ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

إمكانية استخدام الغاز الحيوي لإنتاج الطاقة الكهربائية من مصافي المياه العادمة في جنوب بغداد

م.م. ضحى حسن محسن
كلية التربية للبنات، جامعة بغداد، العراق
البريد الالكتروني: dhuha.h@coeduw.uobaghdad.edu.iq

م.د. آيات سعيد حسين
كلية التربية للبنات، جامعة بغداد، العراق
البريد الالكتروني: ayat.saeed@coeduw.uobaghdad.edu.iq

الملخص

يهدف البحث إلى تحليل إمكانية استثمار الغاز الحيوي الناتج من مشاريع تصفية المياه العادمة في جنوب بغداد بوصفه مصدرًا متجددًا لإنتاج الطاقة الكهربائية ، مع التركيز على غاز الميثان بوصفه المكوّن الرئيس ذي القيمة الحرارية العالية . اعتمدت الدراسة على القياسات الميدانية لتراكيز غاز الميثان في مشروعي الرستمية والكرخ الرئيسية خلال فصلي الشتاء والصيف ، مع مقارنة القراءات بين مراحل المعالجة المختلفة، ابتداءً من المعالجة التمهيدية وصولًا إلى المعالجة المتقدمة .

أظهرت النتائج وجود تراكيز مرتفعة لغاز الميثان تجاوزت المحددات العالمية ، مع تسجيل أعلى القيم في مراحل المعالجة التمهيدية والأولية ، ولاسيما خلال فصل الصيف ، مما يشير إلى أن هذه المراحل تمثل المصدر الرئيس لانبعاث الغاز الحيوي . كما بيّن التحليل الإحصائي وجود تباين فصلي واضح ، إذ سجلت تراكيز الغاز متوسطات أعلى في فصل الصيف مقارنة بفصل الشتاء ، ويُعزى ذلك إلى تأثير ارتفاع درجات الحرارة في زيادة نشاط عمليات التحلل اللاهوائي للمواد العضوية .

واعتمادًا على التقديرات التقريبية، أظهرت الدراسة أن تجميع نحو 100 $م^3$ يوميًا من الغاز الحيوي يمكن أن يسهم في إنتاج ما يقارب 200 كيلوواط/ساعة يوميًا من الطاقة الكهربائية ، الأمر الذي يعكس جدوى اقتصادية وبيئية واضحة في تشغيل أجزاء من منظومة مشاريع التصفية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية .

وتوصلت الدراسة إلى إمكانية استثمار الغاز الحيوي باستخدام تقنيات تحويل الطاقة ، مثل محركات الاحتراق الداخلي وخلايا الوقود ، بما يسهم في خفض الانبعاثات الغازية وتقليل كلف التشغيل ، فضلًا عن تعزيز توجهات الاستدامة البيئية والطاقة المتجددة في منطقة الدراسة .

الكلمات المفتاحية: الغاز الحيوي، الميثان، المياه العادمة، الطاقة الكهربائية، جنوب بغداد.

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

The Possibility of using Biogas to Produce Electricity from Wastewater Treatment Plants in Southern Baghdad

Dhuha Hasan Mohsin
College of Education for Women, University of Baghdad, Iraq
Email: dhuha.h@coeduw.uobaghdad.edu.iq

Dr. Ayat Saeed Hussein
College of Education for Women, University of Baghdad, Iraq
Email: ayat.saeed@coeduw.uobaghdad.edu.iq

ABSTRACT

This study aims to analyze the potential of utilizing biogas produced from wastewater treatment projects in southern Baghdad as a renewable source for electricity generation, focusing on methane as the primary component with high calorific value. The study relied on field measurements of methane concentrations at the Rustamiya and Karkh main projects during both winter and summer, comparing readings across different treatment stages, from preliminary to advanced treatment.

The results showed high methane concentrations exceeding international limits, with the highest values recorded in the preliminary and primary treatment stages, particularly during the summer. This indicates that these stages are the main source of biogas emissions. Statistical analysis also revealed a clear seasonal variation, with average gas concentrations being higher in the summer compared to the winter. This is attributed to the effect of higher temperatures on increasing the activity of anaerobic decomposition processes of organic matter. Based on rough estimates, the study showed that collecting approximately 100 m^3 of biogas per day could contribute to the production of nearly 200 kWh of electricity per day. This demonstrates clear economic and environmental feasibility for powering parts of the wastewater treatment plant and reducing reliance on traditional energy sources.

The study also concluded that biogas can be utilized using energy conversion technologies, such as internal combustion engines and fuel cells, which would contribute to reducing gas emissions and operating costs, as well as promoting environmental sustainability and renewable energy in the study area.

Keywords: Biogas, Methane Gas, Wastewater, Electricity, South Baghdad**.**

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

المقدمة :

يشهد العالم في السنوات الأخيرة تزايدًا ملحوظًا في الطلب على الطاقة الكهربائية نتيجة النمو السكاني المتسارع والتوسع الحضري والصناعي ، الأمر الذي دفع إلى البحث عن بدائل مستدامة لمصادر الطاقة التقليدية . وفي هذا السياق برزت أهمية الموارد الثانوية الناتجة عن الأنشطة الخدمية والحضرية ، ومن أبرزها المياه العادمة التي تحتوي على كميات كبيرة من المواد العضوية القابلة للتحلل ، والتي يمكن الإفادة منها في إنتاج مصادر طاقة متجددة ذات مردود اقتصادي وبيئي .

وتُعد محطات معالجة المياه العادمة من المنشآت الحيوية التي لا تقتصر أهميتها على الجوانب البيئية والصحية فحسب ، بل تمتد لتشمل الجانب الاقتصادي والطاقة ، إذ يمكن الإفادة من الحمأة الناتجة عن عمليات المعالجة في إنتاج الغاز الحيوي ، ولاسيما غاز الميثان ، من خلال عمليات الهضم اللاهوائي التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة . ويتميز هذا الغاز بقابليته للاحتراق ، مما يجعله مصدرًا مناسبًا لتوليد الطاقة الكهربائية وتشغيل الوحدات والمولدات الخاصة بالمحطات .

وتواجه مدينة بغداد تحديات بيئية متزايدة نتيجة ارتفاع كميات المياه العادمة المتولدة يوميًا ، الأمر الذي يجعل استثمار الغاز الحيوي الناتج من مشاريع التصفية خيارًا عمليًا يسهم في تقليل الانبعاثات الغازية وتحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل هذه المشاريع . ومن هذا المنطلق تأتي هذه الدراسة لتسليط الضوء على إمكانية توظيف الغاز الحيوي المنبعث من مصافي المياه العادمة في جنوب بغداد بوصفه مصدرًا متجددًا لإنتاج الطاقة الكهربائية .

مشكلة البحث :

تمثل مشكلة البحث في التساؤل حول مدى إمكانية استثمار الغاز الحيوي المتولد من مصافي المياه العادمة في جنوب بغداد وتحويله إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام ، مع بيان ما إذا كانت كميات المواد العضوية المتوافرة في هذه المصافي كافية لإنتاج غاز حيوي يحقق جدوى اقتصادية وبيئية مستدامة .

فرضية البحث :

تنطلق الدراسة من فرضية مفادها أن مصافي المياه العادمة في جنوب بغداد تحتوي على كميات مناسبة من المواد العضوية القابلة للتحلل ، الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج غاز حيوي ، ولاسيما غاز الميثان ، بكميات يمكن استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية، بما يسهم في خفض التلوث البيئي وتحسين الكفاءة التشغيلية لهذه المصافي.

منهجية البحث :

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي مدعومًا بالقياسات الميدانية والتحليل الإحصائي الوصفي، بهدف بيان التباين في تراكيز غاز الميثان بين مواقع القياس المختلفة في مشروعي الرستمية والكرخ الرئيسة خلال فصلي الشتاء والصيف.

