات الخدمية ليس لها مردود مادي مباشر، فإن إدخال تكنولوجيا الغاز الحيوي في الحالات المناسبة من أجل أن

تلبي احتياجاً حقيقياً بما يتناسب والظروف المحيطة والاستفادة من كافة مخرجاتها من طاقة، سماد، خفض التلوث البيئي وتحسين حياة المواطن الريفي، يمكن أن يجعل النظم المستخدمة مجدية من الناحية المالية وذات مردود اجتماعي عالي، بناءً على تحليل التكاليف والمنافع مع الأخذ بعين الاعتبار المردودات والعوائد المباشرة وغير المباشرة. لذا لابد من تناول هذه التكنولوجيا بنظرة المنظومة المتكاملة الشاملة.

أن أهمية إدماج تقنية الغاز الحيوي في الإطار الاجتماعي والاقتصادي والثقافي والصحي للسكان تكمن في الوصول للترابط المنطقي المطلوب. حيث لا بد أيضاً من الإشارة إلى أهمية المادة العضوية والدبال في عملية تكوين الترب وتطورها والدور الهام الذي تلعبه هذه المواد الطبيعية في خصوبة الترب وإنتاجيتها.

وتعتبر غالبية الترب السورية فقيرة بالمادة العضوية، إضافة إلى استنزاف خصوبتها نتيجة للزراعة الكثيفة التي أصبحت ضرورة لتلبي احتياجات الإنسان والحيوان. لذلك كان لابد من استثمار المصادر المحلية المتوفرة للمادة العضوية والتي تكمن في المصادر النباتية، المصادر الصناعية، رواسب البحيرات والأنهار والمصادر الحيوانية وهذه الأخيرة تعتبر الأفضل، حيث أن غالبية المصادر النباتية للأسمدة العضوية قليلة التوفر حيث لا يمكن استعمال الأسمدة الخضراء بالزراعة البعلية وعدم رغبة المزارعين بخسارة أي موسم للأرض بزراعتها بالأسمدة الخضراء التي ستقلب قبل أن تعطي إنتاجها في الترب المروية، وكون غالبية بقايا المحاصيل الحقلية تستخدم كتبن وأعلاف لتغذية المواشي في الأوقات التي لا تتوفر فيها المراعي الطبيعية، كما أن الكميات المتحصل عليها من البقايا الصناعية كصناعة السكر محدودة، أضف لذلك عدم خلو مخلفات القمامة من بعض الشوائب الفيزيائية الغير مرغوب بها وكون مخلفات الصرف الصحي قد تحتوي على بعض الأمراض الضارة بالإنسان وبعض العناصر الضارة للزراعة خاصة مناطق المعامل والمصانع والدباغات، كما أن القطر العربي السوري يتمتع بثروة حيوانية كبيرة ينتج عنها كمية كبيرة من المخلفات كما يوضح الجدول (1 - 1).

جدول (1 - 1) تعداد الثروة الحيوانية في سوريا

السنة / النوع	السنة				
	1999	2000	2001	2002	2003
الأغنام	10998460	13505235	12361824	13497481	15292722
الماعز	1045576	1049539	979325	931886	1017336
الأبقار	977944	984393	836868	866671	937098
الجاموس	2803	2824	2813	2845	2851
الدواجن	2331296	2294100	2388566	2494120	2505800

المصدر: المجموعة الإحصائية السنوية.

رغم توفر كميات كبيرة من المخلفات الزراعية بشقيها النباتي والحيواني، إلا أنها لم تستغل كمصدر للطاقة في الدول النامية بصورة مثلى، ويعزى ذلك إلى عدم استخدام التقنية المناسبة لتدويرها اقتصادياً وزراعياً وبيئياً.

ونظراً لبدء انتشار وحدات إنتاج الغاز الحيوي كمصدر للطاقة في سوريا، ولما لهذا التقانة من دور في إنتاج مادة عضوية متخمرة متميزة عما سواها، فقد واجهت هذه التقانة بعض المعوقات كالاختلافات الموسمية في درجة الحرارة وعدم تجانس المواد الخام بصفة مستمرة والحاجة لعمالة مدربة علماً أن الطقس يميل إلى البرودة حيث متوسط درجة الحرارة 20° م جدول (1 - 2).

لذا كان من الضروري إجراء الأبحاث التي تؤدي إلى تحسين إنتاجية الغاز الحيوي وتقييم الظروف الملائمة لها.

2-1 – لمحة عن أنتاج الغاز الحيوي

جدول (1 - 2) وسطي درجات الحرارة في بعض المدن السورية

السنة / المحطة	2000	2001	2002	2003	2004
دمشق	18	18	18	17	18
حمص	18	18	18	17	18
تدمر	20	20	19	19	19
حماه	19	20	19	19	19
اللاذقية	20	19	20	20	20
حلب	17	18	18	18	18
دير الزور	20	20	21	21	21
القامشلي	18	19	21	21	20
صافيتا	-	-	-	20	19
درعا	18	18	18	18	18

المصدر: المجموعة الإحصائية السنوية.

اكتشف الغاز الحيوي في عام 1776 م في إيطاليا بواسطة "الكسندر وفولتا" وعرف بغاز المستنقعات حيث كان يتولد من البحيرات المحتوية على مخلفات عضوية متحللة.

وتم إنشاء أول وحدة لإنتاج الغاز الحيوي في العالم في عام 1890 م في الهند، بينما كانت أول وحدة في أفريقيا والوطن العربي في مصر عام 1939م، ومن ثم انتشرت

وحدات الغاز الحيوي بصورة كبيرة حيث بلغت أكثر من 800 ألف وحدة منزلية و250 وحدة صناعية في الهند حتى العام 1987 م، 30 ألف وحدة في كوريا الجنوبية حتى عام 1975م، وفي الصين بلغت الوحدات المنزلية حوالي 5 ملايين وحدة و 750 وحدة كبيرة لإدارة الآلات وإنتاج الكهرباء وذلك حتى العام 1980م، بينما بلغت 49 ألف وحدة في نيبال حتى عام 1999م.

تتنوع المواد الأولية المستخدمة في إنتاج الغاز الحيوي، حيث تتكون من مادة عضوية أو عدة مواد مختلطة ومن هذه المواد الأولية:

1-المخلفات الحيوانية: تمثل مخلّفات الماشية كالأبقار والخيول وزرق الطيور, وتعد أهم المواد لتغذية المخمرات نظراً لكمياتها الكبيرة، واحتوائها على العناصر اللازمة للتخمر بنسب متوازنة, (نسبة الكربون إلى النتروجين).

2-المخلفات الآدمية: تمثل المواد الصلبة في مياه الصّرف الصّحي والمخلفات المنزلية, مصدراً هاماً لإنتاج الغاز الحيوي رغم ارتفاع نسبة النيتروجين فيها.

3-المخلفات النباتية: تتمثل ببقايا المحاصيل(قش الأرز, بقايا الذرة والقطن..), ونواتج تقليم الأشجار, والثمار التالفة, ولها أهمية كبيرة في إنتاج الغاز الحيوي، ويفضل خلطها بمواد عضوية أخرى غنية بالنيتروجين مثل زرق الدواجن وروث الماشية.

4-المخلفات الصناعية العضوية: تمثل مخلفات بعض الصناعات احتمالات كبيرة لإنتاج الغاز الحيوي ومنها صناعة السكر والنشاء وصناعة الورق.

1-2-1- مستلزمات إنتاج الغاز الحيوي

1-المادة الأولية: وهي المخلفات العضوية البشرية، والمخلفات النباتية والحيوانية، والمخلفات الصناعية ومخلفات المدن، والطحالب المائية.

2-منشأة التخمير: تتكون منشأة التخمير بشكل أساسي من وحدة التغذية وهي حوض تجمع فيه المخلفات العضوية لإدخالها إلى المخمر، وحدة التخمير اللاهوائي، وحدة الإخراج ، خزان الغاز الموصول بشبكة أنابيب لجره إلى أماكن الاستخدام، بالإضافة إلى وحدة تجفيف السماد.

3-الخبرة: تتطلب تقنية إنتاج الغاز الحيوي خبرات بسيطة نسبياً، مما يسهل توفرها لدى الدول العربية لإنشاء أنظمة إنتاج الغاز الحيوي وصيانتها واستثمارها.

4-النتائج المادية، الاقتصادية، الاجتماعية والصحية وسبل تعميم استخدام تقنية الغاز الحيوي.

1-2-2-التخمير اللاهوائي للمخلفات العضوية:

تتألف المعالجة اللاهوائية للمواد العضوية من ثلاث مراحل أساسية، حيث تتفكك في المرحلة الأولى المواد الأساسية (سليلوز- دهون – بروتين ....)، حيث تقوم البكتريا السيللوزية بتبسيط السلسلة المتفرعة الطويلة للسيليلوز وتحولها لجزيئات سكر مزدوجة ثم لجزيئات أحادية. وبنفس الطريقة تقوم أصناف أخرى من البكتريا بتحويل المواد المعقدة لمواد قابلة للذوبان، وفي المرحلة الثانية تنمو وتزداد البكتريا الميتروفيلية وهي التي تحول المواد القابلة للذوبان لحموضة عضوية وخصوصاً لحمض الخل وحمض اللبنيك وحمض الميتانول، ثم تبدأ المرحلة الثالثة والتي تنمو خلالها البكتريا الميتانية التي تحول الحموض لغاز الميتان وثاني أوكسيد الكربون وغازات أخرى، وبالتالي يمكن تمييز عدة أنواع من التخمرات الناتجة عن البكتريا ومن أهمها: التخمرات النشادرية التي تعمل على إنتاج أملاح النشادر المحلولة والمستخدمة في العناصر الصغيرة للتغذية والتكاثر، والتخمرات الميتانية الناتجة عن المواد الهيدروكربونية التي تنتج الميتان وذلك حسب السيللوز وتتم وفق المعادلة التالية:

$$3NCH_4 + 3NCO_2 + 4{,}5Cal \rightarrow N(C_6H_{10}O_5) + NH_2O$$

بعد أن يكتمل التفاعل وفق المعادلة السابقة تبدأ مرحلة إنتاج الميتان، وتعتمد البكتريا الميتانية على بكتريا عملية الحلمة التي تقوم بتفكيك السيللوز في المرحلة الأولى, وعلى بكتريا المرحلة الثانية, وهي مرحلة إنتاج الحموض كناتج أخير لعمليات بناء ودثور البروتوبلازما في البكتريا, التي تتغذى بالكربوهيدرات حيث يكون حمض الخل

وحمض اللبنيك هما الناتجان الرئيسيان، ويعتبر حمض الخل المادة الأساسية لتشكيل الميتان.

ومن الجدير بالذكر أن البكتريا الميتانية قليلة جداً في المواد المستخدمة، وتعتبر حساسة جداً للظروف البيئية, لأنها ملزمة بالحياة اللاهوائية. ويمكن تثبيط نموها بكميات قليلة من الأوكسجين، لذلك فمن الضروري المحافظة على ظروف بيئية مناسبة للمحافظة على استمرار النمو وتنشيطه.

1-3- تصميم وإنشاء وحدات الغاز الحيوي

يتم تخمير المخلفات في الصورة السائلة أو التي يمكن تحضير معلق سائل منها في أجهزة تخمير متعددة الأشكال والتصميم، وهي تعتمد على أساس هضم المخلفات العضوية تحت ظروف لاهوائية. وقد تطورت أشكال وتصميمات وحدات الغاز الحيوي لتحقيق الأغراض الاقتصادية، الاجتماعية والبيئية. ويحدد نوع الفائدة المطلوب تحقيقها من إنشاء المخمر تصميم وحجم وحدات الغاز الحيوي، وقد تطورت بعض التصميمات الهندسية الناجحة في بعض الدول العربية والتي تلائم ظروفها.

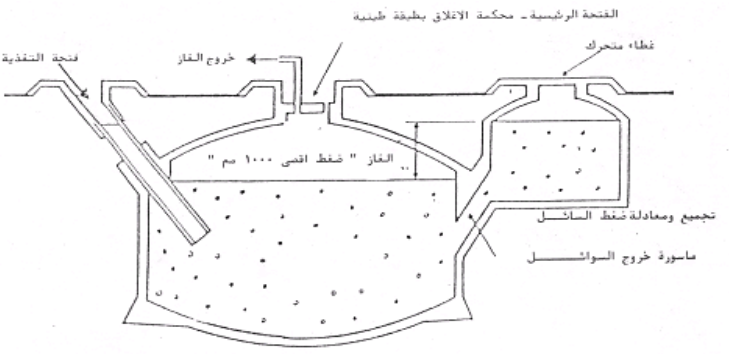
1-3-1- وحدات التشغيلة الواحدة

تعتبر من أبسط النظم، حيث يتم فيها شحن الجهاز بالمخلفات العضوية في صورة محلول أو معلق (6 - 10 % مواد صلبة) ثم يضاف البادئ، ويغلق المخمر بإحكام، وعادة يبدأ إنتاج الغاز بعد حوالي (7 - 10) أيام, ويستمر لفترة تصل إلى ستة أشهر تبعاً لنوع المخلفات ونسبة المواد الصلبة. وقد وجد أن معدل إنتاج الغاز الحيوي حوالي 0.35 /1 / يوم (حجم غاز/حجم سائل تخميري/يوم) وهي كفاءة منخفضة بالنسبة للتطور الذي حدث في مجال تصميم وحدات الغاز الحيوي.

1-3-2- وحدات التغذية المستمرة:

إن نظـام التغذيـة المستمرة هـو السـريان المستمر للمخلـف المحتـوى علـى المـواد العضوية داخل وحدة التخمير وخروج الكمية المساوية لمعدل التغذيـة من الطـرف الآخـر للمخمر بعد هدم نسبة المادة العضوية.

