Afro-Asian Journal of Scientific Research (AAJSR)
المجلة الأفروآسيوية للبحث العلمي
E-ISSN: 2959-6505
Volume 3, Issue 4, 2025
Page No: 31-38
Website: https://aajsr.com/index.php/aajsr/index
SJIFactor 2024: 5.028 ISI 2025: 0.915 معامل التأثير العربي (AIF) 2025: 0.76

Biogas Production from ships and seaports wastes in Libya and using as an Alternative fuel

Omran Alshikhi [1 *], Mohamed A Hamza [2]
[1,2] Marine & offshore Engineering Department, Faculty of Engineering, Tripoli University, Tripoli, Libya

إنتاج الغاز الحيوي من مخالفات السفن والموانئ في ليبيا واستخدامه كوقود بديل

عمران موسى الشيخي[1*]، محمد علي ضوء حمزة[2]
[1،2] الهندسة البحرية والمنصات العائمة، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

*Corresponding author: o.alshikhi@uot.edu.ly

Received: July 16, 2025	Accepted: October 25, 2025	Published: November 04, 2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

Recent years have grown interest in environmental issues, especially the transfer the seaports into green ports. This has made biogas production from wastewater a particular focus as a sustainable solution that combines economic and environmental benefits. This study aims to investigate the feasibility of producing biogas from wastewater in Libyan seaports and using it as an alternative fuel for power generation. A biogas production plant model was designed, with emphasis on the selection of materials such as 661 stainless steel to ensure durability. Data on the quantities of wastewater and biogas produced were analyzed, and the results showed that the average volume of gas produced from the anaerobic fermentation process for a population of 23, 200, 2,000, and 300,000, respectively, was (6,325, 30,375, 303,75, and 455,625) cubic meters. The extracted quantities of wastewater, organic matter, and biogas fall within specific ranges, indicating that these values can be influenced by various factors such as lifestyles and waste management methods. The efficiency of a wastewater biogas production system depends on a delicate balance between tank size, pump type, specialized bacteria (such as methane-producing thermophiles), pressure and temperature control systems, and safety valves and a water vapor separation system to ensure safety and optimal performance. This system can be adapted to a variety of locations, such as seaports, where tank sizes, biogas production rates, and the amount of organic waste can be adjusted based on the needs of each location.

Keywords: Biogas; Libyan seaports; Anaerobic; Sewage.

الملخص
شهدت السنوات الأخيرة تصاعدًا في الاهتمام بالقضايا البيئية وخاصة تحويل الموانئ الي موانى خضراء، مما جعل إنتاج الغاز الحيوي من مياه الصرف الصحي يحظى بتركيز خاص كحل مستدام يجمع بين الفوائد الاقتصادية والبيئية. تهدف هذه الدراسة إلى إمكانية إنتاج الغاز الحيوي من مياه الصرف الصحي في الموانئ الليبية واستخدامه كوقود بديل لتوليد الطاقة. تم تصميم نموذج محطة لإنتاج الغاز الحيوي، مع التركيز على اختيار مواد مثل الفولاذ المقاوم للصدأ 661 لضمان المتانة. تم تحليل البيانات المتعلقة بكميات الصرف الصحي والغاز الحيوي الناتج، حيث أظهرت النتائج أن كمية الغاز الناتج من عملية التخمير اللاهوائي بالنسبة لعدد السكان 23، 200، 2000، 300000 على التوالي بمتوسط (6.325 ، 30.375، 303.75 ، 455.625) متر مكعب. الكميات المستخرجة من الصرف والمواد العضوية والغاز الحيوي تأتي ضمن نطاقات محددة، مما يشير إلى أن هذه القيم يمكن أن تتأثر بعوامل مختلفة مثل أنماط الحياة وطرق إدارة النفايات؛ تعتمد كفاءة نظام إنتاج الغاز الحيوي من مياه الصرف الصحي على التوازن الدقيق بين حجم الخزانات، ونوع المضخات، والبكتيريا المتخصصة المستخدمة (مثل البكتيريا التيرموفيلية التي تنتج الميثان)، وأنظمة التحكم في الضغط ودرجة الحرارة، مع وجود صمامات أمان ونظام لفصل بخار الماء لضمان السلامة والأداء الأمثل. يمكن تكييف هذا النظام ليناسب مواقع متنوعة كالموانئ البحرية، حيث يمكن تعديل أحجام الخزانات ومعدل إنتاج الغاز الحيوي وكمية المخلفات العضوية بناءً على احتياجات كل موقع.

الكلمات المفتاحية: الغاز الحيوي، الموانئ الليبية، التخمير اللأهوائي، المخلفات الأدمية.