وشملت الدراسة قياس تراكيز غاز الميثان (CH_4)في هواء مشاريع تصفية المياه العادمة باستخدام جهاز Gasmet DX4000 المعتمد على تقنية الأشعة تحت الحمراء ((FTIR، وذلك في مراحل المعالجة التمهيدية والأولية والثانوية والثالثية المتقدمة.

كما تم اعتماد المتوسط الحسابي والانحراف المعياري بوصفهما من أهم المؤشرات الإحصائية الوصفية المستخدمة في وصف البيانات وتحليل درجة التباين والتشتت بين القراءات المسجلة.

حدود البحث :

تناولت الدراسة مدينة بغداد والتي تُمثل موقعاً وسطاً بالنسبة للعراق، ضمن منطقة السهل الرسوبي ذات الارض المنبسطة، إذ تمتد مابين دائرتي عرض (33 ° 11) و(33 ° 29) شمالاً وخطي طول (44 ° 10) و (44 ° 33) شرقاً.

ويدخل نهر دجلة مدينة بغداد من قسمها الشمالي الغربي في منطقة شاطىء التاجيات وينتهي بمسافة ثلاثة كيلو مترات الى الجنوب من نهر ديالى في منطقة جسر ديالى، ويبلغ طولهِ بين تلكَ المنطقتين (58 كيلومتر)،

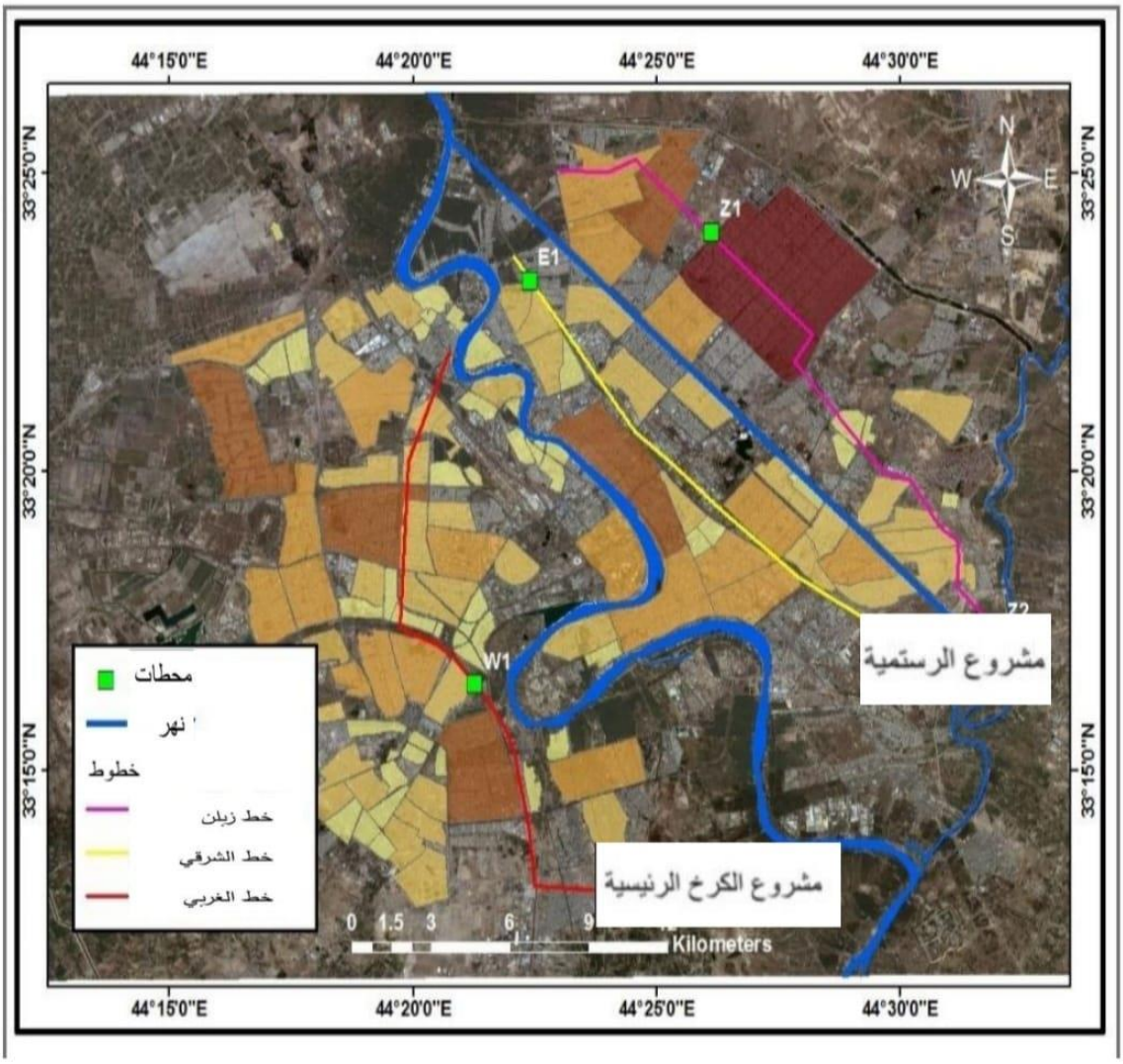
DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

وويتفاوت عرضهُ من مكان لآخر، إذ يتراوح بين (190 متراً) في أجزائهِ المُستقيمة، و (500 متراً) في أماكن أخرى (النوري، 1999) خريطة (1).

خريطة (1)

مشروع معالجة المياه العادمة الرستمية والكرخ الرئيسية



ملاحظة . المصدر : امانة بغداد ، دائرة مجاري بغداد ، قسم التصاميم ، شعبة نظم المعلومات الجغرافية GIS ، بيانات غير منشورة ، 2022 .

1- طريقة العمل :

شملت الدراسة قياس تراكيز الغاز الحيوي (CH_4) في هواء مشاريع تصفية المياه العادمة ،والمنبعث من مراحل معالجة مياه المجاري والمتمثلة بأربعة خطوط رئيسية هي التمهيدية والأولية والثانوية و الثلاثية المعقدة في جانب الرصافة مشروع الرستمية ومشروع الكرخ الرئيسية في جانب الكرخ ، إذ تم قياس الغاز الحيوي (CH_4) بواسطة جهاز قياس الغازات DX4000Gasmet هو جهاز محمول يحتوي على تقنية الأشعة تحت الحمراء FTIR ، والتي تعد تقنية فورية للحصول على طيف بالأشعة تحت الحمراء ،وهذه التقنية تساعد

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

على توفير مراقبة فورية ودقيقة لكثير من الغازات ، فضلاً عن مرونتها التي تساعد في استخدامها بكثير من التطبيقات البحثية وعمليات القياس ومراقبة الانبعاثات الغازية ، ويعد حالياً من احدث الأجهزة في تحليل ومراقبة الانبعاثات الغازية ، إذ يعطي نتائج دقيقة وعالية الجودة مشابه الى أنظمة Gasmet الثابتة ، ويتميز بالسهولة والسرعة فضلاً عن سهولة نقلها لذلك يساعد المحلل في تقليل الوقت والجهد ، يتحسس العينة بشكل مباشر عن طريق الحساس الموجود فيه دون الحاجة إلى التكيف المسبق للعينة ويعطي بالمقابل نتائج دقيقة ومباشرة، يقيس الجهاز العديد من الغازات الأتية في نفس الوقت CO_2، N_2O، NO، NO_2، SO_2، HCl، HF، C_2H_6، CH_4 ، C_2H_4، C_3H_8، CH_2O،CO وغيرها. كما موضح في شكل(1) جهاز Gasmet DX4000 أثناء الدراسة الحقلية .

