المخمرات (digesters)

أنواع المخمرات

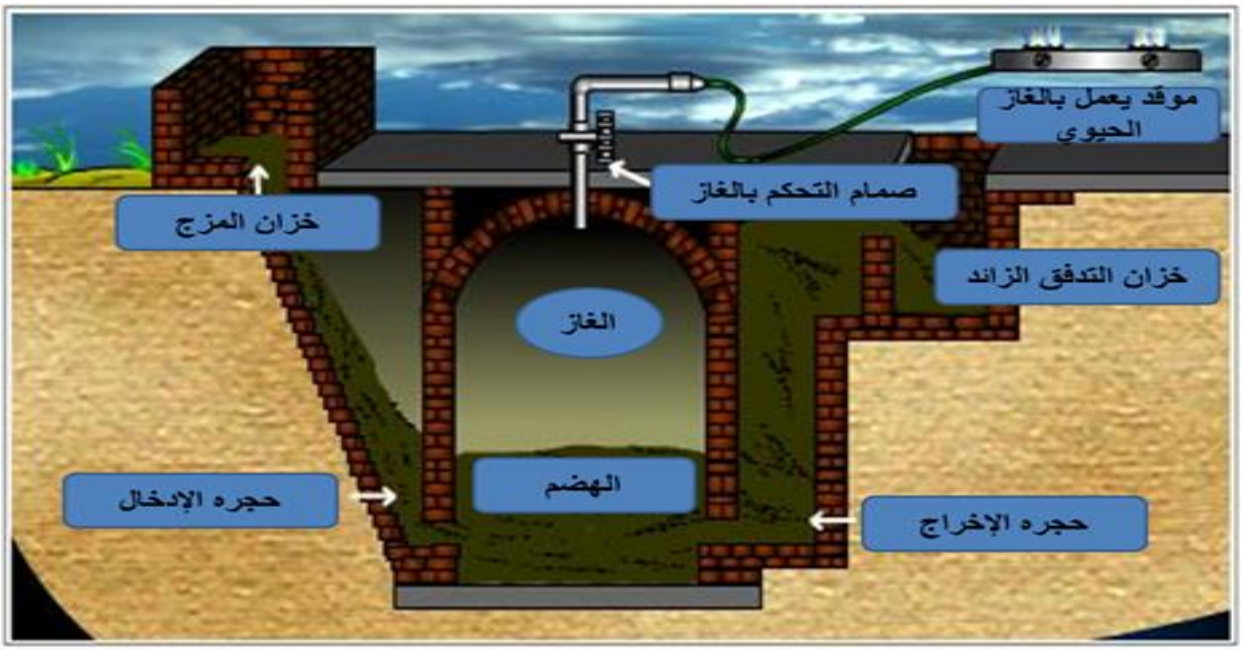
إن تطبيق تقنية الغاز الحيوي في المناطق الريفية والحضرية أصبح واسع الانتشار، وعليه فهناك تحديات كثيرة تواجه العلماء والمهندسين لبناء مخمرات ذات كفاءة عالية، مع مراعاة الاعتبارات المحلية والاقتصادية المتعلقة بالمكان.

يمكن أن يتم إنتاج الغاز الحيوي مخبرياً في مخمرات صغيرة – زجاجات المصل – (serum bottles) والتي لا يتجاوز حجمها ١٠٠ mL، ويمكن أن يصل الحجم إلى ١٠٠٠٠ m^3 للمخمرات الكبيرة. تصنف أنواع الهواضم وفقا لعده معايير:

أولا - حسب تصميم الهاضم (design)