مقدمة:

الغاز الحيوي هو خليط من الميثان وثاني أكسيد الكربون والماء وكميات صغيرة من الغازات الأخرى الناتجة عن الهضم اللاهوائي في ظروف خاصة، ويعتبر الغاز الناتج مصدراً بديلاً للطاقة. يمكن الاستفادة من هذه الطاقة في عدة مجالات، حيث تقدم تكنولوجيا الغاز الحيوي طريقة فعالة للغاية للاستفادة من فئات معينة من الكتلة الحيوية، على عكس أشكال أخرى من الطاقة المتجددة. كما أنه لا يوجد للغاز الحيوي أي تأثير سلبي على البيئة. يتم إنتاج الغاز الحيوي في محطات متخصصة من خلال عملية الهضم اللاهوائي، حيث تُجمع المواد العضوية مثل مخلفات الطعام والنفايات الزراعية، ثم تُعالج وتُدخل إلى مفاعلات حيوية مغلقة، حيث تعمل البكتيريا على تحلل هذه المواد في غياب الأكسجين، مما يؤدي إلى إنتاج الغاز الحيوي الذي يمكن استخدامه في توليد الطاقة أو كوقود. شهدت السنوات الأخيرة تصاعداً ملحوظاً في الاهتمام بالقضايا البيئية، حيث أصبحت مسألة الحفاظ على البيئة من الآثار السلبية الناتجة عن التقدم التكنولوجي وتدخل الإنسان من الأولويات العالمية. من بين هذه القضايا، يبرز إنتاج الغاز الحيوي من حمأة الصرف الصحي كحل فعّال يجمع بين الفوائد الاقتصادية والبيئية، وهو أمر يتطلب اهتماماً خاصاً على المستويين المحلي والدولي. تُعتبر خدمات البنية الأساسية، خاصةً مياه الشرب والصرف الصحي، من الشروط الضرورية لتحقيق التنمية المستدامة، حيث تؤثر بشكل مباشر على صحة الأفراد وجودة حياتهم (رفعت عبد الوهاب (2016).

يشكل قطاع الصرف الصحي أحد القطاعات الحيوية التي تساهم في تلبية احتياجات المجتمع الأساسية، وتحسين المستوى الاجتماعي والاقتصادي للأفراد. من خلال معالجة حمأة الصرف الصحي وتحويلها إلى غاز حيوي، يمكن تقليل التلوث الناتج عن النفايات وتعزيز إنتاج الطاقة النظيفة. هذا الغاز يعد بديلاً مستداماً للوقود الأحفوري، مما يقلل من الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، يسهم هذا الإنتاج في تقليل كميات النفايات والتلوث، مما يحسن من جودة البيئة ويعزز الصحة العامة. إن التوجه نحو إنتاج الغاز الحيوي يمثل خطوة استراتيجية نحو تحقيق التنمية المستدامة، ويعكس أهمية الابتكار في معالجة القضايا البيئية الملحة، مما يعد استثماراً للمستقبل يستحق الدعم والتطوير. ان امكانيات الغاز الحيوي للنفايات العضوية على متن السفن السياحية مصدر طاقة غير مستغل بعد تحويل الكتلة الحيوية والمصفاة الحيوية حيث تنتج هذه السفن كميات كبيرة من النفايات، حيث يساهم كل فرد على متنها بما يقرب من 1 كجم من النفايات العضوية يوميًا. من خلال تطبيق عملية الهضم اللاهوائي على هذه النفايات، يمكن تحويلها إلى غاز حيوي يُستخدم كمصدر طاقة بديل. أظهرت الأبحاث أن إنتاج غاز الميثان يصل إلى حوالي 611 لتراً لكل شخص يوميًا، مما يعكس الإمكانيات الكبيرة لهذه العملية، إحدى النتائج المثيرة للاهتمام كانت فعالية الهضم المشترك، حيث يتم خلط حمأة الصرف الصحي مع نفايات الطعام بنسبة 12:12. هذا الأسلوب أثبت أنه يزيد من إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 04 % مقارنةً بالتخمير الأحادي. يمكن أن يُعتبر هذا التحسن في الكفاءة بمثابة خطوة نحو تحقيق الاستدامة على متن السفن، عندما يتم تحسين إنتاج الغاز الحيوي، يمكن للسفن السياحية أن تنتج طاقة تصل إلى 20 واط، وهو ما يغطي حوالي 6.6 إلى 4.6 % من إجمالي احتياجات الطاقة اليومية (Francisco Baena, et al 2022).