شكل (1) توضح جهاز (Gasmet DX4000)

ملاحظة . اثناء الدراسة الحقلية ، 18 تموز 2023 .

2- مشاريع تصفية المياه العادمة في منطقة الدراسة

تعرف منظمة الصحة العالمية (WHO) المياه العادمة المدنية بأنها المياه الناتجة عن المناطق السكنية والصناعية والتجارية ، وهي تتكون من خليط من المياه والملوثات التي تضم بشكل عام المواد المذابة والعالقة الناتجة عن المخلفات البشرية والزيوت والدهون والبقايا النباتية والحيوانية والمواد الكيميائية الناتجة عن المنازل والأتربة ، والكائنات المسببة للأمراض والمواد العضوية القابلة للتحلل والأملاح المعدنية الذائبة، والمعادن الثقيلة ، والمواد المغذية للنباتات كالنتروجين والبوتاسيوم والفوسفات وغيرها (الحديثي، 1997) . تتميز مشاريع المعالجة بكثير من المواصفات التكنولوجية الحديثة ابرزها استخدام تقنية التعقيم بمنظومة السيطرة ألاوتوماتيكية لإدارة عملية المعالجة مع منظومة مراقبة مركزية لعمل المشروع من غرفة السيطرة كما في مشروع الكرخ الرئيسية ، فضلاً عن ذلك ان هذه المشاريع ذات مردود اقتصادي عالي وممكن أن تكون مشاريع مربحة وفي الوقت نفسه تساهم في استدامة البيئة من خلال توليد غاز الميثان الذي يعد من مصادر الطاقة النظيفة لتوليد الطاقة الكهربائية اللازمة لعمل المشروع عن طريق الطاقة الحرارية الناتجة من حرق غاز الميثان واستغلال الناتج من المخلفات الصلبة المعالجة كمدخل لصناعة الأسمدة العضوية وإعادة استخدام المياه النظيفة الناتجة لأغراض ري المناطق الخضراء في منطقة الدراسة وبالتالي فان هذه المشاريع تحافظ على البيئة بل وتساهم في تحسينها (جاسم، 2023). وإنَّ الطاقة التشغيلية لمشاريع التصفية في منطقة الدراسة نجد إنها تساوي (3.745.615) م^3/يوم وبذلك فان كمية المياه العادمة الداخلة إلى محطات مشاريع التصفية تعدت الطاقة التصميمية (955.000) م^3/يوم ، وبسبب زيادة السكان لمنطقة الدراسة ، سوف ينتج عنها ارتفاع كمية المياه العادمة المتولدة الى محطات المعالجة وتبلغ كمية المياه العادمة الناتجة عن مدينة بغداد (12824758) م^3/يوم، إذ

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

سيؤدي ذلك الى دخول كميات اضافية من هذه المياه الى مشاريع التصفية ، وهذا ما يزيد من مياه التصريف بكميات كبيرة في نهر دجلة جانب الكرخ ونهر ديالى في جانب الرصافة مما يعرض مصادر المياه الى التلوث (جاسم، 2023).

اولاً : مشروع الرستمية في جانب الرصافة

يقع مشروع الرستمية القديم على ضفاف نهر ديالى جنوب مدينة بغداد في منطقة الرستمية عند نهاية خط بغداد الرئيسي الناقل للمياه العادمة يخدم المشروع مناطق بغداد الواقعة بين قناة الجيش شرقاً ونهر دجلة غرباً ، ابتدءاً من منطقة الأعظمية شمالاً وصولاً إلى منطقة الرستمية جنوباً ، ويقدر تعداد السكان المشمولين بهذه الخدمة اليوم بحوالي أربعة ملايين شخص .

تم أنشاء المرحلة الأساسية والتي نسميها اليوم المرحلة الصفرية (Stage 0) عام 1960 بطاقة تصميمية تبلغ (40.000 م^3 / يوم) وفي عام 1974 تم إضافة التوسع الأول (Stage 1) مدمج جزئياً مع المرحلة الأساسية وبطاقة تصميمية تبلغ (45.000) م^3 /يوم وأخيرا تم إضافة التوسيع الثاني (Stage 2) في عام 1981 وبطاقة تصميمية تبلغ (90.000) م^3 /يوم ، وفضلاً عن ذلك تم أنشاء الوحدات الخمسة في عام 2014 بطاقة تصميمية تبلغ (75.000 م^3 / يوم) . وبذلك أصبحت طاقة المشروع الإجمالية (250.000) م^3 /يوم.

يمتد المشروع على أرض مساحتها (700) كم مسيجة بجدار من البلوك الخرساني ، ويحتوي على عشرات الأبنية الكبيرة والصغيرة والمنشئات المتخصصة كالقنوات والأحواض و الخزانات فضلاً عن عدد من الساحات المبلطة والترابية وحدائق ومزارع واسعة تربط بينها جميعاً شوارع مبلطة (امانة بغداد، مشروع الرستمية (بيانات غير منشورة)، 2022) على الجانب الأيسر من الطريق المؤدي إلى محافظة البصرة قرب جسر ديالى الجديد ، ويتم تصريف المياه العادمة المعالجة إلى نهر ديالى ، بداية عمل مشروع الرستمية الشمالي عام 1988 ، ويخدم المشروع 1.500.000 نسمة / شرق القناة الطاقة التصميمية للمشروع 300000 م ^{3}/يوم الطاقة القصوى للمشروع، 900.000 م^3/ يوم ، أن كمية المياه المرفوعة للخط (1-2) للمضخة الواحدة 5400 م^3/ساعة ، أما كمية المياه المرفوعة للخط (3-7) للمضخة الواحدة 7200 م3/ساعة ، و تصل المياه العادمة إلى المشروع عن طريق أنبوب رئيس يسمى (خط زبلن) قطره 3 متر وبعمق 7.5 متر عن مستوى سطح الأرض الذي يخدم منطقة تبلغ مساحتها (52) كم شرق قناة الجيش وتخدم مساحة كبيرة من الجانب الشرقي لجانب الرصافة ضمن حدود المناطق (الشعب ، الصدر الاولى والصدر الثانية ، بغداد الجديدة) والتي تتميز بذات كثافة سكانية عالية عدا بعض الأنشطة الصناعية ويقوم المشروع بمعالجة وتعقيم المياه العادمة الواردة إليها من محطات الضخ الرئيسة قبل تصريفها إلى مياه نهر ديالى. (امانة بغداد، مشروع الرستمية (بيانات غير منشورة)، 2022) .