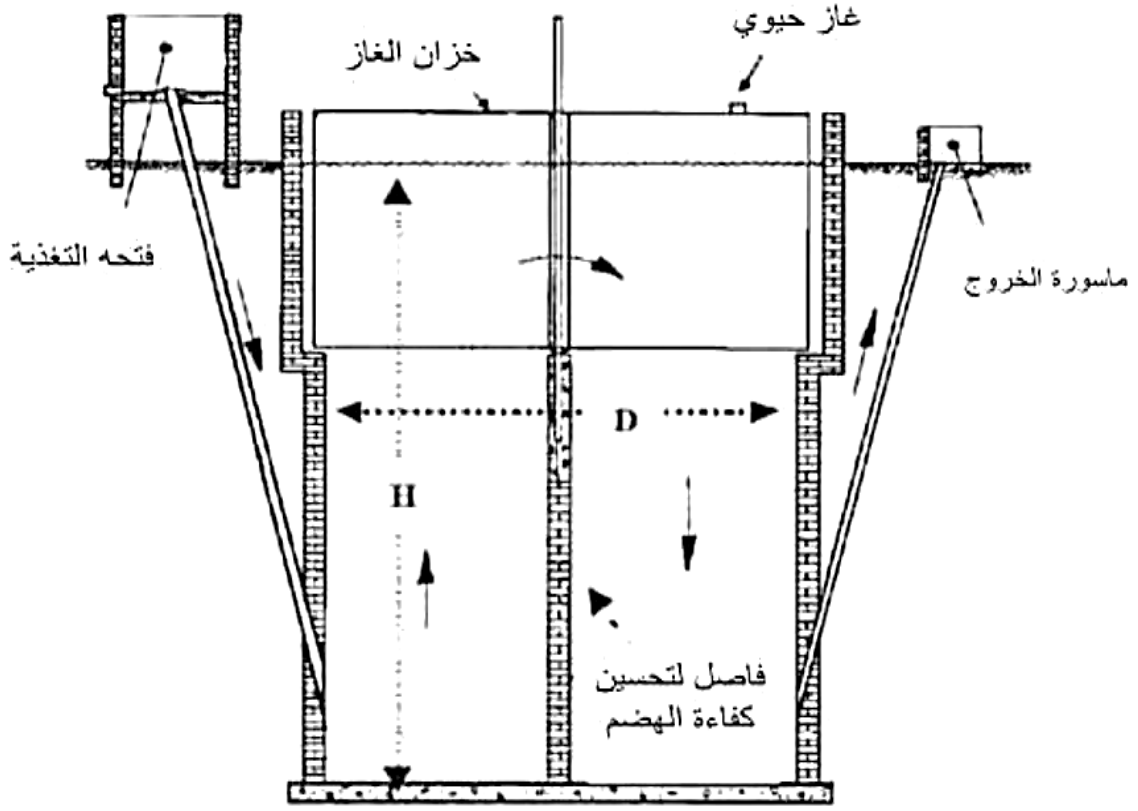
هناك العديد من التصاميم المختلفة للمخمرات، ولكن من الصعب تبني أحد هذه التصاميم بشكل دائم، خصوصاً تلك التي تستخدم للأغراض المنزلية أو في المزارع الصغيرة، حيث يختلف تصميم المخمر وفقا للموقع الجغرافي وللمخلفات العضوية المتاحة و الظروف المناخية السائدة في المنطقة. وخلافا لكل أنواع الهواضم التي تم تطويرها، يبقى النموذج الهندي و النموذج الصيني الأكثر شيوعا حتى يومنا هذا.

<u>الهاضم الصيني (ذو القبة الثابتة) fixed dome model:</u> إن الهاضم الصيني (Chinese digester) والذي يدعى أيضا (hydraulic digester)، يعتبر من الهواضم الأكثر انتشارا في الصين، حيث تم تطويره هناك. يتم في هذا النوع ملء الهاضم عن طريق حجرة الإدخال، ويتجمع الغاز الحيوي الناتج في الجزء العلوي من المخمر والذي يدعى خزان الغاز، أما عمليه الهضم اللاهوائي فتتم في الجزء السفلي، إن ارتفاع الضغط الناتج عن تراكم الغاز في الجزء العلوي يؤدي إلى إزاحة الركيزة إلى حجرة الإخراج كما هو موضح في الشكل (١-)، عند سحب الغاز الناتج يعود الضغط لينخفض من جديد، وهنا يكون الضغط متغير.