ومن جانب تأثير الضرائب على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من مالكي السفن، حيث أظهر التحليل أن تحقيق الربحية يتطلب فرض ضرائب أكبر بسبع مرات من القيم الحالية. هذا يُظهر أن الوقود المتجدد يواجه صعوبة في المنافسة مع الوقود التقليدي في هذا القطاع، تُشير النتائج أيضًا إلى الحاجة لتقديم إعانات لتعويض جزء من الاستثمار؛ حتى مع دعم 100 % من التكاليف، يبقى هذا النهج غير مربح. لذلك، تُبرز هذه النتائج أهمية اتخاذ إجراءات سياسية أكثر طموحًا لدعم التحول نحو مجتمعات مستدامة ومراعاة التحديات الاقتصادية في هذا السياق (Dirk Hannover – Kai., 2021 Schumülle. إن فرز النفايات الغذائية على متن السفينة وفصلها عن مصادر النفايات الأخرى مثل مياه الصرف الصحي

والمياه الرمادية هو حل مناسب يسهل المعالجة الإضافية. ومع ذلك، فإن هذا الإجراء يتطلب مرافق خاصة ومساحة تخزين كافية. يمكن تسليم النفايات الغذائية المذكورة أعلاه إلى مرافق الاستقبال في الميناء (PRFs) وتستخدم لإنتاج الغاز الحيوي على الأرض ومع ذلك، لا يجوز حاليًا استخدام سوى نفايات الطعام من السفن العاملة في الاتحاد الأوروبي كمدخل لإنتاج الغاز الحيوي، وليس نفايات الطعام الدولية. لايزال طحن نفايات الطعام وتصريفها في البحر ممارسة شائعة، بالإضافة إلى ذلك، يمكن لشركات الشحن اختيار مطاعم من نوع البوفيه من أجل تقليل توليد نفايات الطعام. يتم تصريف مياه الصرف الصحي الرمادية عمومًا في البحر، في حين يجب معالجة مياه الصرف الصحي على متن السفينة قبل المعالجة. ويعد تحسين إجراءات معالجة المياه العادمة من الأولويات الرئيسية لضمان الامتثال لهذه اللوائح. في هذا السياق، تتقاطع هذه التحديات مع الدراسات المتعلقة بالإمكانات الكيميائية الحيوية لإنتاج الميثان وقابلية التحلل البيولوجي للركائز العضوية المعقدة. إذ تتيح اختبارات إمكانات الميثان الحيوي BMP فهمًا أعمق لإمكانية معالجة المواد العضوية غير المتجانسة، مثل مياه الصرف والركائز المتنوعة، من خلال تقنيات التحلل البيولوجي (Toneatti, L., et al, 2022). وعن النفايات العضوية للسفن كانت هناك الحاجة الملحة لممارسات مستدامة في قطاع النقل البحري، إذ تساهم مصادر الطاقة التقليدية، مثل محركات الديزل التي تستخدم زيت الديزل البحري وزيت الوقود الثقيل، بشكل كبير في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

وقد طبقت المنظمة البحرية الدولية (IMO) لوائح صارمة للانبعاثات، مما دفع إلى التحول نحو مصادر الطاقة البديلة. وتقدم الدراسة حلاً فريداً لإنتاج الغاز الحيوي من النفايات العضوية على متن سفن الرحلات البحرية لتشغيلها وتلبية احتياجاتها من الطاقة. وتقدم هذه الطريقة المبتكرة استراتيجيةً لتقليل البصمة الكربونية المرتبطة بمصادر الطاقة التقليدية. ويعد دمج التكنولوجيا المستدامة أمرًا بالغ الأهمية لسفن الرحلات البحرية لإعطاء الأولوية للمسؤولية البيئية. وتساهم هذه الدراسة في دمج التقنيات الصديقة للبيئة في القطاع البحري، مما يعزز التقدم نحو مستقبل أكثر استدامة Abhinav (Mohan. et al, 2024).

أظهرت اختبارات الهضم الأحادي والمشترك مع روث الألبان فعالية في تحسين التحلل الحيوي وإنتاج الميثان، مما يوفر حلولًا مستدامة لإدارة المخلفات العضوية وتقليل التأثير البيئي، وهو ما يمكن أن يسهم أيضًا في تطوير تقنيات معالجة متقدمة للمياه العادمة في المناطق البحرية الحساسة مثل بحر البلطيق، بالإضافة إلى ذلك، تم تقييم قدرة طريقتين نظريتين لتقدير إمكانات الميثان الحيوي للركائز وتأثيره التحلل البيولوجي. تشير نتائج حوالي 621 اختبار فردي إلى أن الركائز الغنية بالدهون والكربوهيدرات القابلة للتحلل بسهولة تنتج أعلى إمكانات الميثان، في حين أن الركائز الأكثر مقاومة مع نسبة عالية من الليجنوسليلوز لها أدنى إمكانات. يزيد الهضم المشترك لسماد الألبان مع الركائز القابلة للتحلل بسهولة من إنتاج الميثان النوعي عند مقارنته بهضم السماد فقط. بالإضافة إلى ذلك، اقترحت إمكانات الميثان الحيوي لبعض مخاليط الهضم المشترك نشاطًا تآزريًا. لقد بالغت الطرق النظرية التي تم تقييمها باستمرار في تقدير إنتاج الميثان الذي تم الحصول عليه تجريبياً عندما لم يتم أخذ قابلية التحلل البيولوجي للركيزة في الاعتبار. وعند تصحيح نتائج الأساليب النظرية مع بيانات التحلل البيولوجي الملاحظة، تم التوصل إلى اتفاق يزيد عن 90 % (Environmental, M. 2024).