ثانياً : مشروع الكرخ الرئيسية في جانب الكرخ

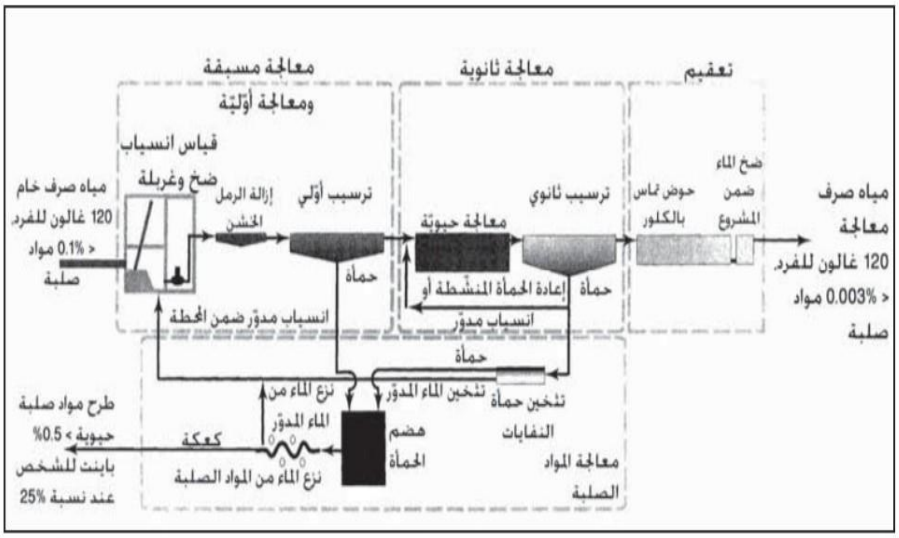
تُعالج المياه العادمة الخاصة بجانب الكرخ في مشروع الكرخ الواقع في منطقة البوعيثة التابعة لناحية الرشيد ضمن قضاء المحمودية. وتبلغ الطاقة التصميمية للمشروع نحو (405,000) م^3/يوم، في حين وصلت كمية التصريف الفعلية للمياه العادمة الواصلة إلى المحطة الرئيسة إلى ما يقارب (642,215) م^3/يوم، الأمر الذي يشير إلى وجود عجز واضح في القدرة الاستيعابية للمشروع مقارنةً بحجم التصريف اليومي. وبعد إتمام عمليات المعالجة، تُطرح المياه المعالجة في نهر دجلة. ويخدم المشروع المناطق السكنية الواقعة ضمن حدود نواحي الكاظمية والمنصور والمأمون، إضافة إلى معظم مناطق ناحية الرشيد في جانب الكرخ من مدينة بغداد، والبالغ عدد سكانها نحو (2,570,289) نسمة. كما تتباين مراحل التصفية في المشروع من حيث التقنيات المستخدمة وكميات المياه العادمة الداخلة إلى كل مرح (امانة بغداد، مشروع الكرخ ، 2022) ، وفي عام 2014 باشر المشروع معالجة المياه العادمة الواردة من جانب الكرخ في محافظة بغداد بطاقة تصميمية بلغت (200,000) م^3/يوم ، وعلى مساحة تقدر بنحو (5) كم^2. ويعتمد المشروع في تشغيله على تقنية (LUCAS) للمعالجة الثنائية، التي تشمل مرحلتين رئيسيتين هما المعالجة الفيزيائية والمعالجة البايولوجية. كما تعمل وحدات المشروع بصورة آلية من خلال منظومة السيطرة والتحكم عن بُعد (SCADA) ، إذ تُنفَّذ جميع عمليات المعالجة وفق برنامج الماتركس الذي يتضمن المعلومات الخاصة بتشغيل معدات المشروع بصورة متسلسلة وضمن

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

أوقات محددة، بما يضمن كفاءة تصفية المياه العادمة. ويُذكر أن المشاريع الحديثة لمعالجة المياه العادمة بدأت بالظهور في أواخر القرن التاسع عشر، حين بُذلت محاولات لتطوير عمليات تهدف إلى خفض المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي في المياه العادمة قبل تصريفها إلى الانهار (بيبر، جيريا، و بروسو، 2022) . ويقصد بمعالجة المياه العادمة هي عملية تنقية المياه من الشوائب والمواد العالقة والعضوية لتصبح صالحة لإعادة الاستخدام أو لتكون صالحة للتخلص منها في المجاري المائية دون أن تسبب تلوثا لها (حمادي، 2013) . وتشمل معالجة مياه الصرف الصحي مجموعة من العمليات الكيمائية والطبيعية والاحيائية لإزالة الملوثات أو خفض نسبتها لدرجة مقبولة ، وتقسم هذه المعالجات إلى عمليات تمهيدية أولية وثانوية و ثلاثية معقدة (محمد، 2018) . ويوضح الشكل (2) مخطط المعالجة التقليدية للمياه العادمة .

شكل (2)
مخطط معالجة المياه العادمة



ملاحظة . مقتبس من هامر ، 2015 ، ص 770.

3- مراحل معالجة المياه العادمة لإنتاج الغاز الحيوي (الميثان)

يتم تخفيض كمية المخلفات العضوية القابلة للتحلل البيولوجي بوساطة عدة معالجات و تحت ظروف المعالجة الكاملة للمياه العادمة ينتج الغاز الحيوي (الميثان) (بيبر، جيريا، و بروسو، 2022) وفيما يأتي شرح موجز لأهم أربع مراحل مستخدمة حاليا حول العالم :

أولا : مرحلة المعالجة التمهيدية :

يفصل في هذه المرحلة ، ويزال ما يتراوح بين 10-5 % من المخلفات العضوية القابلة للتحلل ، فضلاً عن كميات تتراوح ما بين 20-2 % من المواد العالقة الأخرى ، فإن الماء الناتج من هذه المرحلة ، ينقل إلى المرحلة التالية ، وفي هذه المرحلة ، تمرر المياه العادمة على خلاطات لتحويل المخلفات العضوية الكبيرة الحجم ، إلى مخلفات أصغر حجماً . ثم يمر الخليط من خلال شبكات ومرشحات ومناخل، للتخلص من المخلفات غير العضوية (حمادي، 2013) . وعندما يزيد معدل تصريف مياه المجاري في الأنابيب و تزداد المخلفات السائلة العضوية باعتبارها قادمة من مناطق سكنية ، وأن سير المياه العادمة في أنابيب رئيسية وفرعية تعتمد على انحدار ارض انابيب المجاري (الخزعلي و المالكي، 2015) ، فعندما تكون السرعة بطيئة ستترسب المواد العضوية الصلبة وبالتالي تحلل المواد العضوية بفعل بكتريا لا هوائية (مجيد و عباس، 2018) ، وإزالة هذه المخلفات العضوية ضروري لعملية المعالجة اللاحقة .

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

ثانياً: المعالجة الأولية :

إن الغرض من هذه المعالجة إزالة المخلفات العضوية والنفايات الصلبة اللاعضوية القابلة للفصل من خلال عملية الترسيب الأولي ، ويمكن في هذه المرحلة من المعالجة إزالة (35 – 50 %) من المواد العضوية القابلة للتحلل ، فضلاً عن (50 - 70 %) من المواد العالقة ، و(65 %) من الزيوت والشحوم ، وحتى هذه الدرجة من المعالجة فإن الماء لا يزال غير صالح للاستعمال (الحيدري ، 2012) . أما خطوات المعالجة الأولية وهي :

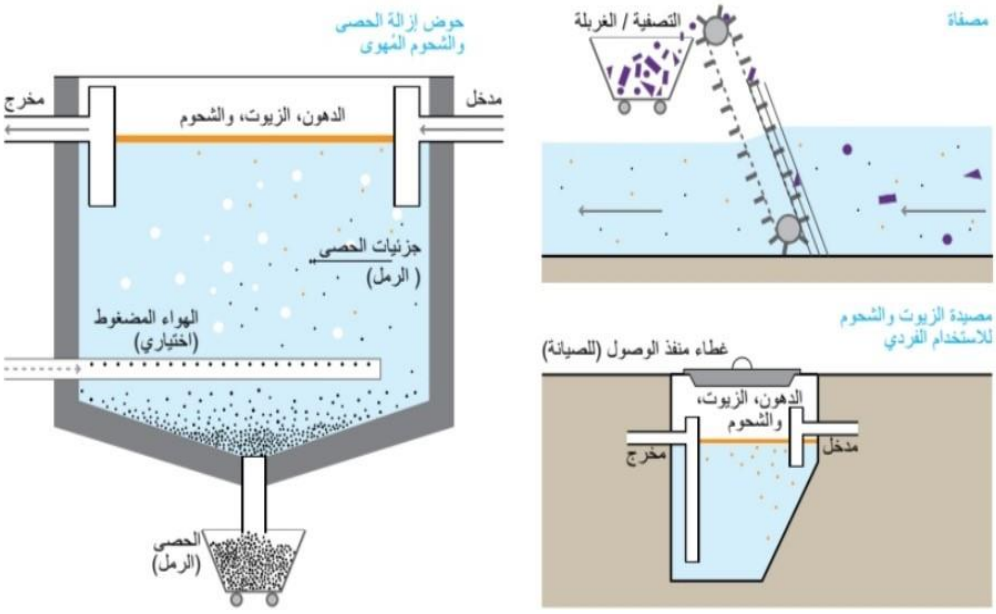
- أحواض التهوية المسبقة :