الشكل (١) مخطط تفصيلي للهاضم الصيني

الهاضم الهندي (ذو الخزان العائم) floating drum model: يتألف الهاضم الهندي (Indian Digester) بشكل رئيسي من جسم أسطواني وخزان للغاز وفتحة التغذية (feed pit) ومخرج (outlet pit) كما هو مبين في الشكل (٢)، ويستخدم عادة القرميد والإسمنت في بناء هذا النوع من المخمرات، ويعتبرالمخمر ذو الأسطوانة الطافية (الخزان العائم) الذي طور عام ١٩٦٢، من أكثر المخمرات انتشاراً واستخداماً في الهند. في هذا النموذج تتوضع الأسطوانة بشكل مقلوب على جسم الهاضم من الأعلى وتعمل كخزان لجمع الغاز الحيوي الناتج، حيث تتمتع الأسطوانة بحريه الحركة للأعلى والأسفل حسب كمية الغاز الناتجة، ويؤمن وزن الأسطوانة الضغط اللازم لتدفق الغاز الحيوي عبر الأنابيب ليتم استخدامه فيما بعد.



الشكل (٢) المخطط التفصيلي الهاضم الهندي

ثانيا- حسب طريقه تشغيل الهاضم (operation)

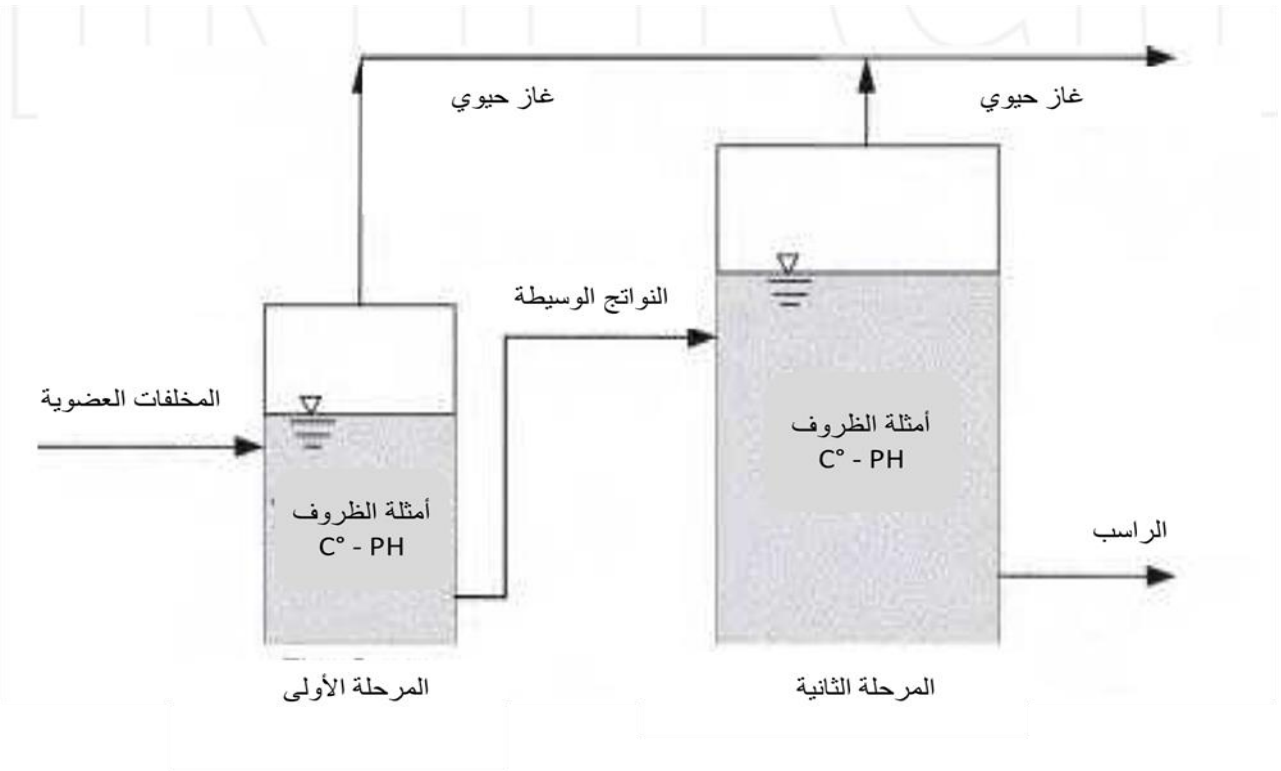
يمكن تصنيف الهواضم حسب طريقه التشغيل - وبالتحديد نظام التغذية بالمادة العضوية – إلى قسمين رئيسيين :

نظام الدفعة الواحدة (batch type digester): حيث يتم تحميل المخمر بالمادة العضوية دفعة واحده، وتزال بعد انتهاء عملية التخمر اللاهوائي بشكل كامل. يعتبر هذا النموذج سهل البناء والتصميم ويتميز بانخفاض تكاليف التشغيل، ومن مساوئه ارتفاع تكاليف الصيانة واحتياجات الطاقة العالية.