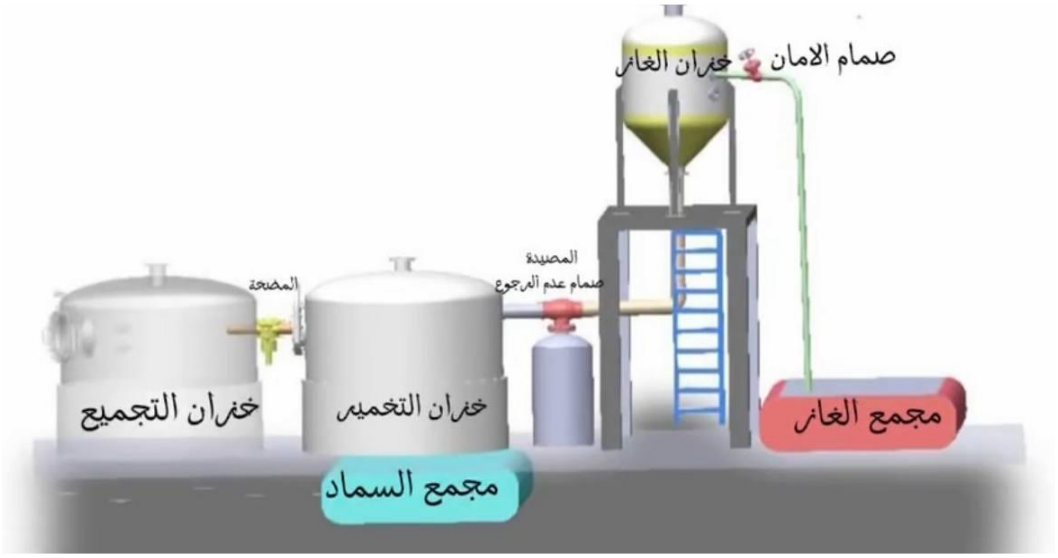
تنبع أهمية هذه الدراسة من الدور الحيوي الذي تلعبه عمليات إنتاج الغاز الحيوي من حمأة الصرف الصحي في مواجهة التغيرات البيئية الناتجة عن التطور التكنولوجي في المجال الصناعي. يُبرز البحث أثر تطبيق نظم الإدارة البيئية والجدوى الاقتصادية لإنتاج الغاز الحيوي على التنمية المستدامة، والتشجيع على استغلال مخلفات الموانئ والسفن في انتاج طاقة نظيفة؛ مما يشكل حافز للإدارة العليا لتبني هذه النظم. تتجلى الأهمية العلمية للدراسة في ندرة الأبحاث والدراسات العربية التي تناولت العلاقة بين إنتاج الغاز الحيوي من حمأة الصرف الصحي من السفن، مما يساهم في معالجة الفجوة البحثية في هذا المجال. كما تسعى الدراسة إلى التعرف على أثر تبني إنتاج الغاز الحيوي على التنمية المستدامة من خلال استكشاف الجوانب الاقتصادية والبيئية المرتبطة بهذا الإنتاج، مما يعزز الفهم العلمي حول أهمية الغاز الحيوي كحل مستدام ويدعم اتخاذ القرارات الاستراتيجية في هذا السياق.

المنظومة المقترحة

تم التركيز في عملية تصميم المنظومة على عدة إعتبارات والتي تركز في الأساس على اختيار الموقع وتقييمه فيتم اختيار موقع بالاخذ في الاعتبار عامل السلامة ولا يعرقل حركة الشحن والتفريغ بالميناء، مع إمكانية الوصول إلى مياه الصرف الصحي ومساحة كافية للمصنع، وقربه من مصدر تجميع الصرف الصحي خاصة السفن، وقد تم تصميم النموذج باستخدام برنامج التصميم solid work بما في ذلك خزانات المعالجة الأولية، والهضم اللاهوائي، ووحدات تخزين الغاز، مع التأكد من أن التصميم يسمح بتدفق فعال للمواد والغاز الحيوي. وأيضاً بعد الرجوع للدراسات السابقة في هذا المجال تم اختيار المعدات المناسبة مثل أجهزة الهضم، وحاملات الغاز، والخلاطات، ووحدات التنقية، حيث يعتمد الحجم والنوع على حجم مياه الصرف الصحي ومخرجات الغاز الحيوي المطلوبة.