تتم عملية التهوية المسبقة للمخلفات العضوية في أحواض تهوية خاصة تسبق أحواض الترسيب الأولية وهي تستخدم إذا كان تركيز المخلفات العضوية في المياه العادمة عالياً والغرض من هذه التهوية هو إزالة الغازات الناتجة عن التحلل اللاهوائي الذي يكون قد حدث للمخلفات العضوية في أثناء انتقال المياه العادمة في شبكات المجاري مدة طويلة وكذلك إكساب المخلفات العضوية بعض الأوكسجين المذاب مما يساعد على زيادة كفاءة خطوات المعالجة التالية لها (الحيدري، 2012) .

- أحواض حجز الزيوت :

يفضل في حالة وجود كمية كبيرة من المواد الدهنية في المياه العادمة ان تفُصل هذه المخلفات عن بقية المخلفات قبل معالجتها بالترسيب الأولي إذ أن وجود مثل هذه المخلفات قد يعيق كفاءة الترسيب إذ تطفو على سطح احواض الترسيب بما يلتصق عليها من مخلفات عالقة ، ويزود مخرج الحوض بجدار لمنع خروج الدهون الطافية مع بقية المخلفات العضوية على أن تكشط هذه الزيوت كلما تجمعت ويتم التخلص منها (Malollari, et al., 2019) . والشكل (3) يوضح مخطط أحواض حجز الزيوت للمياه العادمة .

شكل (3) مخطط أحواض حجز الزيوت لمياه الصرف العادمة



ملاحظة. مقتبس من Tilley et al. (2014, p. 100)

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

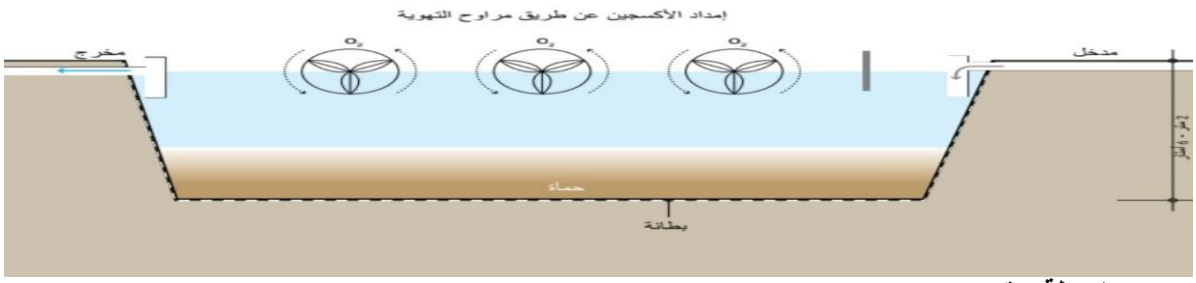
- **أحواض الترسيب الابتدائى :**

تستخدم أحواض الترسيب في فصل وإزالة المخلفات الصلبة الناعمة ، وفي هذه المرحلة يُمكن إزالة (35-50%) من المخلفات العضوية القابلة للتحلل ، فضلاً عن (50-70%) من المواد العالقة (محمد، 2018) ، ويتم في أحواض الترسيب الابتدائى ترسيب المخلفات سواء كانت عضوية أو غيرعضوية ونتيجة لذلك تنخفض المخلفات العالقة بنسبة تصل إلى (55%) من تركيزها الموجود في مياه المجاري قبل معالجتها كما ينخفض الأكسجين المستهلك بنسبة تصل إلى(40%) (عبد الصبور، 2000) . و يسبب التحلل البكتيري اللاهوائي للمخلفات العضوية في المياه العادمة تولد الغازات السامة ، أهمها غاز الميثان فينتج في حال غياب الاكسجين (السلطاني، 2013) . إذ تقوم البكتيريا اللاهوائية بتحويل الكربون العضوي إلى الغاز الحيوي (الميثان) ، ومن خلال هذه العملية (الأكسدة) يتم إزالة ما يصل إلى 60% من الاحتياج الحيوي للأكسجين BOD وهي مرحلة المُعالجة الابتدائية والتي تُقلل الحمأة العضوي في المياة العادمة . و يتراوح عمق الحوض من 2 إلى 5 أمتار، ويكون احتجاز المياه العادمة مدة قصيرة نسبيًا تتراوح ما بين (يوم واحد إلى سبعة أيام) (Tilley, et al., 2014)

ثالثاً: المعالجة الثانوية :

تُعد المعالجة الثانوية مرحلة أساسية في منظومة تصفية المياه العادمة ، إذ تعتمد بصورة رئيسة على العمليات البيولوجية التي تنفذها الكائنات الحية الدقيقة، ولاسيما البكتيريا الهوائية. (عبد الصبور، 2000) . تعمل هذه الكائنات على تحليل المركبات العضوية الذائبة والعالقة من خلال استهلاك الأوكسجين المذاب في الماء، مما يؤدي إلى خفض الحمل العضوي وتحسين نوعية المياه الخارجة من هذه المرحلة. ومع ازدياد تركيز المواد العضوية ترتفع حاجة الكائنات الدقيقة إلى الأوكسجين، وهو ما ينعكس على قيم الطلب الحيوي للأوكسجين (BOD) بوصفه مؤشرًا لدرجة التلوث العضوي (Alam & et al, 2007) ، عندئذ تنشط البكتريا اللاهوائية إذ تتحلل المخلفات العضوية نتيجة الغاز الحيوي (الميثان) . وتتم المعالجة في هذه المرحلة تهوية المياه العادمة وتقليبها لمدة (4-10) ساعة (السيد، 2006) ، ولتنشط تلك الكائنات إذ تقوم بعملية أكسدة المواد العضوية ، ويساعد التقليب المستمر على تخثر المواد العالقة وتجميعها في كتل كبيرة نسبياً يسهل ترسيبها ، وتستخدم الكائنات الحية الدقيقة لتحطم المادة العضوية إلى مركبات غير عضوية وغير ملوثة (موسى، 2000) ، وتجميعها في كتل كبيرة نسبياً يسهل ترسيبها فى أحواض الترسيب الثانوية التي تتلقى المياه الخارجة من أحواض التهوية (عبد الصبور، 2000) ، كما موضح في الشكل (4) مخطط حوض التهوية.

شكل (4)
مخطط حوض التهوية



ملاحظة. مقتبس من Tilley et al. (2014, p. 100)

- **الترسيب النهائي :**

تمثل مرحلة الترسيب النهائي إحدى المراحل المكملة لعمليات المعالجة، إذ تُنقل المياه الخارجة من أحواض التهوية إلى أحواض الترسيب النهائية بهدف فصل ما تبقى من المواد العالقة والحمأة البيولوجية الناتجة عن نشاط الكائنات الدقيقة. وتُسهم هذه المرحلة في تحسين صفاء المياه وتقليل ما تبقى من الملوثات العضوية،

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

كما يمكن أن تُستكمل بعمليات التطهير باستخدام الكلور أو وسائل تعقيم أخرى لضمان خلو المياه من الملوثات الميكروبية قبل تصريفها إلى المجاري المائية . (بيبر، جيريا، و بروسو، 2022) .