وتوجـد العديـد مـن أنظمـة وحـدات الغـاز الحيـوي الشـائعة الاسـتخدام، أشـهرها النظامين الصيني والهندي، ويتكون الأول من قمة وقاعدة على شكل نصف كرة مبنية من الطـوب أو الحجـارة أو الخرسـانة يربطهمـا حـائط مسـتقيم, ويغطـى السـطح الـداخلي بالاسمنت لإحكامها ومنـع تسـرب الغـاز، ويوجـد وسـط القبـة غطـاء محكـم يمكـن فتحـه وتخرج منه ماسورة الغاز كما توجد فتحتي دخول وخروج للمواد كما في الشكل (1- 1). أما النموذج الثاني فيتم بناء قاعدة وجسم المخمر من الطوب أو الخرسانة ويغطى بغطاء معدني عائم على سطح السائل التخميري كما في الشكل (1 - 2).



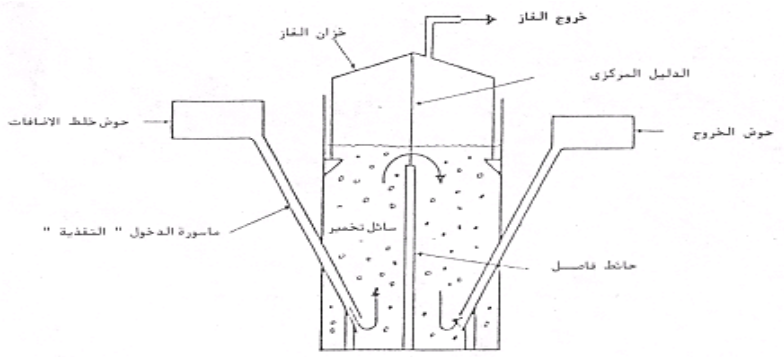
الشكل (1-1) مخمر نظام صيني

1-4- العوامل التي تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي

لا تزال آفاق تطـوير تقانـة الغـاز الحيـوي محـدودة الانتشـار فـي سـورية، نسـبة إلـى حداثـة دخـول هـذه التقانـة ولعـدم تـوفر الدراسـات اللازمـة, إضـافة إلـى ضـعف الكـادر الإرشادي والتمويل الزراعي والاعتماد على الوقود التقليدي.

تعتبـر عمليـة إنتـاج الغـاز الحيـوي مـن الأنظمـة المتكاملـة حيث تتكـون مـن مفاعـل للتخمـر، خـزان للغـاز، غرفـة تغذيـة، منطقـة تخـزين وتجفيـف السـماد ومنطقـة تواجـد

المخلفات (الحظيرة). حيث أن نجاح تكنولوجيا إنتاج الغاز الحيوي يستدعي اختيار وضبط مكونات هذا النظام مع بعضها لتحقق الهدف الموضوعة لأجله، بإنتاج كمية مناسبة من الغاز إضافة إلى الحصول على سماد عضوي جيد والقضاء على الملوثات والحفاظ على بيئة نظيفة.



الشكل (1-2) مخمر نظام هندي

إن إنتاج الغاز الحيوي يتم 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, ويتخلف عن عملية التخمير مادة تستخدم كسماد طبيعي يساعد على زيادة خصوبة التربة الزراعية.

ويلاحظ بساطة تقانة إنتاج الغاز الحيوي وملاءمتها لظروف الريف العربي إذ يمكن لها أن تلبي متطلباته من الطاقة وتوفر سماداً جيداً يؤدي لرفع الإنتاجية الزراعية، وهي وسيلة لتحسين المستوى الصحي والاجتماعي والمساهمة في حماية البيئة.

تختلف البكتريا اللاهوائية في تفاعلاتها عن البكتريا الهوائية، حيث أن فعل الأولى يمر بعمليات بيولوجية معقدة وحساسة لتأثير بعض العوامل إضافة لحساسيتها الدقيقة للأوكسجين الذي يبطل مفعولها، في حين أن تأثير الأخرى على المواد العضوية يتم بطريقة مباشرة من خلال أكسدتها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء مع انطلاق كمية من

الحرارة، جدول (1 - 3), ولذلك يمكن تقسيم العوامل التي تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي إلى ثلاث مجموعات:

(جدول 1 - 3) مقارنة بين تخمر المواد العضوية بتأثير البكتريا اللاهوائية وتخمرها بتأثير البكتريا الهوائية.

	تخمر هوائي	تخمر لاهوائي
ظروف التخمر	* ضرورة وجود أكسجين * التفاعل بسيط ومباشر من خلال أكسدة المادة العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون وماء.	* ضرورة عدم وجود أكسجين * التفاعل معقد ويمر بمراحل متتالية ومتداخلة ويحول المادة العضوية إلى مواد بسيطة ثم إلى غاز حيوي.
نواتج التخمر	* غازات معظمها ثاني أكسيد الكربون وماء. * سماد عضوي منخفض الجودة.	* الغاز الحيوي (ميثان وثاني أكسيد الكربون) * سماد عضوي عالي الجودة.
الطاقة المتولدة	* تنطلق مباشرة في صورة حرارة أكسدة.	* تختزن في صورة محتوى حراري بالغاز الحيوي أساساً.
الأجهزة المستخدمة	* لا يحتاج إلى أجهزة خاصة بل يكتفي بتكويم المخلفات وتقليبها بين حين وآخر. وفي العمليات الكبيرة قد يتطلب الأمر أجهزة نفث هواء.	* استخدام أجهزة خاصة لضمان العزل التام عن الهواء ومعزولة حرارياً مع تقليب.

1-4-1- عوامل خاصة بالمخلف المستخدم

تأتي المخلفات التي يمكن أن تستخدم في إنتاج الغاز الحيوي من مصادر متعددة كروث الحيوانات، زرق الدواجن، المخلفات الآدمية، بقايا المحاصيل، مخلفات

الصناعات الغذائية ومياه الصرف الصحي. ويحدد التركيب الكيماوي والقابلية للتحلل الميكروبي والصفات الطبيعية للمخلف مدى صلاحيته للهضم اللاهوائي وقدرته على إنتاج الغاز الحيوي، حيث أن إنتاج الغاز من واحد كيلو غرام مادة صلبة يكون حوالي (0.28 - 0.56 - 0.36 - 0.64) م^3 في حالة روث الماشية، روث الخنازير، زرق الدواجن وحمأة المجاري على التوالي. ومن أهم العوامل الخاصة بالمخلف:

1 ـ العناصر الغذائية في المخلف:

للحصول على أعلى إنتاج من الغاز الحيوي لا بد من الحفاظ على أقصى نشاط للبكتريا المشاركة في عملية الهضم اللاهوائي وذلك بتوفير العناصر الغذائية اللازمة لنموها، مثل الكربون، النيتروجين، الفوسفور وبعض العناصر الأخرى, وأمثل نسبة لها (150 كربون: 5 نيتروجين: 1 فوسفور). ونسبة الكربون إلى النيتروجين في بعض المخلفات بالتقريب (25 – 15 – 3 – 83 – 67) لكل من روث الماشية، زرق الدواجن، مخلفات آدمية، تبن قمح وقش أرز على التوالي. والجدول (1 ـ 4) يوضِّح كمية ومحتوى مخلفات بعض الحيوانات من العناصر الغذائية الضرورية لعملية الهضم اللاهوائي.

إن أمثل نسبة للكربون إلى النيتروجين تعادل (25 - 30: 1) وأن نسبة أقل من (10: 1) تكون مثبطة. وأوضحت الدراسات أن روث الأبقار يعتبر من أفضل المخلفات في مجال إنتاج الغاز الحيوي، حيث أن إنتاج البقرة الواحدة من المخلفات خلال يوم واحد 1200 لتر تقريباً. وتعتمد كمية الغاز الحيوي على تغذية ونوع الحيوان المنتج للمخلف. الجدول (1 ـ 5) يوضّح كمية الغاز الممكن إنتاجه من المواد المختلفة.

2 ـ الصفات الطبيعية للمخلف:

إن الصفات الطبيعية للمخلف تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي، حيث أن المخلفات السائلة الغير محتوية على مواد صلبة لا توفر سطوحاً تتواجد عليها البكتريا، يقلل من إنتاجية الغاز الحيوي، لذا تحتاج هذه المخلفات لوحدات ذات تصميم خاص، كما تزداد إنتاجيته بزيادة تفتيت مادة المخلف.

جدول رقم (1 ـ 4) كمية المخلفات المنتجة وتركيبها لبعض الحيوانات

الحيوان	الإنتاج اليومي				التركيب		
	وزن الحيوان الحي 1000 رطل		وزن الحيوان الحي 500 كغ		أحماض طيارة	نتروجين	فوسفور
	الحجم (قدم^3)	الوزن الرطب (رطل)	الحجم (م^3)	الوزن الرطب (كغ)	نسبة مئوية من الوزن الرطب	نسبة مئوية من الوزن الرطب	نسبة مئوية من الوزن الرطب
الأبقار الحلوب	1.33	76.9	0.038	38.5	7.98	0.38	0.10
أبقار اللحم	1.33	83.3	0.038	41.7	9.33	0.70	0.20
الخنازير	1.00	56.7	0.028	28.4	7.02	0.83	0.47
الضأن	0.70	40.0	0.020	20.0	21.5	1.00	0.30
الدواجن	1.00	62.5	0.028	31.3	16.8	1.20	1.20
الخيول	0.90	56.0	0.025	28.0	14.3	0.86	0.13

المصدر: Fogg، (1971).

3 ـ وجود مواد مثبطة لنمو ونشاط البكتريا:

وجد أنه تؤثر التركيزات العالية لبعض المواد مثل المبيدات، المنظفات الصناعية، المضادات الحيوية والمعادن الثقيلة، عل قدرة البكتريا على العمل، كما يجب أن لا يزيد تركيز الأمونيا والأحماض الدهنية الطيارة عن 3 جم/ لتر.

جدول رقم (1 ـ 5) كمية الغاز الحيوي الممكن إنتاجه من المواد المختلفة:

مواد التغذية	نسبة الكربون إلى النيتروجين	إنتاج الغاز ليتر / كغ مادة صلبة	نسبة الميثان (%)
مخلفات حيوانية			
روث ماشية	15	280 - 260	60 - 50
روث خنزير	13	561	-
روث خيل	20	300 - 200	-
روث دواجن	16	360	-
مخلفات نباتية			
باست الماء الطازج	20	630	70
مخلفات الكتان	-	370	-
تبن القمح	80	430	-
سرس الأرز	80	615	-
مخلفات المجاري	15	640	-
مصانع إنتاج الكحول	-	600 - 300	58
المواد الغذائية			
الكربوهيدرات	-	750	49
الدهون	-	1440	72
البروتين	-	980	50

1-4-2- العوامل المؤثرة على محلول التخمير:

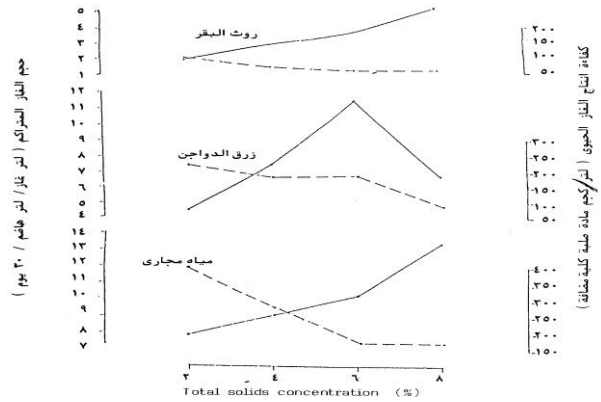
1 ـ درجة الحرارة:

توجد مجموعتان من بكتيريا الميثان حسب درجة الحرارة المثلى لنموها وإنتاجها للميثان، حيث تعرف المجموعة الأولى بالبكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة درجة الحرارة المثلى لها (35°م). في حين تعرف المجموعة الثانية بالبكتريا المحبة للحرارة المرتفعة وأفضل نمو لها عند درجة 55° م، وفي كلا الحالتين يجب عدم تعريض محلول التخمير لتغيرات حادة في درجة الحرارة. إن معدل التفاعلات الكيميائية والتغذية والنمو للأحياء الدقيقة يزيد بزيادة درجة الحرارة في المدى الحراري المحتمل لتلك الميكروبات. وقد صنفت بكتيريا الميثان إلى ثلاث مجموعات حسب تكيفها مع درجة الحرارة فالمجموعة الأولى تسمى البكتيريا المحبة للبرودة وتعمل في مدى 10 - 25 °م وإنتاج الميثان في هذه الدرجة غير شائع، أما المجموعة الثانية وهي البكتيريا المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة وتكون في قمة نشاطها في مدى 35 – 37°م ، في حين المجموعة الثالثة تسمى البكتيريا المحبة للحرارة وتفضل درجات الحرارة ما بين 55 إلى 60° مئوية. لذلك فإن عملية التخمير وإنتاج الغاز الحيوي تتأثر بشكل كبير باختلاف درجات الحرارة. تلعب درجة حرارة المخمر دور رئيسي وكبير في عملية إنتاج الغاز الحيوي. وقد استخدمت درجة الحرارة (35 م) للمخمر. وينخفض معدل إنتاج الغاز الحيوي خلال فصل الشتاء ويرتفع في فصل الصيف، وأن درجة حرارة الهواضم الصينية تزيد عنها في الهندية بقليل.

2 - تركيز المواد الصلبة الكلية:

إن معدل إنتاج الغاز الحيوي يزداد بزيادة تركيز المواد الصلبة الكلية في محلول التخمير إلى حد معين تبعاً لنوع المخلف المستخدم، وتحديد التركيز الأمثل يعتمد على حجم المخمر والموازنة بين التكلفة والعائد، درجة الحرارة، سهولة سريان محلول التخمير إلى ومن المخمر، تركيز الأمونيا الناتج عن هضم المخلف وتركيز الأحماض الدهنية الطيارة الناتجة. والتركيز الأمثل في حالة روث الأبقار يتراوح بين 8 - 10% بينما في زرق الدواجن بين 6 - 7%. إن المحافظة على تركيز المواد الصلبة الكلية بنسبة

8 - 10% يساعد على السريان ويحافظ على التوازن. حيث يبين الشكل (1-3) العلاقة بين تركيز المادة الصلبة الكلية وإنتاج الغاز الحيوي.