ومن ناحية أخرى يتم بناء التصميم، والذي يتضمن تركيب الخزانات، والهضم، والأنابيب، وتخزين الغاز، مع التأكد من إغلاق جميع المكونات وتأمينها بشكل صحيح، وقد تم اختيار الفولاذ المقاوم للصدأ 316، وذلك لانه يتميز بعدة مزايا تجعله خياراً مثاليًا في تطبيقات الغاز الحيوي. فهو يتحمل الأحماض والقلويات وكبريتيد الهيدروجين H_2S مما يوفر مقاومة ممتازة للتآكل الناتج عن الغاز الحيوي. بالإضافة إلى ذلك، يسهل صيانته وتنظيفه، مما يعزز من كفاءة التشغيل. كما أن عمرة الافتراضي طويلًا، مما يضمن استدامة طويلة دون الحاجة إلى استبدال متكرر. يتضمن التصميم النهائي للمحطة مكونات رئيسية مثل خزان التجميع، الذي يجمع المخلفات قبل عملية التخمير، وخزان التخمير الذي يتم فيه التحلل اللاهوائي

وتحويل الحمأة إلى غاز حيوي. بالإضافة إلى ذلك، يحتوي التصميم على مجمع السماد لجمع المواد العضوية التي يمكن استخدامها كسماد بعد انتهاء عملية التخمير، وخزان الغاز الذي يخزن الغاز الحيوي الناتج. يساهم هذا التصميم المتكامل في ضمان كفاءة التشغيل والموثوقية، حيث تم ترتيب المكونات بشكل يسهل عمليات النقل والتفاعل بينها.
ويتم إجراء اختبارات شاملة لضمان عمل جميع الأنظمة بشكل صحيح، مع مراقبة عملية الهضم اللاهوائي لضمان استقرار إنتاج الغاز الحيوي وكفاءته. تتكون منظومة إنتاج الغاز الحيوي من مجموعة من الأجزاء الأساسية التي تعمل معًا لضمان فعالية العملية. كل جزء يلعب دوراً مهمًا في جمع ومعالجة المواد العضوية، وإنتاج الغاز الحيوي، وتخزينه كما هو مبين بالشكل رقم (1).



شكل (1): التصميم النهائي للمحطة المقترحة

ألية العمل:

في هذه العملية يتم جمع مياه الصرف الصحي في خزان المعالجة، تستقر النفايات الصلبة (الحمأة) في القاع بينما يتحرك السائل لمزيد من المعالجة وتفصل المكونات السائلة والصلبة التي تستخدام لإنتاج الغاز الحيوي. يتم نقل النفايات الصلبة المنفصلة الي جهاز هضم لاهوائي حيث تقوم الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا) بتكسير وتفتيت المادة العضوية في غياب الاكسجين، مما ينتج عنه الغاز الحيوي، والذي يتكون بشكل اساسي من المثان وثاني اكسيد الكربون. ينتج جهاز الهضم ايضاً سائل الهضم، وهو بقايا غنية بالمغذيات يمكن استخدامها كسماد. يتم جمع الغاز الحيوي المنتج من اعلى جهاز الهضم وتنقيته لإزالة الشوائب والرطوبة وجعله مناسباً للاستخدام. ومن ثما يخزن الغاز الحيوي المنتقى في حامل او خزان غاز واستخدامه كمصدر للطاقة المتجددة للطهي او التدفئة او توليد الكهرباء؛ أو يمكن ترقيته إلى معايير الغاز الطبيعي لحقنه في شبكة الغاز.

تتضمن كل خطوة هندسة وتصميمًا دقيقين لضمان التشغيل الفعّال والآمن. وتكون نسب المواد المتكون منها الغاز الحيوي المنتج خليط من غاز الميثان 55% - 60% وثاني أكسيد الكربون 35% - 40% وكبريتيد الهيدروجين 0-2% وأيضاً النيتروجين 0 – 2% والهيدروجين 0 -1% وثاني أكسيد الكبريت 0- 0.5% وأخيراً الأمونيا 0 -0.05% بمعنى ان الغاز الحيوي يشكل غاز الميثان وثاني اكسيد الكربون اعلى نسبتين من مجموعة الغازات.

1. المواصفات التصميمية للمحطة المقترحة:

1.3 خزانات التجميع والتخمير:

هذه الخزانات مصنوعة من فولاد مقاوم للصدأ 316.

- **لحساب سعة الخزان:**

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

حيث:

V : سعة الخزان (m^3)

r : نصف القطر(mm)

h: الارتفاع (mm)

- **لحساب اقصى اجهاد:**

$$\sigma = \frac{P \times r}{2 \times t}$$

حيث:

(σ) أقصى إجهاد (MPa)

P: الضغط الداخلي (bar)
r : نصف القطر(mm)
t: سمك الجدار (mm)

- **لحساب معامل الأمان:**

$$SF=\frac{\sigma allowed}{\sigma}$$

حيث:
σ_allowed: أقصى إجهاد مسموح به (MPa)
SF: معامل الأمان.