رابعاً: المعالجة الثالثة المتقدمة :

تأتي المعالجة المتقدمة بعد انتهاء مراحل المعالجة الأولية والثانوية، وتهدف إلى إزالة الملوثات المتبقية التي لم تُزل بالطرق السابقة، ولاسيما المركبات الدقيقة والعناصر الغذائية مثل النتروجين والفوسفور، فضلاً عن المواد العضوية المعقدة والمواد الصلبة الدقيقة. وتُعد هذه المرحلة ضرورية للحصول على مياه ذات درجة نقاء مرتفعة يمكن الاستفادة منها في الاستخدامات المختلفة، إذ تسهم في رفع كفاءة التنقية وتقليل الآثار البيئية (المهداوي، 2004).

خامساً: طرق معالجة الحمأة

تعتبر معالجة الحمأة من الأمور البيئية و الصحية الهامة جداً عند معالجة المياه العادمة ، لما تحتويه على مواد سامة و معادن ثقيلة و ملوثات أخرى (صغير، المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي، 2021) . وهو ما يجعل نقله إلى الموقع النهائي للتخلص منه أقل تكلفة ، وتشمل معالجة الحمأة أو الوحل عادة عدة خطوات ، وهي : التكثيف أو التثخين الذي يقلص حجم الوحل ، ويمكن إجراؤه عن طريق السماح للمواد الصلبة بالترسب في خزان والهضم وهي عملية ميكروبية تؤدي إلى استقرار المادة العضوية والقضاء على بعض الكائنات الممرضة بسبب الحرارة المرتفعة الناتجة عن هضم الوحل لاهوائياً وهوائياً ، وتجفيفها و التخلص منها . (Bustillo & et al, 2016)

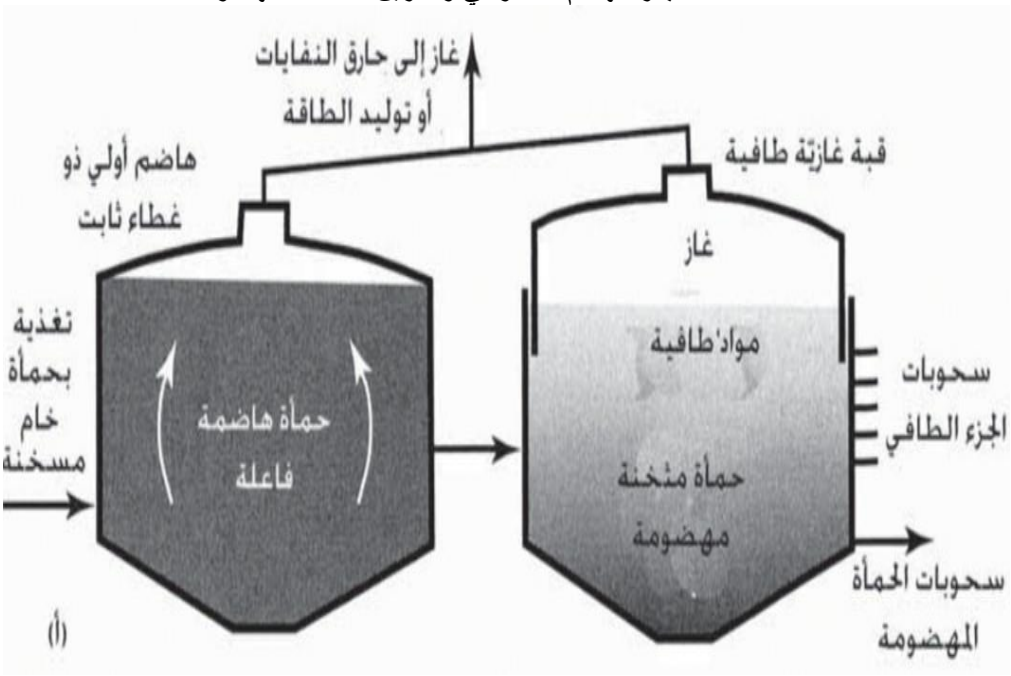
سادساً:عملية التخمير :

يجمع الوحل الناتج من المراحل المعالجة التمهيدية والاولية والثانوية وينقل إلى خزان هضم (التخمير) الوحل لتتولى البكتيريا تكسير المواد العضوية المعقدة ، وتحويلها إلى مواد أقل تعقيداً ، ويصاحب هذه العملية انطلاق غاز الحيوي (الميثان) ، الذي يستخدم مصدراً للوقود . ويجمع الوحل ، المتبقي من هذه العملية ، ويجفف ويستخدم كمخصبات للتربة . ويمكن من خلال المعالجة الثانوية إزالة 90% من المواد العضوية القابلة للتحلل ونحو 85 % من المواد العالقة (حمادي، 2013) . وإن عملية الهضم اللاهوائي تتم في ظروف خالية من الأوكسجين ضمن الهاضم في خزانات كبيرة مغطاة وعلى مدى 2-3 أسابيع (بيبر، جيريا، و بروسو، 2022) . وفي مفاعل الهضم اللاهوائي يعمل مزيج منسجم من الكائنات الدقيقة اللاهوائية ، إذ تكون هناك مجموعة من الكائنات الدقيقة مسؤولة عن تحويل البوليمرات والدهون والشحوم إلى زمر ذات صبغ إنشائية مبسطة، مثل أحاديات السكر و الحموض الأمينية والمركبات المتعلقة بها. وتقوم مجموعة ثانية من البكتريا اللاهوائية بتخمير المنتجات المتفككة إلى احماض عضوية مبسطة و التي من أكثرها شيوعاً هو حمض الخل وهذه المجموعة من البكتريا و التي توصف بأنها غير صانعة للميثان هي بكتريا لا هوائية وهي تعرف بأنها صانعة الحمض فضلاً عن ذلك فهناك مجموعة ثالثة من الكائنات الدقيقة تحول الهيدروجين وحمض الخل المتشكلين من قبل صانعات الحمض إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون وإن البكتريا المسؤولة عن هذا التحول هي لاهوائية بشكل صارم وتدعى البكتريا صانعة الميثان، و من أهم البكتريا الصانعة الميثان هي البكتريا التي تستهلك الهيدروجين و حمض الخل ، وهذه الأنواع من البكتريا بشكل عام ذات معدل نمو بطيء جداً ، مما يعد من الأمور السلبية في مجال معالجة المياه العادمة و بشكل عام يمكن أن تعتبر الحصول على استقرار جيد للحمأة عندما تحصل على إنتاج الميثان و ثاني أكسيد الكربون في منشأة المعالجة . و إن غاز ثاني أكسيد الكربون هو غاز شديد الانحلال في الماء (Zajda & Aleksander-Kwaterczak, 2019) ،كما موضح في الشكل (5) مخطط لانجاز الهضم اللاهوائي وتخزين الحمأة المهضومة .

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

شكل (5)
مخطط لانجاز الهضم اللاهوائي وتخزين الحمأة المهضومة



ملاحظة . مقتبس من هامر ، 2015 ، ص 927.