الشكل (1 - 3) العلاقة بين تركيز المادة الصلبة الكلية وإنتاج الغاز الحيوي

3 - درجة حموضة المحلول المتخمر (PH):

إن الحفاظ عل درجة حموضة المواد المتخمرة عند الحد الأمثل يمثل عاملاً هاماً في إنتاج الغاز الحيوي، والمدى المناسب من درجات الحموضة يتراوح بين 6.6 – 7.4 وأفضل إنتاج للغاز يكون عند درجة حموضة 7.0 – 7.2، في حين أنه 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 بكتيريا الميثان تعمل بكفاءة في حدود درجة حموضة 6.8 – 8.5 بينما الدرجة المثلى 7.0 .

4 - إضافة البادئ

إن عملية هضم المواد العضوية لا تحتاج إلى تواجد البكتيريا المتخصصة بأعداد مناسبة. حيث أن إضافة بادئ من 5 - 25 % من حجم محلول التخمير الجديد تؤدي إلى

زيادة إنتاج الغاز الحيوي زيادة كبيرة بالمقارنة مع إضافة نسبة من مخلوط تخمير نشط إلى المخمر عند بداية التشغيل. ويحتوي روث الماشية على بكتيريا التخمر ولكن إضافة البادئ يسرع بعملية التخمير.

1-4-3- العوامل الخاصة بتشغيل وحدات الغاز الحيوي

1 ـ نظام التغذية:

توجد طريقتان لتغذية المخمر، تعرف الطريقة الأولى بنظام التغذية مرة واحدة، حيث يتم تعبئة المخمر بمحلول المواد العضوية لمرة واحدة، ويترك بدون تغذية حتى انتهاء عملية إنتاج الغاز وبعدها يتم تفريغه من المحلول المتخمر وتعبئته من جديد. دلت نتائج هذه الطريقة على تغير إنتاج الغاز بمرور الوقت حيث يكون منخفض في البداية ثم يزداد تدريجياً ليصل إلى أقصى معدل له، ثم يبدأ في الانخفاض حتى يتوقف تماماً. أما الطريقة الثانية فتعرف بنظام التغذية المستمرة وفيها يتم تغذية المخمر على فترات تتراوح بين عدة ساعات في حالة الوحدات عالية الكفاءة التي تتعامل مع محاليل منخفضة التركيز، أو تغذية يومية في حالة المخمرات العادية، ويكون معدل إنتاج الغاز ثابت 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 بمقدار المادة العضوية الجافة بالكيلوجرام المضافة لكل متر مكعب من حيز التخمر في اليوم الواحد (كيلوجرام مادة جافة / م^3 / يوم) في حالة نظام التغذية المستمرة. ويعتمد معدل التغذية على نوع وطبيعة المادة العضوية المستخدمة ومدى قابليتها للتحلل، درجة الحرارة، زمن الاحتباس، حجم المخمر وكمية الغاز المطلوبة. إن معدل التغذية هو كمية التغذية اليومية بالمواد العضوية مقسومة على حجم المخمر، وزيادة التغذية يرفع إنتاج الغاز الحيوي إلى حد معين، أما زيادة التغذية بدرجة كبيرة تسبب تراكم الأحماض العضوية لعدم تمكن البكتيريا من تحويله إلى غاز.

2 ـ زمن بقاء المادة المتخمرة في المخمر

يعرف زمن البقاء بمتوسط عدد الأيام التي يمكثها المحلول المتخمر داخل المخمر، ويتأثر بعوامل كثيرة منها خواص المادة العضوية المستخدمة، درجة الحرارة ونوع المخمر المستخدم، حيث يتراوح بين 20 - 30 يوم. ويجب أن يزيد الحد الأدنى لزمن البقاء عن الزمن اللازم لتكاثر بكتيريا الميثان حتى لا تزال 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. إن زمن البقاء للعديد من المخلفات الحيوانية يتراوح بين 30 – 45 يوم.

3 ـ تقليب محتويات المخمر:

إن عملية تقليب محتويات المخمر تساعد على رفع كفاءة الهضم وزيادة إنتاج الغاز، لأن التقليب يمنع تكون طبقات منفصلة في المحلول، يزيد من فرص تلامس المواد مع البكتيريا، تجانس درجة الحرارة ويسهل تصاعد فقاعات الغاز. وقد وجد أن تقليب محتويات مخمر يعمل على مخلفات آدمية أدى إلى زيادة حجم الغاز الناتج إلى 80 %. حيث تحدد التجربة وتصميم المفاعل اختيار التقليب المناسب وسرعته. إن التقليب يمكن أن يكون يدوي أو ميكانيكي أو بإعادة دورات المحلول أو الغاز، تم استخدم أداة تقليب ميكانيكية ريشية لمفاعل حجمه 40 لتر، حيث كانت عدد دورات الخلاط 60 دورة في الدقيقة، لمدة 15 دقيقة في الساعة. إن أفضل وسيلة للتقليب هي التحريك الآلي، حيث أن الزيادة في إنتاج الغاز تتراوح بين 10 – 15 %.

1-5- المتطلبات الأساسية لإنشاء أنظمة إنتاج الغاز الحيوي

1-5-1- متطلبات اختيار الموقع: يتحدد اختيار الموقع طبقاً لعدد من العوامل والمقاييس وأهمها:

1- نوع التربة: حيث يؤثر ذلك على تكاليف الإنشاء وذلك بصلابتها، قابليتها للانكماش أو التمدد ومستوى المياه السطحية.

2- مساحة الأرض المتاحة: لا بد من توفر المساحة لبناء النظام بأكمله.

3- القرب من مصادر المخلفات: يفضل اختيار الموقع في أقرب مسافة ممكنة من مصادر المخلفات لتقليل تكاليف النقل.

4- القرب من مناطق الاستخدام: يجب أن يكون إنشاء الوحدة بالقرب من أماكن الاستخدام تخفيفاً للنفقات إضافة إلى أن ضغط الغاز منخفضاً نسبياً.

5- توفر مصادر للمياه: وذلك بغرض خلط المخلفات بنسبة معينة من المياه.

1-5-2- المتطلبات الأساسية لاختيار التصميم الملائم: وتحدد بالمتطلبات التالية:

1- اختيار التصميم البسيط.

2- توفر مواد الإنشاء.

3- ملاءمة التطبيق في الأماكن المختلفة وفي ظروف بيئية مختلفة.

4- توفر المادة العضوية الملائمة للتصميم المقترح.

5- العامل الاقتصادي والبيئي لإنشاء الوحدة.

1-6- تحديد حجم وحدات إنتاج الغاز الحيوي:

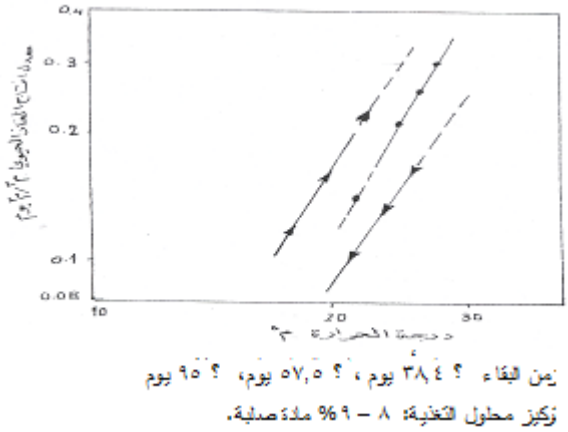
إن حجم المخمر يتعلق بالسعة أو الحجم الفعال للمحلول الممكن استقباله في الوحدة، ويرتبط بعوامل أهمها: الكمية المتاحة من المخلفات، درجة حرارة الجو، درجة حرارة التخمير، والحجم المطلوب من الغاز. ويتم حساب حجم المخمر بالمعادلة:

حجم المخمر = حجم التغذية اليومي (م3 / يوم) × زمن البقاء (يوم)

حيث:

- حجم التغذية اليومي = حجم المخلوط بعد التخفيف إلى التركيز(8 - 10)%

- زمن البقاء يمكن تحديده بالاستعانة بالشكل (1 - 4) كتابع لدرجة الحرارة.



شكل (1 – 4) تأثير درجات الحرارة على معدلات انتاج الغاز

1-7- تحديد سعة خزان الغاز:

إن حجم خزان الغاز الفعال هو حجم التخزين الفعلي للغاز، وترتبط سعة خزان الغاز بكمية الإنتاج ونمط الاستهلاك اليومي للغاز، حيث يتم تخزين الغاز المنتج في الساعات التي لا يستخدم فيها، وتصل إلى 12 ساعة يومياً، وعلى ذلك تصمم سعة الخزان بحيث تستوعب 50% من الإنتاج اليومي من الغاز.

1-8- نواتج الهضم اللاهوائي:

1-8-1 السماد العضوي

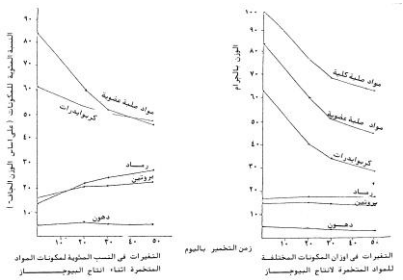
يتميز سماد التخمير اللاهوائي عن السماد العضوي الناتج عن طريق الطمر، باحتوائه على نسبة عالية من العناصر التسميدية مثل النيتروجين، الفوسفور والعناصر الصغرى مما يضعه في مرتبة الأسمدة المتكاملة، بل يتفوق عليها بوجود بعض الفيتامينات ومنظمات النمو، إضافة إلى مادة الدبال العضوية التي تحسن من خصائص التربة الزراعية، وذلك بفعل تنشيطها للبكتيريا والفطريات وبكتيريا تحليل السيليلوز الهوائية وبكتيريا تثبيت النيتروجين علاوة على رفع معدلات امتصاص النيتروجين

والفوسفور الجدول (1-6). حيث يبين الشكل (1-5) التغيرات التي تحدث للمواد المتخمرة أثناء إنتاج البيوغاز. هذا وقد وجد أن لسماد الغاز الحيوي تأثيران:

جدول (1 - 6) محتوى سماد الغاز الحيوي من العناصر الغذائية مقارنة بالسماد البلدي

مكونات السماد	سماد الغاز الحيوي				السماد البلدي (FYM)			
	عناصر كلية		عناصر ميسرة		عناصر كلية		عناصر ميسرة	
	% كغ / م3		% كغ / م3		% كغ / م3		% كغ / م3	
مادة عضوية	6.3	63.0	-	-	-	40	-	-
آزوت	1.3	13.0	0.665	1.65	0.3	3	0.01	0.1
فو 2أ5 (فسفور)	0.45	4.5	0.0034	0.034	0.2	2	0.023	0.023
بو 2أ (بوتاسيوم)	0.24	2.4	0.06	0.6	0.1	1	0.03	0.3
زنك	0.003	0.003	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.00006	0.0006
	0.0006.	0.006	0.00047	0.0047.	0.003	0.003	0.00014	0.0014
	0.001	0.01	0.00066	0.0066	0.0046	0.046	0.002	0.002
	0.00002	0.0002	0.0001	0.001	0.0005	0.0005	0.00001	0.01

المصدر: AOAD، 1992.



الشكل (1-5) التغيرات التي تحدث للمواد المتخمرة أثناء إنتاج الغاز الحيوي

أحدهما مباشر وسريع على النبات والآخر بطيء يمكث بالتربة لتستفيد منه المحاصيل اللاحقة، إضافة إلى رائحته المقبولة ولا يجذب الحشرات ويخلو من الميكروبات والطفيليات الممرضة. إن المزروعات التي تنمو في تربة مسمدة بالمواد العضوية تكون أكبر وأقوى وأقل عرضة للآفات. وبالرغم من أن استعمال الأسمدة الكيميائية يزيد من الإنتاجية الزراعية مؤقتاً، إلا أنها تتسبب في تدني إنتاجية التربة، وإنتاج محاصيل محملة بالبقايا الكيميائية مما يؤثر على صحة الإنسان.

إن مادة الدبال المتخلفة عن التخمر اللاهوائي تعتبر مصدر غذائي هام للنبات حيث يحرر بتفككه العناصر الغذائية الهامة مشكلاً خزان للعناصر المغذية. الجدول (1-7) يوضح محتوى مخلفات الأبقار من العناصر الأساسية. كما يؤدي إلى تحرير بعض الأحماض العضوية التي تساعد في تحسين التربة وتؤدي إلى خفض درجة حموضة التربة (PH) على المدى البعيد والذي يساعد بدوره على زيادة انحلال مركبات الكالسيوم، زيادة انحلال المركبات الفسفورية، كما تمنع المادة العضوية عملية إنغسال مركبات الكالسيوم والمغنيزيوم بربطها، كما يساعد على تشجيع النشاط الحيوي في التربة.

جدول(1 - 7) محتوى مخلفات الأبقار الطازجة أو الرطبة من العناصر الأساسية:

العناصر الأساسية	%
ماء	75
مادة عضوية	21
آزوت كلي	0.5
آزوت أمونياكي	0.25
فسفور P_2O_5	0.25
بوتاسيوم K_2O	0.6
كالسيوم CaO	0.35
مغنسيوم MgO	0.15

1-8-2- الغاز الحيوي

1-مكونات الغاز الحيوي:

إن الغاز الحيوي يتكون أساساً من غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون ونسبة ضئيلة من غاز كبريتيد الإيدروجين. ويوضح الجدول (1- 8) بعض صفات الغازات المكونة للغاز الحيوي، بينما يوضح الجدول (1-9) التأثيرات الصحية لمكونات الغاز الحيوي. إن الغاز الحيوي يعطي عند احتراقه لهب أزرق باهت بدون دخان, وأن القيمة الحرارية للغاز الحيوي تتراوح من (16000 –25000) كيلوجول /م3.

جدول (1 - 8): صفات الغازات المكونة للغاز الحيوي

الغاز	درجة الحرارة الحرجة		الضغط الحرج	
	فْ	مْ	رطل/بوصة^2	كغ/سم^2
الميثان CH_4	-115.8	-82.1	673	47.3
ثاني أوكسيدالكربون	87.8	31.0	1.072	75.3
كبريتيد الهيدروجين	212.7	100.4	1.307	91.9
الأمونيا NH_3	270.5	132.5	1.654	116.3

المصدر: Weast، 1975.