2.3 حساب كمية انتاجية المحطة:

- **معدل التدفق:**

$$Q=\frac{P\times\eta}{\rho\times Pg}$$

حيث:
P: معدل الإنتاج المطلوب للغاز الحيوي (م^3/ ساعة)
η :كفاءة تحويل المخلفات العضوية إلى غاز حيوي(%)
ρ :كثافة الغاز الحيوي (كغ/م^3)
Pg :ضغط الغاز الحيوي (بار)

- **السعة اللازمة:**

$$V=\frac{P\times t}{\rho\times\eta}$$

حيث:
t :زمن تشغيل المحطة (ساعة/يوم)
η :كفاءة تحويل المخلفات العضوية إلى غاز حيوي(%)
: كثافة الغاز الحيوي (كغ/م^3)

- **معدل إنتاج الغاز من المخلفات العضوية:**

$$Pg=\frac{P\times\eta}{\rho w\times\eta}$$

حيث:
ρw :كثافة المخلفات العضوية (كغ/م^3)
η: كفاءة تحويل المخلفات العضوية إلى غاز حيوي.

جدول (1): يوضح نتائج المواصفات التصميمية للمحطة المقترحة.

سعة خزان التخمير فولاذ 316	2.71 متر مكعب
اقصى اجهاد لخزان التخمير فولاذ 316	MPa 7.5
معامل الأمان لخزان التخمير فولاذ 316	40
سعة خزان الغاز فولاذ 316	0.59 متر مكعب
اقصى اجهاد لخزان الغاز فولاذ 316	MPa 4
معامل الأمان لخزان الغاز فولاذ 316	75

حسابات انتاجية المحطة المقترحة:

لحساب عدد الأشخاص اللازمين لملء خزان التخمير بسعة 2.71 متر مكعب من الصرف الصحي، وكمية الغاز الحيوي الناتجة، ومدة الإنتاج عند استخدام مبادل حراري وإضافة بكتيريا مساعدة، يمكننا تقدير النتائج. بناءً على التخمير اللاهوائي المحسن:

- **عدد الأشخاص اللازمين لملء خزان التخمير:**

الفرضيات:

متوسط كمية الصرف الصحي للفرد يوميًا = 100 إلى 150 لتر (0.1 إلى 0.15 متر مكعب)
عدد الأشخاص = سعة الخزان ÷ الصرف الصحي للفرد يوميًا.

- **كمية الغاز الحيوي الناتجة:**

نسبة المواد العضوية في الصرف الصحي

المواد العضوية تشكل 3% من الصرف الصحي.

كمية المواد العضوية في الخزان = سعة الخزان × نسبة المواد العضوية

- **إنتاج الغاز الحيوي:**

إنتاج الغاز الحيوي من المواد العضوية يساوي 30 متر مكعب لكل طن مواد عضوية في الظروف التقليدية مع وجود مبادل حراري وإضافة بكتيريا مساعدة، تزداد كفاءة التحلل بنسبة 25 % إلى 40 %.

- **الوقت اللازم للإنتاج:**

يعتمد الوقت اللأزم للأنتاج على تأثير المبادل الحراري والبكتيريا فيحافظ المبادل الحراري على درجة حرارة مثالية (35 – 40 درجة مئوية) داخل الخزانن، مما يسرع عملية التخمير ومع إضافة البكتيريا تساهم في تقليل زمن التخمير بنسبة 50 % مقارنة بالهضم التقليدي.

الإنتاج اليومي من الغاز:

الإنتاج اليومي = كمية الغاز الناتج ÷ زمن التخمير.

- **تحسين الأداء:**

باستخدام مبادل حراري وبكتيريا مساعدة، يتم تقليل زمن التخمير إلى النصف تقريبًا الغاز الحيوي بنسبة وزيادة إنتاج تصل إلى 35% فهذه التقنيات تجعل النظام أكثر كفاءة وأسرع إنتاجًا للغاز الحيوي مقارنة بالظروف التقليدية ويمكننا تطبيق المعادلات السابقة للمقارنة بين التغير في عدد الأشخاص (200 شخص، 2000 شخص، و 3,000,000 شخص). مع توضيح كيفية حساب كمية الصرف الصحي، المواد العضوية الناتجة، إنتاج الغاز الحيوي، وعدد الخزانات المطلوبة.