نظام التغذية المستمرة (continuous type digester): في هذا النظام يتم تلقيم المخمر بالمادة العضوية بشكل مستمر، وفق فواصل زمنية ثابتة وكميات محددة. وخلافا لنظام الدفعة الواحدة، والذي يتوقف عن إنتاج الغاز الحيوي أثناء إضافة المادة العضوية أو عند إزالة الراسب، فإن نظام التغذية المستمرة ينتج كميات ثابتة ومحددة من الغاز الحيوي دون انقطاع.

ثالثا – حسب سير العمليات البيولوجية داخل الهاضم:

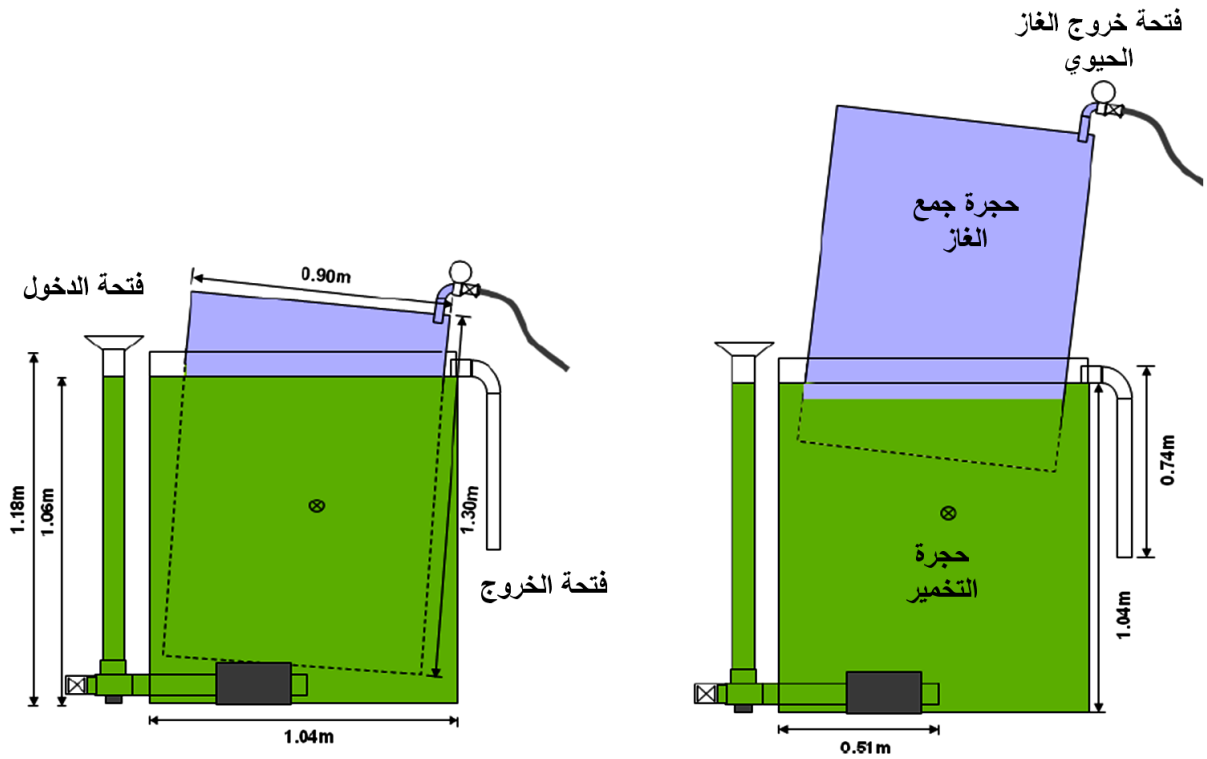
كما أسلفنا سابقا، هناك أربع مرحل تمر بها عملية التخمر اللاهوائي ولكن – بيولوجياً – تعتبر مرحلة التحميض ومرحلة تشكل الميثان المرحلتين الأكثر تبايناً من حيث معدل تفكك المادة العضوية والأنواع البكتيرية والظروف البيئية المحيطة بعملية التخمر اللاهوائي (Ke and Shi, 2005)، مما استدعى تطوير نظام أو نموذج من المخمرات يدعى **نظام التخمير بمرحلتين مختلفتين (two – phase system)** كما هو مبين في الشكل (٣)، والذي أقترح لأول مره عام ١٩٧١ من قبل العالمين Pohland و Ghosh. في هذا النظام يتم تطبيق عمليه التخمر اللاهوائي على مرحلتين وفي مخمرين منفصلين، حيث تتم عملية الحلمهة والتحميض في المرحلة الأولى، وعملية تشكل حمض الخل وتشكل الميثان في المرحلة الثانية. ويسمح هذا الفصل بأمثله كل مرحلة على حدا، مما يؤدي إلى رفع كفاءة التخمر اللاهوائي وتحسين التحطم البيولوجي للمادة العضوية. إن الصعوبات الفنية والتقنية والتكاليف العالية والتي تبرز في استخدام نظام التخمير بمرحلتين، جعل النوع التقليدي أو **نظام المرحلة الواحدة (single – phase system)** الأكثر شيوعا، والذي تتم فيه جميع مراحل التخمر اللاهوائي في نفس الهاضم وتخضع لنفس الظروف.