كما يبين الجدول (1–10) الطاقة الحرارية للغاز الحيوي مقارنة بمصادر أخرى. بينما يوضح الجدول (1–11) كفاءة تحويل الوقود لطاقة حرارية.

وتتراوح نسبة غاز الميثان بين 60 – 65 % بينما غاز ثاني أكسيد الكربون بين 30 – 35 % ونسبة ضئيلة من الغازات الأخرى مثل كبريتيد الهيدروجين.

جدول (1 - 9): التأثيرات الصحية لمكونات الغاز الحيوي:

الغاز	التركيز الحرج*	التركيز جزء في المليون (ppm)	الحجم	زمن التعرض**	التأثيرات الصحية
CH_4	-	500.000	50	-	خانق – صداع – غير سام
CO_2	5.500	20.000	2	-	أمن (لا تأثير)
		30.000	3	-	سرعة التنفس
		40.000	4	-	نعاس (خمول) – صداع
		60.000	6	30ق	صعوبة التنفس وشبه اختناق
		300.000	30	30ق	
H_2S	20	100	0.01	ساعات	التهاب الأنف والعين
		200	0.02	60ق	صداق – دوار
		500	0.05	30ق	غثيان – هياج – أرق
		1000	0.10	-	إغماء – وفاة

جدول (1 - 10): الطاقة الحرارية للغاز الحيوي مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى

مصدر الطاقة	الوحدة	الطاقة الحرارية (كيلو سعر)	المكافئ للمتر المكعب غاز حيوي 65 % ميثان (600 كيلو سعر)
فحم حجري	كغ	7080	0.74
خشـــــــب (12 % رطوبة)	كغ	4300	1.21
كيروسين	لتر	8992	0.58
بنزين	لتر	8400	0.67
غاز طبيعي	$م^3$	9340	0.56

المصدر: الدورة التدريبية حول استخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي – مصر – 1992 المنظمة العربي للتنمية الزراعية (AOAD) جامعة الدول العربية.

2 - استخدامات الغاز الحيوي

يمكن استعمال الغاز الحيوي كوقود في عمليات الطهي، الإضاءة، التسخين، التبريد، تشغيل المعدات الميكانيكية وإنتاج الكهرباء. وقد وجد أن كل كيلوواط/ ساعة يحتاج إلى حوالي (0.6 - 0.7) م3 غاز، وأن تحويل الغاز إلى كهرباء يرفع الكفاءة إلى عدة أضعاف. والجدول (1-12) يوضح استهلاك بعض الأجهزة من الغاز الحيوي.

1-9- الآثار الاجتماعية:

يجب أن يكون التطور الذي يحدث في مجتمع ما في اتجاه تأمين جميع متطلبات هذا المجتمع وذلك بالاعتماد على الذات أي بمشاركة جميع السكان وباستخدام التقنيات الملائمة التي تعلب دوراً رئيسياً في تحقيق هذا التطور المنشود.

جدول (1 - 11): كفاءة تحويل الوقود لطاقة حرارية لمواد مختلفة.

الوقود	الوحدة	الطاقة الحرارية (كيلو سعر)	الكفاءة %
غاز حيوي	$م^3$	5600	60
الخشب	كغ	5000	10
حطب القطن	كغ	4000	10
حطب الذرة	كغ	3600	10
قش الأرز	كغ	3500	10
باجاس القصب	كغ	4000	10
أقراص الروث والحلة	كغ	3700	10

المصدر: AOAD، 1992.

إن إدخال تقنية الغاز الحيوي إلى المجتمع الريفي السوري سيكون وسيلة لإحداث تغييرات فيه، خاصة في مجال الإنتاج والاستهلاك، إذا كان دخولها ناتج عن قناعة أفراد هذا المجتمع بجدواها الاجتماعية والاقتصادية.

تتمثل آثار هذه التقنية من الناحية الوطنية في إنعاش الريف وتنميته، أثرها على الصحة العامة، خلق فرص عمل مناسبة وتطوير مصادر الوقود.

1-10- الجدوى الاقتصادية:

توجد أسس علمية مرتبطة بالدراسات والتقييم الاقتصادي لنظم استخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي وتطبيقها بالمناطق الريفية، وتتضمن الدراسة الاقتصادية؛ دراسة خاصة بوضع وحالة سوق استخدام نظم إنتاج الغاز الحيوي، دراسة العناصر المؤثرة على تكلفة إنشاء النظام ودراسة التحليل المالي وتحديد قيمة التكلفة ومصادر التمويل. وقد دلت

العديد من الدراسات على الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذه التكنولوجيا خاصة في المناطق الريفية.

جدول (1 - 12): الاحتياجات من الغاز الحيوي للاستخدامات المختلفة:

الغرض	المواصفات	المعدل التقريبي لاستهلاك الغاز
الطبخ لأسرة متوسطة	خمسة أفراد	1.50 م^3/ يوم
موقد صغير	قطر 3 سم	0.23 م^3/ساعة
موقد متوسط	قطر 4.5 سم	0.30 م^3 / ساعة
موقد كبير	قطر 6 سم	0.39 م^3 / ساعة
فرن	متوسط الحجم	0.50 م^3 / ساعة
الإضاءة	كلوب برتينة واحدة	0.07 م^3 / ساعة
آلة احتراق داخلي	حصان	0.50 م^3 / ساعة
توليد طاقة كهربائية	كيلووات	0.80 م^3 / ساعة
ثلاجة تبريد	6 قدم ^{3}	1.20 م^3/ يوم
حضانة	قدم^3	0.015 م^3 / ساعة
دفاية مزارع دواجن	طول 60 سم	0.50م^3 / ساعة

المصدر: singh (1972)

1-10-1 الدراسات الميدانية:

تعتبر هذه الدراسات من الأهمية لتحديد حجم الطلب وتقدير مدى الحاجة إلى مصادر للطاقة عموماً واستخدام تكنولوجيا الغاز الحيوي على وجه الخصوص. وتتطرق هذه الدراسات إلى التعرف على بعض الجوانب الآتية:

1-توصيف للوضع الراهن للمخلفات وتحديد كمياتها وأنواعها وأسلوب استخدامها أو أسلوب التخلص منها. ودراسة مدى إتاحة هذه المخلفات للاستخدام في إنتاج الغاز الحيوي.

2-تحديد نوع وكمية مصادر توليد الطاقة المتاحة وأسلوب استخدام هذه المصادر وتحديد الفائدة من استخدام نظام الغاز الحيوي كمصدر بديل لهذه المصادر.

3- تحديد مدى ملائمة استخدام الأسمدة العضوية وإحلالها بدلاً من الأسمدة الكيماوية أو جزء منها وتقدير حجم العائد من ذلك.

4- دراسة أسلوب الصرف الصحي بالمنطقة وتحديد وضع الغاز الحيوي المنافس لهذا الأسلوب.

5- تحديد مدى توافر العمالة اللازمة لإنشاء وتشغيل نظام إنتاج الغاز الحيوي. وكذا العمالة المدربة على إصلاح وصيانة هذا النظام وتحديد مستويات الأجور لهذه العمالة.

6- تحديد مدى توافر مواد البناء اللازمة للإنشاء وكذا المستلزمات الأخرى ومعدات استخدام الغاز وتحديد أسعارها.

ومن الضروري أخذ الملاحظات التالية في الاعتبار عند تحليل وتقييم البيانات الميدانية، على الرغم من صعوبة تقدير القيمة المالية لها لإدخالها ضمن الدراسة الاقتصادية إلا أنه يمكن بإيجابياتها وسلبياتها ضمن موازين الدراسة الاقتصادية الأخذ بها بعين الاعتبار:

إ- تخزن المخلفات الزراعية والروث المجفف في معظم المناطق الريفية فوق أسطح المنازل وهذا يزيد من احتمالات انتشار الحرائق.

ب- يتم حرق هذه المخلفات مباشـــــــــــــرة في مواقد وأفران بدائية ومنخفضة الكفاءة (5 - 10 %) مما يؤدي إلى فقد نسبة كبيرة من طاقتها الكامنة.

ج - حرق المخلفات تسبب عنه تلوثاً ضاراً بالصحة لما تسببه من أمراض العيون والصدر ناجمة من الأدخنة الناتجة عن طريقة الحرق المستخدمة.

د - الحرق المباشر للمخلفات يؤدي إلى فقد كمية هائلة من المواد العضوية التي تصلح إما كعلف للحيوان أو كمادة تسميدية لازمة للأرض الزراعية.

هـ - نتيجة لتجمع المخلفات العضوية إما بالحظائر داخل المنازل أو بجوارها فإن ذلك يؤدي إلى توالد الحشرات والديدان وانبعاث روائح كريهة تؤثر مباشرة على البيئة المحيطة بهذه ال

و - ينتج بعد عملية التخمير اللاهوائي بقايا المواد العضوية محتفظة بكل العناصر التسميدية الموجودة أصلاً في هذه المخلفات من نيتروجين وفوسفور وبوتاسيوم والعناصر الأخرى بالإضافة إلى المادة العضوية المعروفة باسم " الدبال " وبذلك فهي تعتبر سماداً عضوياً عالي الجودة علاوة على خصائصه الفعالة في تحسين التربة. منازل.

ز - عملية التخمير اللاهوائي يتيح فرصة كبيرة لقتل الميكروبات الممرضة والطفيليات وبالتالي فإن القضاء على معظمها يؤدي إلى تحسين الظروف الصحية للمجتمع الريفي.

2-10-1 بعض البيانات الأساسية اللازمة للتقييم والحسابات الاقتصادية:

1- بيانات حرارية:

- القيمة الحرارية للروث الجاف = 2000 كيلو كالوري / كغ

- القيمة الحرارية للمخلفات الزراعية = 4000 كيلو كالوري / كغ

- القيمة الحرارية للكيروسين = 11000 كيلو كالوري / كغ

- القيمة الحرارية لغاز البوتان = 10900 كيلو كالوري / كغ

- متوسط القيمة الحرارية للغاز الحيوي = 5600 كيلو كالوري / م^3

= 4600 كيلو كالوري / كغ

مع الملاحظة أن القيمة الحرارية تختلف باختلاف نسبة ما يحتويه الغاز الحيوي من مواد قابلة للاشتعال مثل الميثان والهيدروجين.

كفاءة الاحتراق بالنسبة للروث الجاف والمخلفات الزراعية باستخدام الأجهزة التقليدية	= أقل من 10 %
كفاءة الاحتراق بالنسبة للكيروسين	= 50 %
كفاءة الاحتراق لغاز البوتان	= 60 %
كفاءة الاحتراق للغاز الحيوي	= 60 %

2- مواصفات المخلفات ونواتج الهضم:

- متوسط ما يخرجه الحيوان (أبقار كبيرة) يومياً من الروث = 10 كغ / يوم بنسبة حوالي 20 % مادة صلبة.

- المادة الصلبة العضوية بالروث تمثل 70 % من المادة الصلبة الكلية.

- المادة الصلبة العضوية الخارجة من الهاضم تساوي حوالي 70 % من المادة الصلبة العضوية الداخلة في الهاضم.

- نسبة محتوى العناصر في الروث الجاف هي كما يلي:

  - آزوت 1.45 % ولا يفقد شيئاً
  - فوسفور 0.45 % ولا يفقد شيئاً محسوب على أساس فو$_2$ أ$_5$

- بوتاسيوم 0.24 % ولا يفقد شيئاً محسوب على أساس بو^{2} أ

ـ نسبة الروث الناتج يومياً والقابل للاستخدام في وحدة الغاز الحيوي تعتمد على زمن بقاء الحيوان داخل الحظائر وكذا على كمية الروث الممكن تجميعها من خارج الحظائر.

ـ كمية الروث الجاف الناتجة يومياً تتناسب مع وزن الحيوان ونظام تغذيته ويمكن في المتوسط حساب كمية الروث الجاف الناتجة يومياً بمقدار حوالي 0.52 % من وزن الحيوان.

من المعروف أن التقييم الاقتصادي لأي مشروع يعتمد أساساً على تحديد قيمة ما ينفق على إقامة وإنشاء وإعداد هذا المشروع للتشغيل ومصاريف التشغيل السنوية، وتحديد قيمة العائد السنوي والمنفعة المتولدة من استخدام نواتج هذا المشروع. ثم مقارنة قيم المعدلات السنوية للإنفاق مع المعدلات السنوية للمنافع لكي يمكن تحديد قيمة وحجم المكسب أو الخسارة.

ويمكن اعتبار نظام توليد الغاز الحيوي كأحد هذه المشروعات مثله مثل مشروع إقامة أية منشأة صناعية أو خدمية يتحدد إقامتها اقتصادياً بقيمة المكاسب والمنافع العائدة منها. ولذلك فإنه من الأهمية إجراء دراسة الجدوى الاقتصادية لهذا النظام قبل تقرير إنشاؤه.

1-10-3- الأسس المتبعة للحساب والتقييم الاقتصادي لإقامة نظام لإنتاج الغاز الحيوي

1- تحديد تكاليف التأسيس والإنشاء للنظام.

2-ـ تحديد قيمة مصروفات التشغيل السنوية.

3- تحديد قيمة العائد من الانتفاع من هذا النظام.

4- ـتحديد نسبة الربح أو الخسارة.

1-10-3-1- تكاليف التأسيس والإنشاء

1- تكاليف تمهيد وتحسين وإعداد الموقع لإقامة المشروع.

2- تكاليف شراء خامات ومواد الإنشاء ومستلزماته ونقلها للموقع.

3- تكاليف البناء والإنشاء للهاضم وإعداد الحظيرة.

4- تكاليف مد شبكة التغذية والصرف.

5- تكاليف شبكة توزيع الغاز ومدها لنقاط الاستخدام.

6- تكاليف أجهزة استخدام الغاز.

1-10-3-2- مصروفات التشغيل السنوية

وتشمل كافة المصروفات الواجبة خلال السنة للمحافظة على تشغيل نظام إنتاج الغاز الحيوي تشغيلاً دائماً ومنتظماً.