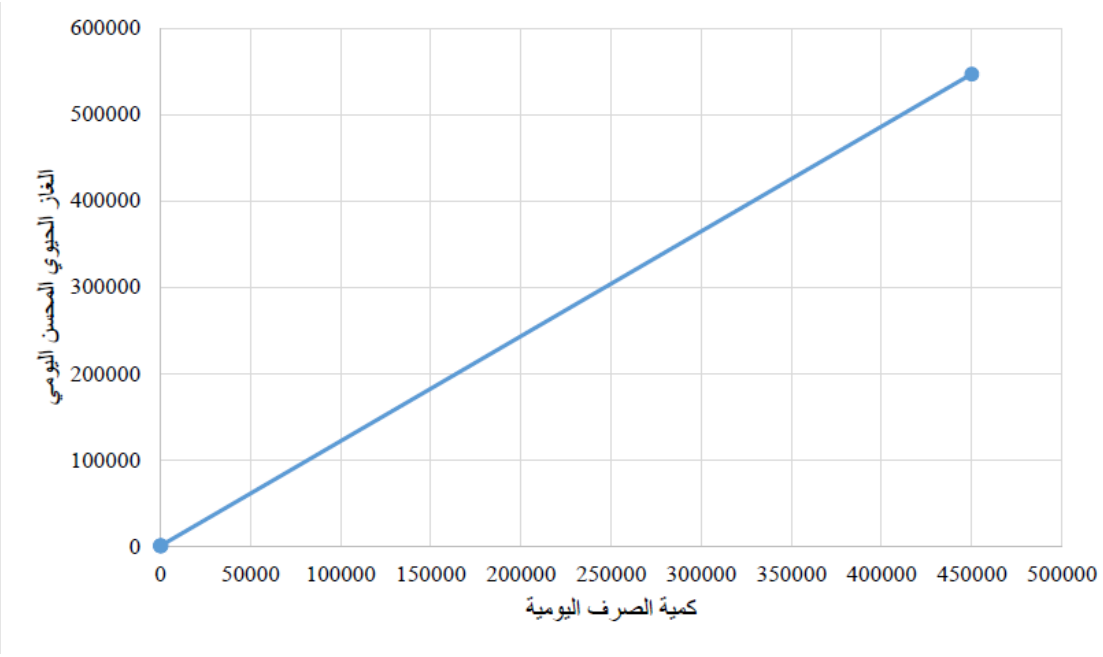
جدول (2): يوضح قيم المعطيات الأساسية لعملية إنتاج الغاز

المعطيات	القيمة
متوسط إنتاج الصرف الصحي للفرد يوميًا	0.1 إلى 0.15 متر مكعب
نسبة المواد العضوية في الصرف الصحي	%3
إنتاج الغاز الحيوي	30 متر مكعب لكل طن من المواد العضوية (في الظروف التقليدية)
تحسين التخمير (مبادل حراري + بكتيريا)	إنتاج الغاز يزيد بنسبة 61 % ليصل إلى 42.1 متر مكعب لكل طن
سعة خزان التخمير	2.71 متر مكعب
سعة خزان الغاز	0.59 متر مكعب

جدول (3): كمية الصرف اليومية لكل شخص وما تنتجه من الغاز الحيوي.

عدد الاشخاص	كمية الصرف اليومية	المواد العضوية اليومية	الغاز الحيوي المحسن اليومي
شخص	0.1 – 0.15 متر مكعب	0.0813 طن	0.22 – 0.33 متر مكعب
23 شخص	2.3 – 3.45 متلر مكعب	0.069 – 0.1035 طن	5.06 – 7.59 متر مكعب
200 شخص	20 – 30 متر مكعب	0.6 – 0.9 طن	24.3 – 36.45 متر مكعب
2000 شخص	200 – 300 متر مكعب	6 – 9 طن	243 – 364.5 متر مكعب
300.000 شخص	300.000 – 450.000 متر مكعب	9000 – 13500 طن	364.500 – 546.750 متر مكعب

تعتمد كفاءة نظام إنتاج الغاز الحيوي من مياه الصرف الصحي على التوازن الدقيق بين حجم الخزانات، ونوع المضخات، والبكتيريا المتخصصة المستخدمة (مثل البكتيريا التيرموفيلية التي تنتج الميثان)، وأنظمة التحكم في الضغط ودرجة الحرارة، مع وجود صمامات أمان ونظام لفصل بخار الماء لضمان السلامة والأداء الأمثل. يمكن تكييف هذا النظام ليناسب مواقع متنوعة كالموانئ البحرية، حيث يمكن تعديل أحجام الخزانات ومعدل إنتاج الغاز الحيوي وكمية المخلفات العضوية بناءً على احتياجات كل موقع. يعتمد النظام على التخمير اللاهوائي للمواد العضوية، حيث يتم تحويل 50 - 70 % منها إلى غاز حيوي، بينما يستخدم المتبقي 30 – 50% كسماد عالي الجودة، مما يقلل من التأثير البيئي، ويتم اختيار أحجام الخزانات صغيرة إلى متوسطة لتسهيل النقل والتركيب، مع استخدام مضخات عالية الكفاءة لضمان التدفق المناسب.