أما غاز الميثان فهو ضعيف الانحلال في الماء وبالتالي فإن انطلاقه من الماء يعني أن المعالجة قد وصلت إلى حد جيد ويجب أن تحافظ على توازن دائم بين البكتريا الصانعة للميثان ، وغير الصانعة للميثان لكي تحصل على كفاءة معالجة جيدة ، ولكي نؤمن هذا التوازن فإن المفاعل يجب أن يكون خالياً من الأكسجين المنحل ، و يجب أن لا يحوي السائل على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة والكبريتيت ، وأيضاً يجب أن تكون قيمة pH للسائل متراوحة بين (6.6 - 7.6) ، و أن تكون هناك كمية كافية من المركبات القلوية في الماء لكي نضمن عدم انخفاض pH عن (6.2) ، لأن بكتريا الميثان لن تستطيع أن تنشط تحت قيمة pH أقل من 6.2((صغير، معالجة مياه الصرف الصناعي في الوطن العربي، 2017) ، ويقلل من حجم الحمأة ويحلل المواد العضوية الصلبة إلى صور أكثر استقراراً وفي هذه العملية تتكون كميات كبيرة من الميثان وثانى أكسيد الكربون مع كميات قليلة من غاز الحرق كالأمونيا وكبريتيد الهيدروجين ، ويحرق الميثان عادة في محطة المعالجة. ومنذ عام 1966 تقوم منشأة أورانج الصحية بكاليفورنيا بحرق الغاز المتولد في عمليات الهضم فى توربينات غازية ، وهي ثاني محطة من هذا النوع في العالم وتوجد الأخرى في إنجلترا منذ عام 1959، ويتكون الغاز الناتج من عمليات الهضم فى محطة أورانج من حوالى 65 % ميثان 34% ثاني أكسيد الكربون ، وهذا الغاز يضغط ويخزن لتغذية التوربين به حسب الحاجة لطاقة قدرها (1000) كيلوواط. أن عادم التوربين يستخدم مرة أخرى في توليد بخار الماء ، والذي يستخدم بدورة في إدارة مولد قدرته (300) كيلوواط . وهضم الحمأة بالبكتيريا بمعزل عن الهواء هو أرخص أساليب المعالجة ثم تفصل الحمأة المهضومة فى مهادن الرمال مع التخلص من المواد الصلبة المسربة ، واستخدامها فى استصلاح التربة (عبد الصبور، 2000) .

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

4- نتائج قياس فصل الشتاء والصيف لانبعاث الغاز الحيوي (CH_4) لمصافي المياه العادمة لمنطقة الدراسة

- نتائج قياس فصل الشتاء لانبعاث الغاز الحيوي (CH_4) لمصافي المياه العادمة لمنطقة الدراسة

لقد أظهرت نتائج القياس لفصل الشتاء للغاز الحيوي (الميثان) في مواقع القياس المختارة لمشاريع التصفية وكما موضح في جدول (1) ، إذ سجل موقع المعالجة التمهيدية في مشروع الكرخ الرئيسية أعلى تركيز للغاز الحيوي فبلغ (49.23)ppm ، وأدنى تركيز له كان في موقع المعالجة الثالث المتقدمة في مشروع الكرخ الرئيسية فبلغ (1.86) ppm ، علماً فقد سجلت مواقع منطقة الدراسة أعلى تركيز لغاز الميثان ، إذ يعود ارتفاع كمية الغاز الحيوي في مشاريع مصافي المياه العادمة لانها تحتوي على كمية كبيرة من المركبات العضوية واعداد كبيرة من الكائنات الدقيقة الهوائية واللاهوائية وتؤثر هذه الكائنات في المركبات العضوية وغيرالعضوية مسببة نقصاً في الأوكسجين (هاشم، 2020) ، وفي حال غياب الاوكسجين فينتج غاز الميثان بتُحوّيل الكربون العضوي إلى غاز الميثان ، ومن خلال هذه العملية (الأكسدة) إذ يتم إزالة ما يصل إلى اكثر من 60% من الاحتياج الحيوي للأكسجينBOD (السلطاني، 2013) في مرحلة المُعالجة الابتدائية والتي تُقلل الحمأة العضوي في المياه العادمة .

جدول (1) تراكيز الغاز الحيوي (CH_4) ppm في هواء مشاريع مصافي المياه العادمة لمنطقة الدراسة في فصل الشتاء لسنة 2023

موقع القياس	مشروع الرستمية	محددات منظمة الصحة العالمية3 ppm (متوسط 24 ساعة) (WHO)	مشروع الكرخ الرئيسية	محددات منظمة الصحة العالمية3 ppm (متوسط 24 ساعة) (WHO)	معدل درجة الحرارة (°م)	معدل رطوبة%	معدل سرعة رياح (كم/ثا)
المعالجة التمهيدية	28.52	تجاوز المحدد	49.23	تجاوز المحدد	15.45	40.76	1.26
المعالجة الأولية	5.74	تجاوز المحدد	7.28	تجاوز المحدد	13.03	55.1	0.9
المعالجة الثانوية	2.26	لم يتجاوز المحدد	13.19	تجاوز المحدد	14.6	69.11	0.3
المعالجة الثالثة المتقدمة	1.91	لم يتجاوز المحدد	1.86	لم يتجاوز المحدد	17.2	70.83	0.36

المصدر: من اعداد الباحثة بالاعتماد على القياسات الحقلية ، **2023** .

وعند مقارنة كافة التراكيز مع المحددات العالمية متمثلة في (3 ppm) نلاحظ أن مواقع قياس المعالجة الثالثة المتقدمة سجلت أقل من المحددات العالمية (WHO) يعود ذلك للإدارة الفنية لمشاريع التصفية المتمثلة في التصفير اليومي للمياه المعالجة في مشاريع االتصفية ، أما المعالجة التمهيدية فقد سجلت أعلى من المحددات العالمية (WHO) ، ويعود ذلك لاحتجاز المياه العادمة مدة طويلة نسبيًا تتراوح ما بين (يوم واحد إلى ثلاثة أيام) ، فضلاً عن حجم حوض الترسيب ، كما تؤدي العوامل المناخية دوراً مهماً في زيادة انبعاث هذا الغاز وخاصة انخفاض درجات الحرارة التي يقلل من تحلل المواد العضوية المتبقية التي تعد المسبب الرئيسي في انبعاث الغاز من مشاريع التصفية فضلاً عن هدوء الرياح باتجاه المشروع مما يؤدي إلى زيادة تركزه باتجاه هذه المنطقة مما

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

يؤدي إلى زيادة تركز الغاز، وبهذا نستنتج أن غاز الحيوي (CH_4) ينبعث من المشاريع ويقل تأثيره كلما ابتعدنا عن المصدر (المعالجة) الى خارج المشروع .

- **نتائج قياس فصل الصيف لانبعاث الغاز الحيوي (CH_4) لمصافي المياه العادمة لمنطقة الدراسة .**

أظهرت نتائج قياسات فصل الصيف للغاز الحيوي (الميثان) لمواقع القياس و سجل مشروع الرستمية أعلى تركيز للغاز في موقع قياس المعالجة التمهيدية فبلغ (64.01) ppm ، وأدنى تركيز له كان في موقع قياس المعالجة الثالثة المتقدمة في مشروع الكرخ الرئيسية فبلغ (2.30) ppm ، وكما موضح في الجدول (2) .

جدول (2) تراكيز الغاز الحيوي (CH_4) ppm في هواء مشاريع المصافي المياه العادمة لمنطقة الدراسة في فصل الصيف لسنة 2023

موقع القياس	مشروع الرستمية	محددات منظمة الصحة العالمية(WHO) 3 ppm (متوسط 24 ساعة)	مشروع الكرخ الرئيسية	محددات منظمة الصحة العالمية(WHO) 3 ppm (متوسط 24 ساعة)	معدل درجة الحرارة (°م)	معدل رطوبة%	معدل سرعة رياح (كم/ثا)
المعالجة التمهيدية	64.01	تجاوز المحدد	28.15	تجاوز المحدد	37.8	1.17	1.25
المعالجة الأولية	12.01	تجاوز المحدد	12.48	تجاوز المحدد	40.5	1.33	0.96
المعالجة الثانوية	10.54	تجاوز المحدد	6.16	تجاوز المحدد	39	1.46	1.75
المعالجة الثالثة المتقدمة	5.44	تجاوز المحدد	2.30	لم يتجاوز المحدد	46.16	1.81	3

المصدر: من اعداد الباحثة بالاعتماد على القياسات الحقلية ، 2023 .