1-10-3-3- العائد الاقتصادي السنوي

يتمثل العائد الاقتصادي المباشر الناتج من استخدام نظام إنتاج الغاز الحيوي في استخدام الغاز كمصدر نظيف للطاقة المنزلية والسماد العضوي، إضافة للعائدات الغير مباشرة، الصحية والاجتماعية.

1- حساب العائد من إنتاج الغاز الحيوي

حيث أنه تحت الظروف العادية (درجة حرارة 25˚ م وزمن بقاء داخل الهاضم 40 يوم وتركيز محلول التغذية 10 %) فإن كل 1 م3 من مخلوط التغذية ينتج 0.3 م3 غاز حيوي.

حجم الغاز المنتج يومياً = 0.3 × الحجم الفعال للهاضم.

حجم الغاز المنتج سنوياً = 0.3 × 360 ×الحجم الفعال للهاضم (ح) = 108 ح م^3

الطاقة الفعلية المتولدة = 108 ح × القيمة الحرارية للغاز الحيوي× كفاءة الاحتراق

= 108 ح × 5600 × 0.6 = 3.6 × 10^4 ح كيلو كالوري

الكمية المكافئة لغاز البوتان = 3.6×10^4 ح / 10900 × 0,6= 55.5 ح كغ / سنة

الكمية المكافئة من الكيروسين= 3.6×10^4 ح / 11000 × 0.5= 66 ح كغ / سنة

وتحسب قيمة العائد طبقاً للأسعار السائدة أو العالمية لأي من الكيروسين أو البوتان.

2- حساب قيمة العائد من السماد العضوي الناتج:

يتمثل هذا العائد في قيمة ما يحتويه المتخلف الناتج بعد عملية الهضم من عناصر تسميدية أساسية هي عناصر النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وبعض العناصر الصغرى الأخرى مثل الحديد والماغنسيوم والنحاس والزنك والمنجنيز هذا بالإضافة إلى تواجد المادة العضوية المعروفة باسم الدبال والتي من أهم خصائصها هو تحسين مواصفات التربة.

ويمكن حساب العائد من قيمة ما يتوافر من أسمدة كيميائية عند إحلال السماد العضوي محل هذه الأسمدة هذا بالإضافة إلى قيمة العائد من الزيادة في معدلات إنتاج المحاصيل الحقلية نتيجة استخدام السماد العضوي الناتج من وحدة إنتاج الغاز الحيوي والمتمثل في زيادة إنتاج هذه المحاصيل.

ومن المعروف أن جميع هذه العناصر التسميدية كانت تفقد بالكامل عند حرق المخلفات بالطريق المباشر وبالتالي فإن إتاحة استخدامها كسماد باستخدام متخلف الهضم وكذا أية مواد عضوية إضافية تضاف إلى هذا المتخلف بعد عملية الهضم يمثل عائداً اقتصادياً مجزياً.

ولحساب كميات العناصر السمادية المتولدة سنوياً من سماد ناتج الغاز الحيوي يجب أولاً معرفة كمية المادة الصلبة السنوية الناتجة من الهاضم ويتم ذلك طبقاً للحسابات التالية:

حجم التغذية اليومي = الحجم الفعال للهاضم/ زمن البقاء 40= ح $م^3$

وباستخدام تركيز 10 % من المادة الصلبة في التغذية وباعتبار كثافة محلول التغذية 1 طن / م3

وزن المادة الصلبة = 10ح / 400

وزن المادة الصلبة المستخدمة سنوياً = (400/360)×ح طن

= 0.9 ح طن

وباعتبار نسبة فقد في المادة الصلبة 30 % نتيجة الهضم نجد أن وزن المادة الصلبة الناتجة سنوياً = 0.63 ح

وبمعرفة أسعار الأسمدة الكيماوية يمكن حساب العائد من استخدام السماد الناتج من الغاز الحيوي. كذلك بمعرفة معدلات التسميد بالنسبة للفدان ونوع المحصول فإنه يمكن إضافة قيمة الزيادة في إنتاج المحصول إلى حساب العائد.

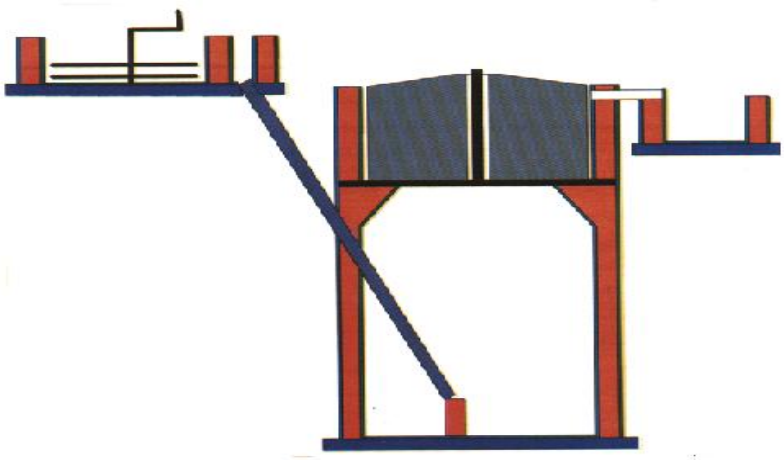
وتجدر الإشارة إن الحسابات الموضحة أعلاه هي على أساس كمية السماد الناتج من الهاضم فقط وفي بعض الأحيان سيتم إضافة كمية من المخلفات العضوية على هذا السماد وتترك للمعالجة الهوائية مما يزيد من كمية السماد وبالتالي من كميات العناصر السمادية الناتجة.

1-11- أنواع المخمرات

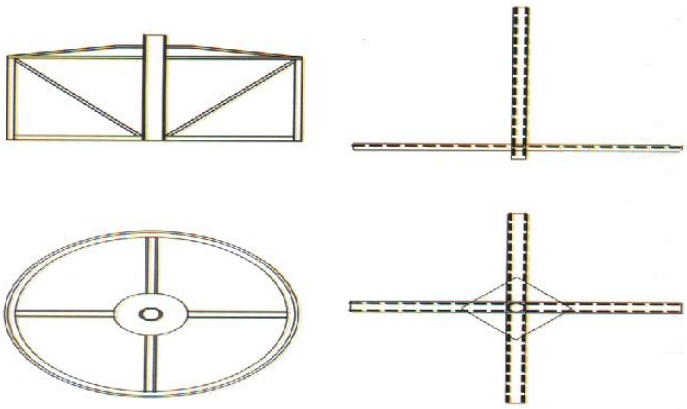
1- المخمرات ذات الخزان الطافي (النموذج الهندي)

يعتبر هذا النوع من المخمرات الأكثر انتشاراً في الهند, كما ينتشر استخدامه في معظم أنحاء العالم نظراً لسهولة إنشائه وتشغيله، وهذا النوع من المخمرات عبارة عن منشأ أسطواني الشكل مبني من القرميد تحت سطح الأرض وعلى أعماق كبيرة تصل حتى أربعة أمتار الشكل(1-6), ويغطى المبنى بخزان معدني طافي مفتوح من الأسفل ومغلق من الأعلى, بحيث يسمح باستقبال وتخزين الغاز. وتتم تقوية الخزان المعدني من الداخل بزوايا حديدية الشكل (1-7), وتتم حركة الخزان للأعلى والأسفل بمعاونة دليل

معدني مثبت في منتصف القاعدة الحديدية للخزان. ويحتوي المخمر بالنسبة للأحجام الكبيرة على فاصل أو أكثر لتحسين كفاءة الهضم في المخمر.



الشكل(1-6) المخمرات ذات الخزان الطافي (النموذج الهندي)



الشكل (1-7) دليل وخزان الغاز للنموذج الهندي

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

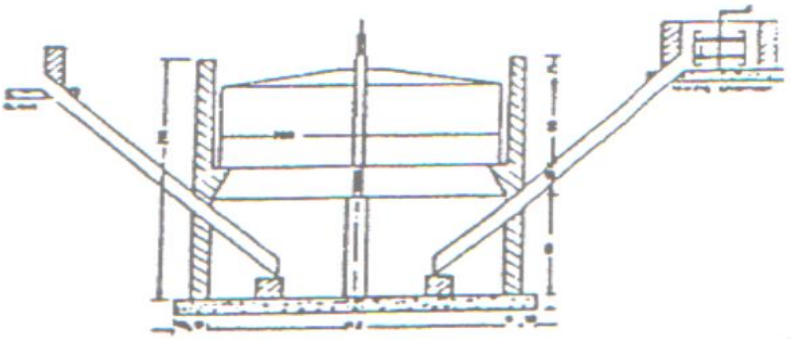
الخروج. وعلى الرغم من سهولة إنشاء وتشغيل المخمر الهندي إلا أن له كثير من العيوب وهي:

1- ارتفاع تكلفة الإنشاء والصيانة نظراً لوجود الخزان المعدني المرتفع التكاليف, والذي يتآكل مع الصدأ ويحتاج بالتالي لصيانة مستمرة.

2- العمق الكبير للمخمر والذي لا يقل عن أربعة أمتار, والذي يجعله غير ملائم للمناطق ذات المياه السطحية المرتفعة.

2- النموذج الهندي المعدل

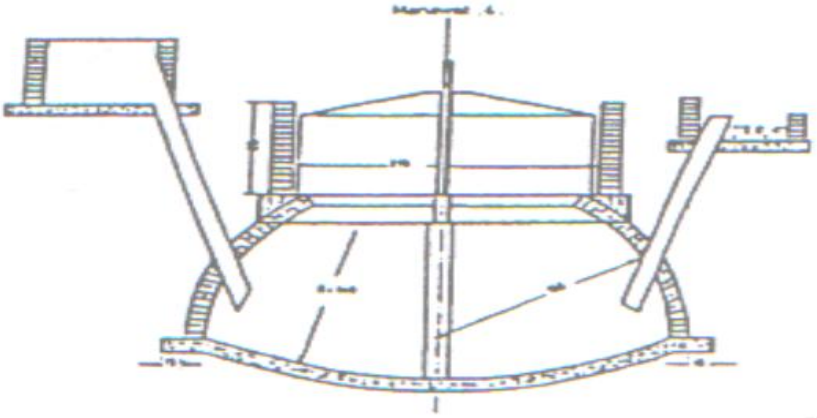
تم إجراء تطوير على الطراز الهندي, حيث تم تغيير النسبة بين الارتفاع والقطر, وذلك بتغيير ارتفاع المخمر. مما يسمح باستخدامه في المناطق ذات المياه السطحية المرتفعة الشكل(1-8).



الشكل(1-8) وحدة إنتاج غاز حيوي طراز هندي معدل

3- نموذج بوردا الهندي المعدل:

تم إنشاء الجزء السفلي من هذا النوع من المخمرات على شكل نصف كرة الشكل(1-9)، مما ساعد على تقليل الأعمال اللازمة للحفر والتوفير في المواد الإنشائية اللازمة. أما القاع فيكون على شكل جزء من كرة للمساعدة في تحمل ضغط المياه السطحية.



الشكل(1-9) مخمر طراز بوردا هندي معدل

4- المخمرات ذات الخزان الثابت (النموذج الصيني):

هناك العديد من التصميمات الصينية المضغوطة بالماء، وإن كان أشهرها وأكثرها انتشاراً هو المصمم على شكل قبة من الأعلى. والمخمر عبارة عن قاعدة خرسانية كروية الشكل يعلوها جزء أسطواني يبنى من الطوب أو من خرسانة معدنية الشكل(1-10)، أما السقف فهو على شكل قبة ويبنى من الطوب أيضا. ويزود المخمر بماسورة للتغذية تسمح بمرور الروث المحلول بالماء بعد خلطه في حجرة التغذية. وأيضاً يتم وصل ماسورة الخروج بحجرة الخروج. ويتوسط القبة العلوي غطاء خرساني يسمح بالدخول للصيانة ويثبت في هذا الغطاء ماسورة خروج الغاز الشكل (1-11). يعمل الجزء السفلي من المخمر كمنطقة تخمير بينما يعمل الجزء العلوي كخزان غاز. عند تجمع الغاز في المنطقة العلوية فإن الضغط يرتفع مسبباً إزاحة السائل من المخمر إلى حجرة الخروج, وعند سحب الغاز فإن الضغط ينخفض داخل المخمر, وهذا يدل على إن ضغط الغاز في النظام الصيني متغير, وذلك بعكس النظام الهندي ذو الضغط الثابت.

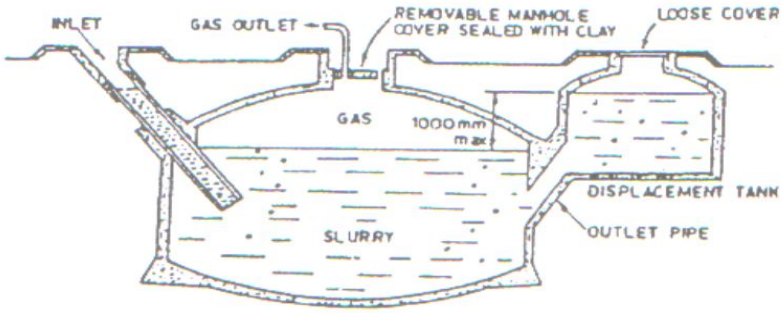
وأهم ما يتميز به هذا النوع من المخمرات هو:

1- انخفاض تكلفته والتي تصل إلى حوالي النصف من تكلفة المخمر الهندي.

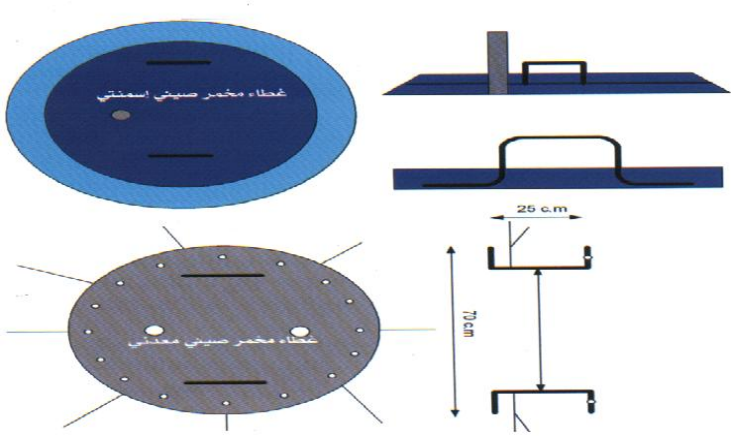
2- صعوبة الإنشاء والاحتياج إلى عمالة ماهرة ومدربة.