الشكل (2): الغاز الحيوي المنتج من كمية الصرف اليومية

حيث يوضح الشكل (2) العلاقة بين كمية الصرف اليومية للمخلفات الأدمية وبين كمية الغاز الحيوي المنتجة في اليوم الواحد حيث أظهر أن العلاقة طردية بحيث أنه كلما زادت كمية الصرف الصحي كلما زاد الغاز الحيوي المنتج يومياً.

الخاتمة:

تعتمد كفاءة نظام إنتاج الغاز الحيوي من مياه الصرف الصحي على التوازن الدقيق بين حجم الخزانات، ونوع المضخات، والبكتيريا المتخصصة المستخدمة مثل البكتيريا التيرموفيلية التي تنتج الميثان، وأنظمة التحكم في الضغط ودرجة الحرارة، مع وجود صمامات أمان ونظام الفصل بخار الماء لضمان السلامة والأداء الأمثل. يمكن تكييف هذا النظام ليناسب مواقع متنوعة كالموانئ البحرية، حيث يمكن تعديل أحجام الخزانات ومعدل إنتاج الغاز الحيوي وكمية المخلفات العضوية بناءً على احتياجات كل موقع. يعتمد النظام على التخمير اللاهوائي للمواد العضوية، حيث يتم تحويل 50-70% منها إلى غاز حيوي، بينما يستخدم المتبقي 30-50 % كسماد عالي الجودة، مما يقلل من التأثير البيئي، ويتم اختيار أحجام الخزانات صغيرة إلى متوسطة لتسهيل النقل والتركيب، مع استخدام مضخات عالية الكفاءة لضمان التدفق المناسب. ومن خلال هذه الدراسة تم التعرف على الأساليب والتقنيات المختلفة المستخدمة في إنتاج الغاز الحيوي من مياه الصرف الصحي.

الاستنتاجات:

1. تم اختيار الفولاذ المقاوم للصدأ 316 لضمان مقاومة التآكل والمتانة في بيئات العمل البحرية، مما يعزز كفاءة نظام إنتاج الغاز الحيوي.
2. كلما زاد عدد الأشخاص، زادت كميات الصرف الصحي والمواد العضوية والغاز الحيوي المحسن بشكل ملحوظ، مما يدل على العلاقة المباشرة بين عدد السكان وكمية النفايات الناتجة.
3. الكميات المستخرجة من الصرف والمواد العضوية والغاز الحيوي تأتي ضمن نطاقات محددة، مما يشير إلى أن هذه القيم يمكن أن تتأثر بعوامل مختلفة مثل أنماط الحياة وطرق إدارة النفايات؛ حيث تمثل كمية المواد العضوية التي يتم إنتاجها يوميًا، من قبل 2000 شخص، تنتج كمية من الغاز الطبيعي تتراوح ما بين 364,500 - 546,750 متر مكعب.
4. استخدام هذه التقنية سيلعب دور كبير في المحافظة على صحة الموانئ والالتزام بالاتفاقيات الدولة الملزمة.
5. الكميات المنتجة من الغاز تشكل داعم ومشجع لإنتاج الطاقة النظيفة والمحافظة على ديمومة الموارد البحرية.
6. امكانية تكييف هذا النظام ليناسب مواقع متنوعة كالموانئ البحرية، حيث يمكن تعديل أحجام الخزانات ومعدل إنتاج الغاز الحيوي وكمية المخلفات العضوية بناءً على احتياجات كل موقع.
7. يعتمد النظام على التخمير اللاهوائي للمواد العضوية، حيث يتم تحويل 50 – 70 % منها إلى غاز حيوي، بينما يستخدم المتبقي 30 – 50% كسماد عالي الجودة، مما يقلل من التأثير البيئي.

المراجع:

1. رفعت عبد الوهاب (2016) "تحويل الحمأة إلى طاقة "الفرص والتحديات "معرض ميونخ الدولي لمياه الشرب والصرف الصحي ميونخ، ألمانيا.
2. Schumüller, K., Weichgrebe, D. and Köster, S., (2022). Biogas potential of organic waste onboard cruise ships—A yet untapped energy source. Biomass Conversion and Biorefinery, 12(12), pp.5647-5662.
3. González-Arias, J., Sánchez, M.E., Cara-Jiménez, J., Baena-Moreno, F.M. and Zhang, Z., (2022). Hydrothermal carbonization of biomass and waste: A review. Environmental Chemistry Letters, 20(1), pp.211-221.
4. Toneatti, L., Deluca, C., Fraleoni Morgera, A., Piller, M. and Pozzetto, D., (2022). Waste to energy onboard cruise ships: A new paradigm for sustainable cruising. Journal of Marine Science and Engineering, 10(4), p.480.
5. Abhinav Mohan, Arya Manoj and Sunil Kumar P G, (2024) Sustainable Green Technology for Biogas Production from Organic Waste on Cruise Ships.
6. Environmental, M. (2024). API Separators. Retrieved (2024), from Monroe Environmental website: https://www.monroeenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/api-separators.