الشكل (٣) المخمر ذو نظام الهضم بمرحلتين مختلفتين

كما ذكرنا سابقاً، هنالك العديد من تصاميم وأنواع المخمرات، ولكن يجدر بنا التطرق إلى أحد التصاميم الذي لفت الانتباه ولاقى مؤخراً انتشارا عالمياً كبيراً، نظراً لبساطة التصميم وسهولة التصنيع والفعالية العالية. لقد تم تطوير هذا التصميم والذي يسمى (ARTI) من قبل Dr.Anand Karve عام ٢٠٠٣، وقد حاز التصميم على جائزة (Ashden Award for Sustainable Energy) عام ٢٠٠٦.

(ARTI): هو مخمر لاهوائي يستخدم مخلفات الطعام بدل من الروث – شائع الاستخدام – كمادة خام لتغذية المخمر من أجل إنتاج الغاز الحيوي للاستخدامات المنزلية (الطهي). وينتج هذا المخمر حوالي ٠.٥ كغ من غاز الميثان باستخدام ٢ كغ من مخلفات الطعام ويحتاج ٢٤ ساعة لاكتمال التفاعل، بينما يتم إنتاج نفس كمية الميثان باستخدام ٤٠ كغ من روث الأبقار. هناك عدة فوائد للمخمر (ARTI) بالمقارنة مع الأنظمة التقليدية، حيث يتميز بانخفاض تكاليف التصنيع وصغر الحجم – يبلغ حجم المخمر حوالي ١م^3 أو حجم الثلاجة العادية المنزلية، بينما يبلغ حجم أصغر المخمرات التقليدية ٤ م^3 على أقل تقدير –، ويتميز أيضاً بسهولة الاستخدام وبساطة التصميم كما هو مبين في الشكل (٤)، ويمكن تصنيعه دون الحاجة إلى خبرات وباستخدام أدوات بسيطة، ويتكون من برميل أسطواني الشكل (حجرة التخمير) – خزان المياه التقليدي – حجم ١ م^3 مصنوع من البولي إيتيلين عالي الكثافة، ومزود بفتحة دخول لإدخال المواد العضوية، وفتحة خروج للراسب الناتج عن عملية التخمر اللاهوائي، ويستقر في حجرة التخمير – بشكل مقلوب – برميل أخر من البولي إيتيلين بحجم ٠.٧٥ م^3 وهو بمثابة حجرة جمع الغاز ومزود بفتحة لخروج الغاز الحيوي الناتج، والذي يخرج تحت تأثير الضغط الناتج عن ثقل حجرة جمع الغاز (نفس مبدأ الهاضم الهندي).



الشكل (٤) مخطط تفصيلي للمخمر (ARTI)، أ- في حال امتلاء حجرة جمع الغاز الحيوي، ب- في حال إفراغ حجرة جمع الغاز الحيوي

هاضم هندي

هاضم هندي

هاضم صيني

هاضم هندي

هاضم ARTI