3- يحتاج إلى عمالة في نضح المحلول المتخمر من حجرة الخروج.

4- انخفاض إنتاجية الغاز نظراً للفقد الكبير في الغاز من حجرة الخروج.



الشكل(1-10) مخمر ذو طراز صيني



الشكل (1-11) غطاء المخمر الصيني الإسمنتي والمعدني

5- النموذج المعدل المصري – الصيني:

تم تطوير هذا المخمر لتدارك العيوب في المخمر الصيني, والمخمر عبارة عن نصف كرة مبني من الطوب الأحمر والقاعدة خرسانية كروية الشكل أو مخروطية الشكل(1-12), وفيه حجرتا الدخول والخروج متجاورتان ومسخنتان بالطاقة الشمسية.

ويناسب هذا المخمر النماذج العائلية والجماعية بحجم (5-30) م2. ويتميز هذا المخمر بالمزايا التالية:

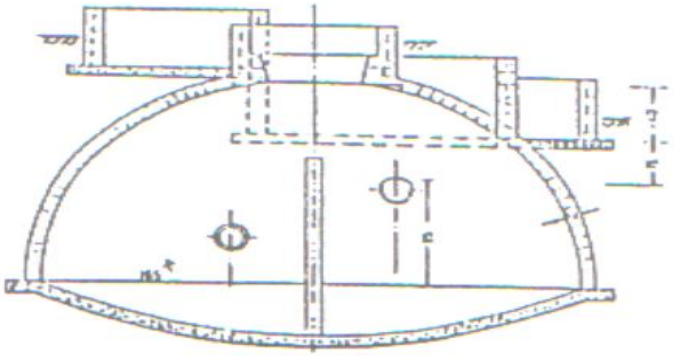
1- يحتاج إلى أعماق أقل من التصميم الصيني وبذلك فهو أكثر ملائمة للأرض التي يصعب فيها الحفر أو في حالة ارتفاع منسوب المياه السطحية.

2- سهولة الإنشاء وقلة التكاليف اللازمة.

3- ارتفاع معدلات إنتاج الغاز.

4- زيادة إمكانية تخزين الغاز.

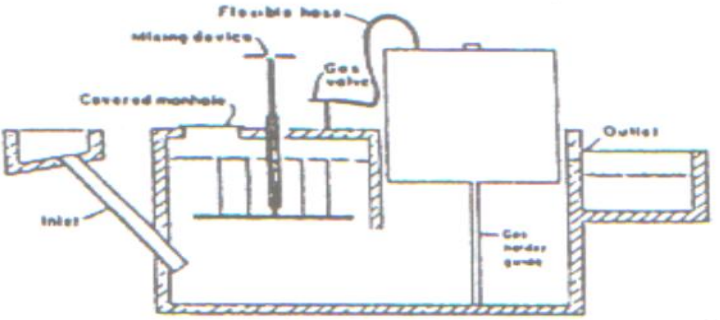
5- ينساب المحلول المتخمر تلقائياً تحت تأثير ضغط الغاز مما يوفر العمالة والجهد اللازم لذلك.



الشكل(1-12) مخمر ذو طراز مصري – صيني

6- المخمرات ذات النوع الأفقي (الطراز الفلبيني):

تكون هذه الوحدات مستطيلة الشكل وتنتهي بخزان غاز من النوع الطافي في الوحدات الصغيرة الشكل(1-13), أما في الوحدات الكبيرة فإن خزان الغاز يكون منفصلاً. وقد تم تطوير هذا النوع من المخمرات في شركة مايا فارم في الفلبين, ويتميز هذا النوع من المخمرات بملائمته للمناطق التي يصعب إنشاء الوحدات فيها على أعماق كبيرة مثل ارتفاع المياه السطحية أو صعوبة الحفر. لكن من أهم مساوئ هذه المخمرات:



الشكل (1-13) مخمر ذو طراز فلبيني

1- ارتفاع التكلفة بالنسبة للأحجام الصغيرة.

2- احتمالات تسرب الغاز من السقف الخرساني ولذلك فهي تحتاج إلى عناية خاصة في الإنشاء والتشطيب.

7- المخمرات البلاستيكية:

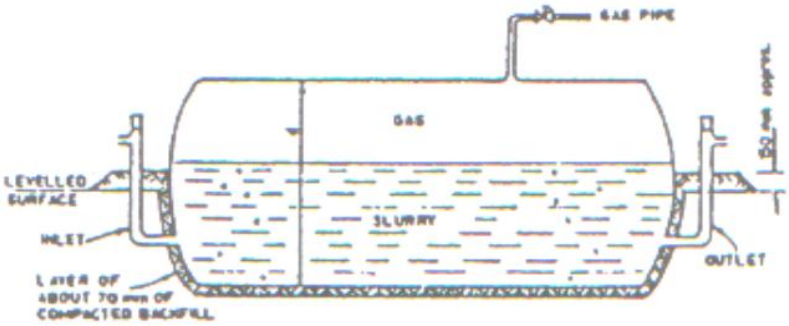
تصنع هذه الوحدات في عدد من دول العالم, وتكون عادةً أسطوانية الشكل وبها ماسورة للدخول وماسورة أخرى لخروج المحلول المتخمر وماسورة لخروج الغاز الشكل(1-14). ونظراً لأن هذه الوحدات جاهزة فإن تركيبها سهل وسريع, حيث يتم حفر خندق ملائم لحجم الوحدة، ويتم تثبيت ماسورتي الدخول والخروج في حجرتي الدخول والخروج. وتستخدم الوحدة عادةً للتخمير وتخزين الغاز, حيث يستخدم الجزء العلوي كخزان غاز. ولرفع الضغط توضع أحمال فوق الجهاز. وأهم مساوئ هذه المخمرات هو سهولة تمزيقها وتلفها, ولكن مزاياها هي:

1- جاهزة حيث يسهل الاستخدام والنشر.

2- تكلفتها منخفضة نسبياً.

3- درجة حرارة التخمير أعلى نظراً لاستفادتها من الطاقة الشمسية وتبعاً لذلك فإن معدلات إنتاج الغاز الحيوي أعلى.

وتجدر الإشارة إلى أن تايوان قامت بإنتاج نوع من هذه المخمرات مصنوع من البولي فينيل كلورايد (p. v. c) المخلوط مع مخلفات صناعة الألمنيوم, ويتميز هذا النوع من المخمرات بتحمله الطويل للظروف الجوية, كما يسهل لصقه في حالة حدوث تمزق أو ثقب, ويجري استخدام هذا النوع حالياً في دول كثيرة, ويصل عمره إلى عشر سنوات أو أكثر.



الشكل(1-14) مخمر حيوي بلاستيكي

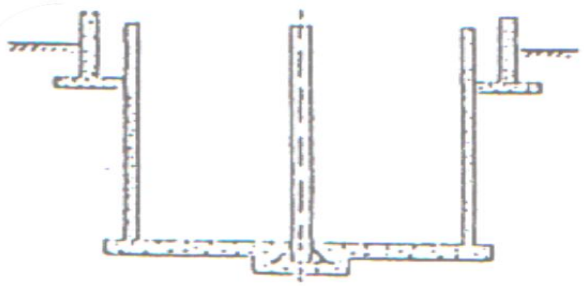
8- المخمرات ذات التخمير الجاف:

يطلق التخمير الجاف على العمليات التي يستخدم فيها نسبة مرتفعة من المواد الصلبة تزيد عن (20%)، وهي عادةً تستخدم لتخمير المخلفات الجافة مثل المخلفات والقمامة. وعلى ذلك فإن التخمير الجاف يمكن أن يساعد على توفير الغاز الحيوي في حالة نقص المخلفات الحيوانية. وهذا النوع من الوحدات عبارة عن حجرة تخمير من الخرسانة أو الطوب ويعلوها خزان معدني أو بلاستيكي الشكل(1-15), ويعمل هذا النوع من المخمرات بنظام التغذية المتقطعة. وللحصول على إمداد مستمر من الغاز فإنه يلزم إنشاء وحدتين لتعمل أحدهما وقت تفريغ وإعادة شحن الأخرى. وأهم عيوب هذا النوع من المخمرات هو ارتفاع تكلفة الإنشاء وارتفاع تكلفة العمالة اللازمة للتعبئة والتفريغ، أما مزايا هذا النوع من المخمرات فهي:

1- إمكانية إنتاج الغاز الحيوي دون الاعتماد على الحيوانات.

2- إمكانية إنشاء الوحدات بعيداً عن المنازل في حالة تعذر إقامتها بجوار المنزل.

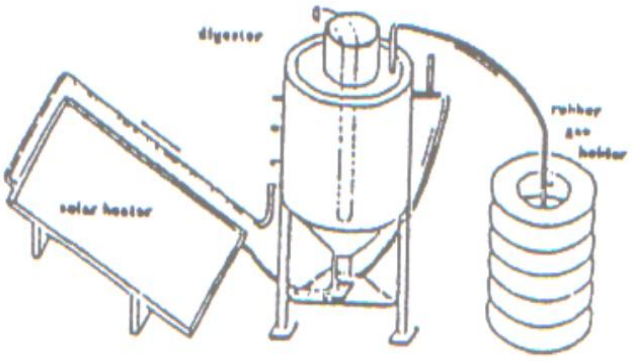
3- إنتاج كميات إضافية من السماد.



الشكل (1-15) مخمر من النوع الجاف

9- المخمرات الجاهزة المسخنة بالطاقة الشمسية:

تصنع هذه من المخمرات من المعدن أو البلاستيك وبأحجام صغيرة من (1-2) م3 , ويتم تسخين هذا النوع من المخمرات بالطاقة الشمسية ومن أهم مزايا هذا النوع من المخمرات الشكل (1-16):



الشكل(1-16) مخمر من النوع الجاهز المسخن بالطاقة الشمسية

1- مصنعة بشكل جاهز وبالتالي يسهل نشرها في المجتمعات الريفية.

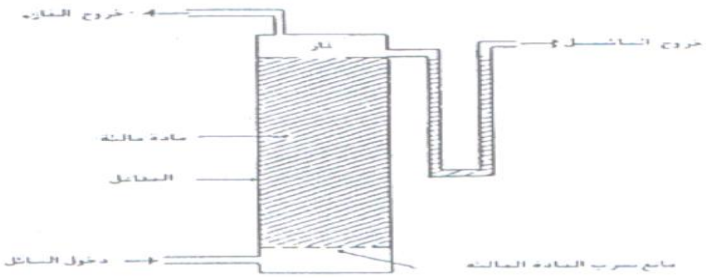
2- إنتاج كمية غاز تكفي لأسرة اعتماداً على مخلفات حيوانين فقط.

3- صغيرة الحجم وبالتالي يسهل إيجاد مكان لها.

4- تثبت فوق سطح الأرض وبالتالي فهي تلائم حالات ارتفاع مستوى المياه السطحية, والتربة التي يصعب الحفر فيها.

10- المرشحات اللاهوائية:

تعتمد على فكرة التصاق الخلايا الميكروبية على مواد مناسبة غير قابلة للتحلل ومسامية تعمل كحوامل للميكروبات, مع إعطاء مساحات كبيرة لنمو ونشاط الميكروبات لتقوم بها ضمن المواد العضوية الموجودة بالسوائل عند مرورها, وبذلك يمكن تصغير حجم الوحدة والتحكم في سرعة مرور السوائل والتحكم في نسبة هدم المواد العضوية، ويستخدم هذا النظام في معالجة سوائل الصرف الصحي, وغالباً ما يستخدم في محطات المعالجة نفسها. وتتألف الوحدة من مفاعل أسطواني ذو قاع مثقب الشكل(1-17)، تحتوي على المواد الحاملة للميكروبات, ومن فتحة الدخول في الأسفل حيث يمر السائل بطول المفاعل على الميكروبات المسؤولة عن الهدم وإنتاج الغاز. ويتميز هذا النوع من المخمرات بالميزات التالية:



الشكل(1-17) المرشحات اللاهوائية

1- فترة إنتاج الغاز بضع ساعات (9-10) ساعات.

2- إمكان معالجة كميات كبيرة من السوائل في حيز صغير.

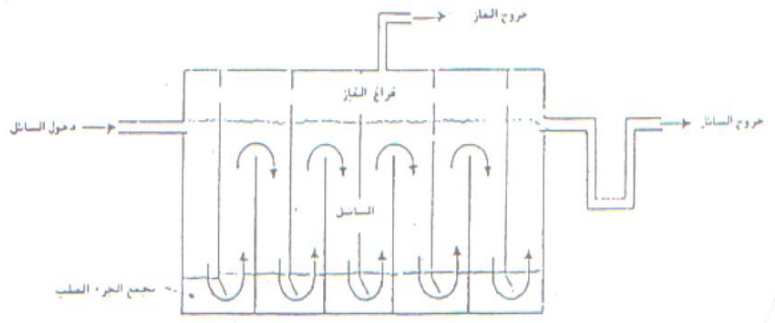
3- التحكم بسهولة بمعدلات الهدم.

4- تلقيح المفاعل بالميكروبات بعد بدء التشغيل ويستمر نشاطها خلال العمل.

5- معدلات عالية في إنتاج الغاز من حيث الكفاءة وكبر مساحة التلامس.

11- المخمرات ذات الحواجز:

يعتبر هذا النوع من التصاميم الحديثة للمخمرات، ويتألف من مخمر مستطيل الشكل محكم ومقسم إلى (5-6) غرف متساوية الحجم تفصلها قواطع (حوائط غير كاملة) من أعلى ومن أسفل المخمر بالتبادل الشكل(1-18)، بحيث تنساب المادة العضوية بحسب نظرية الأواني المستطرقة من خلال الجزء غير الكامل في الحوائط, والتي تلتصق وتنمو بجانبها الميكروبات المسؤولة عن التفاعل وإنتاج الغاز, بالإضافة للميكروبات العالقة في السائل نفسه. يمتاز هذا النوع من المخمرات بما يلي:



الشكل(1-18) وحدة التخمير ذات الحواجز

1- نجاحه في معالجة المخلفات العضوية السائلة والتخلص من (80- 90%) من المواد العضوية الموجودة فيها.

2- إنتاجية من الغاز (2.9 حجم الغاز / حجم المخمر / يوم), وذلك عند متوسط درجة حرارة خارجية (35) م ^{o}.

3- يعتبر البديل الأفضل للمرشحات اللاهوائية وذلك للأسباب التالية:

4- كفاءة المخمر في معالجة كميات كبيرة من المخلفات.

5- معدلات عالية لإنتاج الغاز الحيوي.

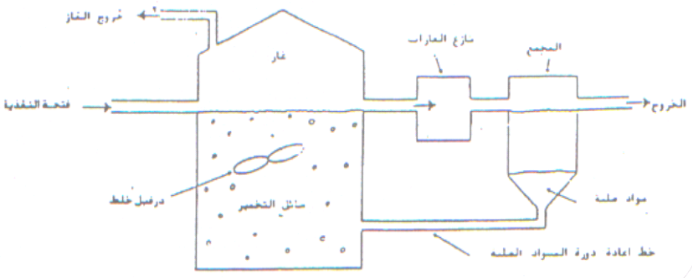
12- المخمرات ذات التلامس اللاهوائي:

يعتمد المبدأ الأساسي لهذا المخمر على رفع كفاءة التفاعل عند أقل مستوى ممكن من المادة العضوية. ويتألف من: مخمر وبداخله خلاط, ويركب على فتحة الخروج مانع لتسرب الغاز, بالإضافة إلى خزان ترسيب شكل قمع الشكل(1-19)، حيث تعاد المادة المترسبة للمخمر مرة أخرى لاستكمال عملية التفاعل. ويمتاز هذا النوع من المخمرات بالميزات التالية:

1- يحقق الاستفادة الكاملة من كل المادة العضوية حيث تصل نسبة المعالجة إلى 95%.

2- فترة إنتاج الغاز بعد 12 ساعة فقط من بدأ التشغيل عند متوسط درجة حرارة خارجية (25) م.

أما مساوئ هذا النوع من المخمرات: معقد التصميم, صعوبة عمليات التشغيل وارتفاع التكلفة. يعتبر هذا النوع من المخمرات النظام الأفضل لمعالجة المخلفات السائلة في مصانع الأغذية.

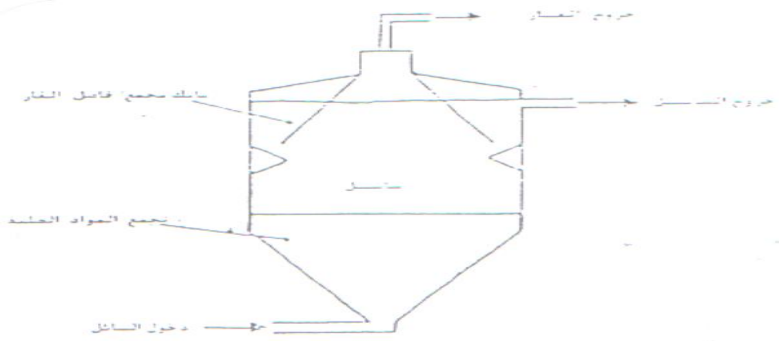


الشكل (1-19) المخمر ذو التلامس اللاهوائي

13- المخمرات ذات التغذية السفلية:

يعتبر أحدث نوع من المخمرات لإنتاج الغاز الحيوي. ويتألف من حوض دائري ذو قاع على شكل القمع في نهايته فتحة تغذية السائل الشكل(1-20)، ويوجد في الأعلى

غطاء معدني بشكل قمع مقلوب يرتكز على قاعدة, بحيث يرتفع الغطاء بفعل الضغط عند بدء إنتاج الغاز الحيوي. يمتاز هذا النوع من المخمرات:



الشكل(1-20) وحدة التخمير ذات التغذية السفلية

1- الشكل التصميمي القمعي يسمح بترسيب المواد العضوية غير المهضومة جيداً وخلطها مع الرواسب النشطة.

2- فترة إنتاج الغاز (3.5 ساعة).

3- معدلات عالية لإنتاج الغاز الحيوي.

4- ويعتبر هذا النوع من المخمرات هو النظام الأفضل في معالجة المخلفات السائلة لمصانع البطاطا.

1-12- تصميم شبكة نقل الغاز الحيوي

تستخدم عادة أنابيب مصنوعة من الحديد المجلفن أو البولي فينيل كلوريد في عمليات الأمداد والتوزيع للغاز الحيوي المنتج, وذلك تجت ضغط الغاز في خزان الغاز أو باستخدام مضخة تسريع. ويجب الأخذ بالأمر التالية عند تصميم وانشاء شبكة التوزيع الغازي:

1- ضغط الغاز في الشبكة يجب إن يكون تقريباً ثابتاً, وهذا متعلق بقطر الأنابيب المستخدمة , طول المسافة ومعدل استهلاك الغاز.

2- استخدام مصايد مياه, وذلك للتخلص من المياه المتكاثفة داخل الانابيب, والتي قد تؤدي إلى انسدادها, وبالتالي قطع الأمداد بالغاز.

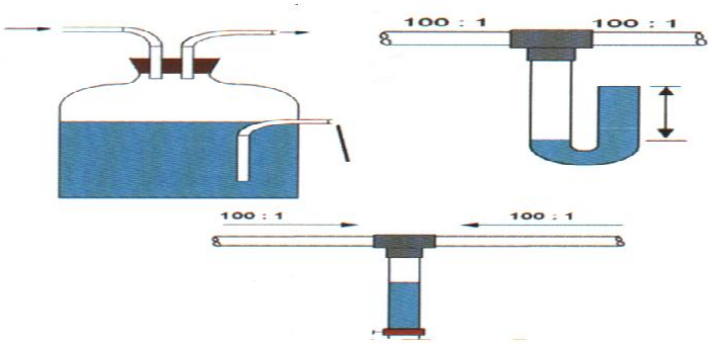
3- عدم السماح للغاز بالرجوع العكسي للهب, وذلك باستخدام صمام عدم رجوع للهب.

1-12-1 تحديد قطر خط الغاز

يمكن تحديد قطر أنابيب الغاز بالاعتماد على المعدل الأعظمي لجريان الغاز في الأنبوب, نوع الأنابيب المستخدمة, ضغط الغاز في الخزان, طول الخط المستخدم ومقدار فقدان الضغط المحدد.

1-12-2- تصفية المياه المتكثفة

يكون الغاز المنتج مشبعاً ببخار الماء, ولهذا عند مروره بأنابيب الشبكة يتكاثف ويتجمع فيها, ويكون هذا الماء سبباً في انخفاض الضغط لذلك يجب تركيب انابيب نقل الغاز بميول اسم لكل 1م من طول الأنابيب, بغية تسهيل تجمع الميا ه وبالتالي وضع مصائد مياه للتخلص منها. يبين الشكل (1-21) بعض أنواع مصائد المياه.

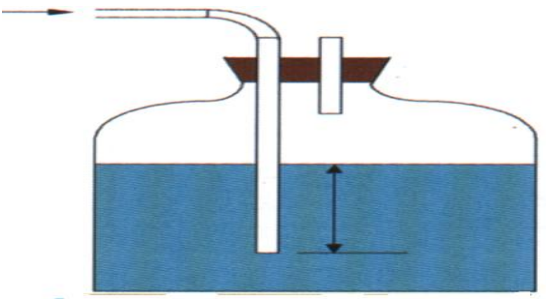


الشكل (1-21) بعض أنواع مصائد المياه

1-12-3- موانع اللهب و صمامات الأمان

تزود أنابيب نقل الغاز بموانع لهب لحماية خزان الغاز من خطر الانفجار, وذلك عند حدوث تيار عكسي للهب, وموانع اللهب هي عبارة عن شبكة دقيقة الثقوب من

النحاس أو أي معدن آخر لا يصدأ. وعند ارتفاع الضغط في المخمرات وخاصة البلاستيكية منها يفضل استخدام صمام أمان, وهو عبارة عن أنبوبة مغمورة في وعاء ماء مغلق وبجانبها أنبوبة أخرى غير مغمورة, بحيث يكون طول الجزء المغمور بالماء يساوي الحد الأعظمي للضغط المسموح به الشكل (1-22), عند أرتفاع الضغط يدفع الماء من الوعاء ويخرج من الأنبوبة العلوية. وبالتالي ينخفض الضغط إلى الجد المسموح به.



الشكل (1-22) صمام أمان

1-12-4- منظمات الضغط

المخمرات ذات الخزان الطافي لا تحتاج لمنظمات الضغط لأن ضغطها يكون ثابت تقريباً, على عكس المخمرات الصينية التي يتغير فيها الضغط في حدود (20-100) سم عمود ماء. وتغير الضغط يؤثر على كفاءة معدات الاستخدام للغاز, وبالتالي يفضل استخدام منظم غاز على أن يوضع قبل معدات استخدام الغاز مباشرة لتقليل الفقد في الضغط.

1-13- معدات استخدام الغاز الحيوي

1-13-1-المواقد:

يمكن استخدام المواقد الغازية التي يستخدم الغاز الطبيعي ولكن بعد تطويرها لتلائم استخدام الغاز الحيوي، وفي حال تعديل مواقد الغاز الطبيعي لتعمل بالغاز الحيوي يراعى ما يلي :

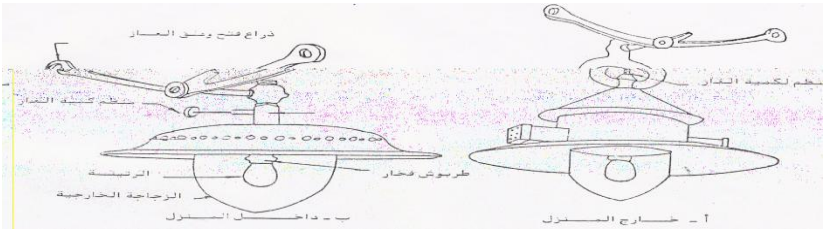
1-الطاقة الحرارية للغاز الحيوي أقل من مثيلتها للغاز الطبيعي بالنسبة لوحدة الحجم، وعلى ذلك فهناك ضرورة لتوسيع فتحة خروج الغاز (الفونية) للحصول على نفس كمية الحرارة.

2-كمية الهواء الأولى لحرق الغاز حرقاً كاملاً أقل بالنسبة للغاز الحيوي عند مثيلتها في حالة الغاز الطبيعي، لذلك يجب تصغير فتحة دخول الهواء.

3-سرعة اللهب بالنسبة للغاز الحيوي أقل بكثير من مثيلتها في الغاز الطبيعي، ولذلك يجب تقليل سرعة خروج مخلوط الغاز والهواء من فتحات اللهب حتى لا ينقطع اللهب، ويتم ذلك بتوسيع فتحات اللهب كما هو مبين في الجدول (1-13)، وعادة تحقق هذه التعديلات كفاءة مقبولة للموقد, وإن كان يفضل تصميم مواد خاصة تعمل باستخدام الغاز الحيوي حتى يمكن الوصول إلى الكفاءة القصوى.

1-13-2- مصابيح الإضاءة:

يستخدم الغاز مباشرة في تشغيل مصابيح الإضاءة الشكل (1=23)، ويمكن تعديل المصابيح الموجودة كما في المواقد, ويحتاج المصباح إلى حوالي (100-120) لتر غاز في الساعة، وعلى ذلك فإن قطر فتحة الغاز تعدل لحوالي (1-0.8) مم بالنسبة لضغط غاز يعادل 10سم عمود ماء.



الشكل(1-23) مصابيح وحيدة الشعلة

الجدول(1-13) التعديلات على المواقد لتلائم استخدام الغاز الحيوي

المواصفات	الموقد الكبير قطر 6سم	الموقد المتوسط قطر 4.5سم	الموقد الصغير قطر 3سم	الفرن
استهلاك الغاز لتر/ساعة	390	300	230	500
قطر فتحة الغاز مم لضغط 25سم عمود ماء	1.6	1.4	1.2	1.8
قطر فتحة الغاز مم لضغط 10سم عمود ماء	2	1.8	1.5	2.3
قطر فتحة الهواء الأولى مم	5	4	3	6
عدد فتحات الاشتعال	23	28	20	80
قطر فتحات الاشتعال	4	4	4	3

1-13-3- التسخين والتبريد

يستخدم الغاز الحيوي في جميع أشكال التسخين والتدفئة, وذلك بتعديل المعدات المستخدمة لتلائم الغاز الحيوي. كما يمكن استخدام الغاز الحيوي بعمليات التبريد عن

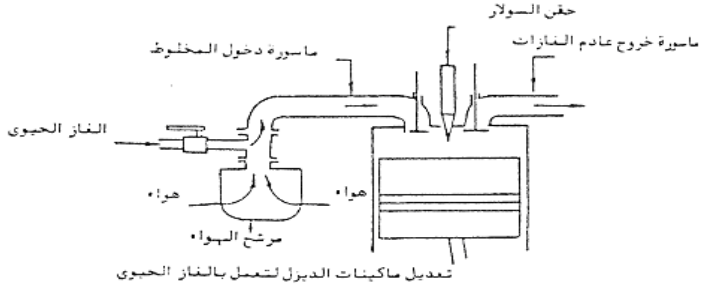
طريق استعمال الدارة الامتصاصية, والذي يتم فيها تسخين محلول التبريد بدلاً من ضغطه.

1-13-4- إنتاج الطاقة الميكانيكية:

يعتبر الغاز الحيوي وقوداً جيد لتشغيل المحركات المكبسية بكافة أنواعها، ويستخدم الغاز الحيوي في تسيير السيارات وذلك بعد ضغطه في اسطوانات تحت ضغط (166) بار, وقد هذه العملية بنجاح في الصين والفلبين. ولكن يفضل استخدام الغاز في تشغيل المحركات الثابتة مثل مولدات الكهرباء ومضخات المياه. يحسن استخدام الغاز من عملية الاحتراق, حيث تخفض كمية الدخان وتقل نسبة أول أكسيد الكربون فيه, ويمكن إنتاج (1) حصان باستخدام حوالي 0.5م3 غاز حيوي في الساعة.

1- تعديل محركات الديزل:

تعمل محركات الديزل بكفاءة عالية بمخلوط الديزل والغاز، ومن الضروري استخدام (5-10%) من وقود الديزل في بداية الاشتعال، وعلى ذلك فإن المحرك يمكن أن يعمل بانتظام باستخدام (90%) غاز حيوي. وتنتج حاليا في الصين محركات ديزل تعمل على مخلوط الديزل والغاز الحيوي, ويتم تعديل محركات الديزل بعمل وصلة للتغذية بالغاز بين مرشح الهواء وماسورة الدخول الشكل(1-24).



الشكل(1-24) آلية تعديل محرك الديزل ليعمل على خليط الديزل والغاز الحيوي

وعادة يتم تشغيل المحرك أولا حتى يسخن ثم يفتح محبس الغاز تدريجياً، وبالتوافق يعمل المنظم على تقليل كمية الديزل المغذي, وعلى ذلك يمكن لمحركات الديزل أن تعمل بأي نسبة من الغاز بحدود (10-90%) من الوقود الكلي، حيث يمكن اختيار النسبة الملائمة لكمية الغاز المنتجة. وعند إيقاف المحرك يفضل إغلاق الغاز أولا ثم تترك الآلية تعمل على الديزل لفترة زمنية معينة لإزالة أية آثار من أكاسيد الكبريت الناتجة عن احتراق الغاز الحيوي الحاوي على مركبات الكبريت.

2- تعديل محرك البنزين:

يمكن لمحرك البنزين أن يعمل (100%) على الغاز الحيوي، إلا أنه يفضل أن يعمل أولا على البنزين للسهولة, ثم يتم التعديل بتركيب وصلة للإمداد بالغاز وخلطه وذلك بين فلتر الهواء والفحم، والوصلة شبيهة بالوصلة في محرك الديزل, وهي عادة من الألمنيوم وتكلفتها زهيدة, تعمل الآلية على البنزين حتى تسخن ثم يغلق صمام البنزين ويفتح صمام الغاز تدريجيا, ويفضل بعد 0.5 دقيقه حتى يكون البنزين قد استهلك، ثم تضبط فتحة الغاز المطلوبة. ويفضل أن يتم التحويل من البنزين إلى الغاز والمحرك محمل نصف تحميل حتى لا تتسبب كمية الغاز الزائدة في البداية من إعاقة التشغيل, وأيضا تشغيل المحرك على البنزين قبل إيقافه كما في محرك الديزل .

3= إنتاج الطاقة الكهربائية:

يمكن إنتاج الطاقة الكهربائية من الغاز الحيوي باستخدام المولدات المدارة بمحركات الديزل أو البنزين, ويحتاج كل كيلووات ساعي إلى حوالي 0.6-0.7م3 غاز, ويمثل إنتاج الطاقة الكهربائية والميكانيكية أهمية اقتصادية خاصة بالنسبة لوحدات إنتاج الغاز الحيوي, حيث يمكن أن تستخدم الطاقة المفقودة في تبريد الأسطوانات وطاقة العوادم في ضبط درجة حرارة المخمر ومن ثم رفع كفاءته بأقل التكاليف.

13-1- صيانة الأعطال في المخمرات اللاهوائية

إن نجاح استخدام أي جهاز واستمراريته يرتبط بإجراء أعمال الصيانة اللازمة على الوجه الأكمل. ويمكن تقسيم أعمال الصيانة إلى مجموعتين:

- مجموعة إعمال الصيانة الدورية.
- مجموعة أعمال الصيانة الخاصة سواءً في عملية التشغيل المبدئي أو المنتظم.

أولا-الصيانة الدورية:

1- وحدات إنتاج الغاز الحيوي ذات النموذج الصيني المعدل (المضغوط بالماء):

عادة لا يحتاج هذا النوع إلى صيانة دورية لعدم وجود أجزاء معدنية, ولكن الأجزاء الظاهرة لها مثل الغطاء المعدني أو غرفة التغذية والخروج قد تحتاج إلى ترميمات بسيطة في حال حدوث بعض الأضرار بها، وتحتاج الأنابيب البلاستيكية إن وجدت إلى تبديلها مرة كل ثلاث سنوات

تتعرض مواقد الغاز للصدأ الخفيف, وتتكون طبقة تعيق جريان الغاز سواء في الطربوش أو ثقب خروج الغاز, لذلك يجب معالجة الصدأ وفتح الثقوب كل عدة أشهر مرة حتى لا تؤثر على اشتعال الغاز، علماً بأن هذا النوع من المخمرات تقل أعطالها كثيراً عن الوحدات الهندية ذات الخزان المعدني الطافي في حالة الإنشاء الجيد.

2- وحدات إنتاج الغاز الحيوي ذات النموذج الهندي والهندي المعدل (الخزان الطافي):

إن أهم جزء في هذا النوع من المخمرات معرض للتلف وهو الخزان المعدني نتيجة التآكل، لذلك يجب صيانة الخزان مرة كل سنة وذلك بإعادة طلائه، وتجري عملية الطلاء بإتاحة الفرصة للخزان لكي يطفو إلى أقصى ارتفاع فوق المخمر وذلك بوقف استخدام الغاز, ثم يتم إزالة المواد العضوية العالقة عليه, وبعد ذلك يخضع لعملية صنفرة جيدة لإزالة المواد العالقة والدهان المتآكل، كما ويجب ترميم الأطراف البارزة إن وجد بها عيب وكذلك غرفة التغذية.

يجب تحريك الأنبوب المرن الموصل بين المخمر وخط الغاز، لأنه يجمع أحياناً مياه تعيق جريان الغاز, وذلك برفعه إلى الأعلى حتى تتم تصفيته، وبشكل عام يجب الكشف على كامل التوصيلات البلاستيكية إن وجدت وتبديلها إذا لزم الأمر.

في حالة وجود عدادات غاز على خط الغاز قد يتجمع بها مياه، لذلك يجب فكها وتصفيتها مرة كل ستة أشهر، والتأكد من مصافي المياه خصوصاً في فصل الصيف حيث يمكن أن تجف، وكذلك التأكد من مواقد الغاز والكشف على الطربوش، وفتحة خروج الغاز.

ثانيا ـ الأعطال المحتملة وكيفية إصلاحها:

1- أعطال بدء التشغيل:

العطل	السبب	الإصلاح
المخمر لا ينتج غاز.	عدم وجود بكتريا كافية.	إضافة بادئ أو الانتظار بعض الوقت حتى تتكاثر البكتيريا، وقد يستغرق ذلك أسبوعين أو ثلاثة أسابيع.
	انخفاض درجة الحرارة.	استخدام الطرق الملائمة للتسخين. الانتظار حتى تتكاثر البكتيريا.
	بعض الفتحات في المخمر غير مغمورة بالماء.	استكمال التغذية حتى تغلق الفتحات المسربة للغاز في المحبس.
	مصفاة المياه فارغة.	ملء المصفاة بالمياه.
	تسرب في غطاء المخمر	الكشف على مكان التسرب بواسطة محلول الصابون وإصلاحه.

الغاز لا يشتعل	ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغاز.	تهوية الغاز والانتظار بعض الوقت حتى يتحسن تركيب الغاز وترتفع نسبة الميتان.
	ارتفاع نسبة الحموضة في المحلول نظراً لعدم ضبط تركيب وتركيز مخلوط التغذية.	إضافة الجير أو كربونات الكلس مع التغذية المستمرة وتكراره عدة مرات. تهوية الغاز حتى ترتفع نسبة الميتان به ودوام على التغذية طبقاً للأصول المحددة.
	وجود هواء في خط الغاز.	تهوية الغاز حتى تظهر رائحته.
	ارتفاع نسبة الهواء في مخلوط الاحتراق.	تقيل فتحة الهواء الأولى في الموقد.

2-أعطال التشغيل المنتظم:

العطل	السبب	الإصلاح
الخزان (في الأجهزة ذات الخزان الطافي أو لضغط في الأجهزة الصينية ينخفض بسرعة عند فتح المحبس الرئيسي)	ـ مصفاة المياه أو مانومتر الضغط فارغ.	ملء المصفاة أو المانومتر بالماء.
	أحد المحابس مفتوحة.	البحث عن المحبس وإغلاقه.

	تسرب من خط الغاز.	البحث عن مكان التسرب بالرائحة أو محلول الصابون وإصلاحه.
	معدلات تغذية مرتفعة مع فقد التوازن.	ضبط معدلات التغذية طبقاً للأصول المحددة.
	استخدام مواد حمضية في التغذية بنسبة كبيرة	معادلة مواد التغذية الحمضية باستخدام الجير.
	وضع مواد سامة لعملية التخمير.	تقليل المواد السامة للبكتيريا ما أمكن.
	تسرب من الخزان أو المخمر.	يكشف عن مكان التسرب من الخزان باستخدام محلول صابون، ويمكن سد الثقوب الصغيرة باستخدام الإيبوكسي أما التآكل الكبير فيجب لحام شرائح من الحديد لإصلاحه أو تغيير الخزان. أمام المخمر الصيني فيتم إصلاحه بعد الكشف على أعمال الطينة الداخلية وطبقة الشمع السطحية فأحياناً قد تساعد إعادة طلي السطح بمحلول شمع عد مرات.

الخزان أو الضغط يرتفع ببطء	نقص كمية التغذية.	ضبط كمية التغذية.
	تخفيف مخلوط التغذية أكثر من اللازم.	مادة صلبة.
	زيادة كمية التغذية	ضبط معدلات التغذية والانتظار بعض الوقت
	إضافة كمية كبيرة من المواد التي تعيق تكاثر البكتيريا.	تقليل المواد السامة ما أمكن.
	انخفاض درجة الحرارة.	محاولة رفع حرارة المخمر ومخلوط التغذية بالطرق المباشرة.
	تسرب في الغاز.	تحديد مكان التسرب وإصلاحه.
الغاز لا يشتعل	وجود هواء في الخط.	يسمح بمرور الغاز لفترة في الهواء حتى تظهر رائحته.
	ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون نظراً لعدم ضبط كمية وتركيب تركيز مخلوط التغذية.	يسمح بمرور الغاز لفترة الهواء مع ضبط التغذية للنظام المحدد
	ارتفاع نسبة المواد الحمضية في التغذية	وقف تغذية المواد الحمضية والاستمرار في تغذية الروث ويمكن

	وارتفاع نسبة الحموضة في المخمر.	إضافة كربونات الكلس مع الانتظار بعض الوقت.
	ارتفاع نسبة المواد السامة.	تقليل كمية المواد الضارة والسامة.
مخلوط التغذية لا ينساب إلى داخل المخمر	انسداد أنبوب الدخول والخروج	فتح الأنابيب بتحريك عود خشبي لأسفل وأعلى حتى تكسير السدادة. الخلط الجيد لمحلول التغذية وإزالة القش يمنع السد.
المخمر يفيض بالمحلول	انسداد أنبوب الخروج	فتح أنبوب الخروج
حجرة التغذية تفيض بالمحلول	انسداد أنبوب الخروج	فتح أنبوب الخروج

3.أعطال الموقد:

العطل	السبب	الإصلاح
اللهب طويل وضعيف وأحمر	نقص كمية الهواء الأولى.	زيادة كمية الهواء الأولى حتى يصبح اللهب أزرق.
اللهب ينفصل عن الطربوش وينقطع	فتحات الاشتغال غير ملائمة.	لتنظيف الطربوش جيداً وتنظيف الفتحات أو زيادة قطرها إن لزم.
صغر الشعلة	انسداد جزئي لفتحة الغاز.	تنظيف فتحة الغاز من الرواسب.

	انخفاض الضغط.	الانتظار حتى يرتفع الضغط في المخمرات الصينية أو تحريك خزان الغاز يميناً ويساراً لتكسير الرغوة وتسهيل حركة الخزان في المخمرات الهندية.
	تكثيف مياه في الخط.	إزالة المياه المتكثفة من الخط.
اللهب يتذبذب	وجود مياه متكثفة في الخط.	تزال المياه المتكثفة في الخرطوم الموصل بين خزان وخط الغاز، إذا لم يكن مركب الغاز بميل 100: 1 يجب إزالة المياه في حال تجميعها لذلك يجب تركيب الخط وفق الأصول.
	وجود مياه مكتنفة في الموقد أو عداد الغاز إن وجد.	إزالة المياه المتكثفة في الموقد وعداد الغاز.
لا يوجد غاز عند الموقد	المياه المتكثفة تمنع جريان الغاز تماماً.	تزال المياه المتكثفة من خط الغاز

4- أعطال المصابيح:

العطل	السبب	الإصلاح
الإضاءة خفيفة	نقص كمية الغاز	التأكد من قطر فتحة الغاز وتسليكه.

	عدم ملائمة كمية الهواء الأولى	ضبط كمية الهواء الأولى
الإضاءة تميل إلى الاحمرار واللهب يبرز من الريتينة	زيادة كمية الغاز	ضبط كمية الغاز
الغاز لا يخرج من الفتحة (الفونيه)	انسداد الفتحة	تسليكها.

5- أعطال الثلاجات:

العطل	السبب	الإصلاح
الشعلة حمراء وتكون كربون	نقص كمية الهواء الأولى.	ضبط كمية الهواء الأولى.
الشعلة تنقص عن الطربوش	صغر فتحات الطربوش.	ضبط فتحات الطربوش.
الشعلة تنطفئ عند توصيل المدخنة	زيادة سحب المدخنة.	تقليل سحب المدخنة بزيادة مقاومة الجريان عن طريق تصغير مقطع المدخنة.
التبريد بطيء	انسداد جزئي لفتحة خروج الغاز.	تسليك الفتحة.
التبريد معدوم	انسداد كامل لفتحة خروج الغاز.	تسليك الفتحة.
	عيب في دورة التبريد.	إصلاح العطل لدى أحد المختصين.