وعند مقارنة جميع تراكيز أنبعاث الغاز الحيوي (الميثان) مع المحددات العالمية متمثلة في (3 ppm) نلاحظ بأن أغلبها أعلى من المحددات العالمية (WHO) ، ويعود ذلك للعديد من الأسباب منها درجة الحرارة والتي تعد من أهم المؤشرات المؤثرة في عملية المعالجة وذلك لتأثيرها على التفاعلات الكيميائية وسرعتها ، في المياه العادمة ، وبما أن تركيز الأوكسجين يتناقص مع ارتفاع درجة حرارة المياه ، بينما يزداد معدل التفاعلات البيو كيميائية فإن ارتفاع الحرارة قد يؤدي إلى نفاذ حاد لتركيز الأوكسجين المنحل في المياه وعند حدوث أي تغير مفاجئ لدرجة الحرارة قد ينتج عنه ارتفاع معدل الفطريات والبكتريا الهوائية و البكتريا اللاهوائية وهي تعرف بأنها صانعة الحمضية فضلاً عن ذلك هناك مجموعة ثالثة من الكائنات الدقيقة تحول الهيدروجين وحامض الخل المتشكلين من قبل صانعات الحامض وبوجود بكتيريا منتجة للميثان ، فستتم العملية بتحويل الأحماض العضوية إلى مركبات نهائية غازية مكونة من الميثان (صغير، المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي، 2021) ، فضلاً عن اتجاه الرياح وسرعتها إذ يؤدي دور كبير في نشر الملوثات الغازية المنبعثة من احواض تجفيف الحمأة ، فتقوم البكتريا اللاهوائية بتوليد غازات كثيرة معظمها غاز الميثان مع اتجاه الرياح السائدة أي الشمالية الغربية التي تحمل معها الملوثات الغازية المنبعثة من المحطة الى الهواء المحيط لتبعد الملوثات إلى مسافات بعيدة الى خارج المشروع .

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

5 - التحليل الإحصائي الوصفي لنتائج قياسات غاز الميثان :

اعتمدت الدراسة في تحليل نتائج قياسات غاز الميثان (CH_4) على الإحصاء الوصفي بهدف بيان التباين في التراكيز بين مشروعي الرستمية والكرخ الرئيسة، وكذلك بين فصلي الشتاء والصيف ومراحل المعالجة المختلفة. وقد تم استخدام المتوسط الحسابي والانحراف المعياري بوصفهما من أهم المؤشرات الإحصائية الوصفية التي تسهم في تفسير طبيعة البيانات ودرجة تشتتها .

أظهرت النتائج أن المتوسط الحسابي لتراكيز غاز الميثان في فصل الشتاء بلغ (13.75) ppm عند احتساب جميع مواقع القياس، في حين ارتفع المتوسط في فصل الصيف إلى (17.64) ppm، مما يشير إلى زيادة نسبية في انبعاث الغاز خلال فصل الصيف .

أما على مستوى المشاريع، فقد بلغ المتوسط الحسابي في مشروع الرستمية خلال فصل الشتاء (9.61) ppm، وارتفع في مشروع الكرخ إلى (17.89) ppm، الأمر الذي يعكس تفاوتًا مكانيًا في مستويات الانبعاث بين المشروعين خلال هذا الفصل.

وفي فصل الصيف، سجل مشروع الرستمية أعلى متوسط حسابي بلغ (23.00) ppm، في حين بلغ المتوسط في مشروع الكرخ (12.27) ppm، مما يدل على ارتفاع واضح في انبعاث الغاز في مشروع الرستمية خلال هذا الفصل .

كما أظهرت قيم الانحراف المعياري وجود تباين واضح في تراكيز الغاز بين مواقع القياس المختلفة، إذ بلغ الانحراف المعياري في مشروع الرستمية صيفًا (27.48)، وهي قيمة مرتفعة نسبيًا تشير إلى وجود تشتت ملحوظ بين مراحل المعالجة، ولاسيما بين المعالجة التمهيدية والمراحل المتقدمة .

وتؤكد هذه النتائج الوصفية أن أعلى التراكيز سُجلت في مراحل المعالجة التمهيدية والأولية، في حين انخفضت القيم تدريجيًا كلما تقدمت مراحل المعالجة، مما ينسجم مع التفسير العلمي القائم على زيادة التحلل العضوي في المراحل الأولى كما هو موضح في جدول (٣)

جدول (3) المتوسطات والانحراف المعياري لتراكيز غاز الميثان

الفصل	المشروع	المتوسط	الانحراف المعياري
الشتاء	الرستمية	9.61	12.73
الشتاء	الكرخ	17.89	21.40
الصيف	الرستمية	23.00	27.48
الصيف	الكرخ	12.27	11.39

المصدر : من اعداد الباحثة بالاعتماد على نتائج الدراسة ، 2023 .

6- استخدام الغاز الحيوي في إنتاج الطاقة الكهربائية في منطقة الدراسة :

يُعد الغاز الحيوي الناتج من عمليات معالجة المياه العادمة أحد المصادر المهمة للطاقة المتجددة ، لما يحتويه من نسبة مرتفعة من غاز الميثان الذي يمتاز بقيمة حرارية عالية وقابلية جيدة للاحتراق . وتبرز أهمية هذا الغاز في إمكانية استثماره لإنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل محطات المعالجة أو رفد الشبكة الكهربائية بالطاقة ، مما يسهم في تقليل الاعتماد على مصادر الوقود التقليدية .

وقد أظهرت نتائج القياسات الميدانية في منطقة الدراسة وجود تراكيز مرتفعة لغاز الميثان في مواقع المعالجة المختلفة ، إذ سجلت المعالجة التمهيدية في مشروع الكرخ الرئيسية أعلى قيمة خلال فصل الشتاء بلغت (49.23) **ppm** ، في حين انخفضت القراءة إلى (1.86) **ppm** في موقع المعالجة الثالثة المتقدمة .

أما في فصل الصيف فقد سجل مشروع الرستمية أعلى تركيز للغاز في موقع المعالجة التمهيدية بلغ (64.01) **ppm** ، في حين سجلت المعالجة الثالثة المتقدمة في مشروع الكرخ الرئيسية أدنى قيمة بلغت (2.30) **ppm** .

وتشير هذه القيم إلى وجود كميات ملحوظة من غاز الميثان يمكن استثمارها بوصفها مصدرًا للطاقة ، ولاسيما في مواقع المعالجة التمهيدية والأولية التي سجلت أعلى القراءات . وتعتمد عملية توليد الطاقة

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

الكهربائية من هذا الغاز على جمعه من وحدات الهضم اللاهوائي وتخزينه في خزانات مخصصة ، ثم نقله إلى وحدات تحويل الطاقة . وتتمثل أكثر الطرق شيوعًا في استخدام محركات الاحتراق الداخلي المرتبطة بالمولدات الكهربائية ، إذ يُحرق الغاز داخل المحرك لتوليد طاقة حرارية تتحول إلى حركة ميكانيكية ، ومن ثم تُنقل هذه الحركة إلى المولد لإنتاج الطاقة الكهربائية (السند، 2025) .

كما يمكن الاستفادة من الحرارة الناتجة عن الاحتراق في تشغيل وحدات المعالجة أو تسخين خزانات الهضم ، ضمن ما يعرف بنظام التوليد المشترك للطاقة والحرارة ، الأمر الذي يسهم في رفع كفاءة استثمار الطاقة المنتجة وتقليل الكلف التشغيلية للمصافي .

إضافة إلى ذلك ، يمكن اعتماد تقنيات أكثر تطورًا، مثل خلايا الوقود ، التي تعتمد على تحويل الطاقة الكيميائية للغاز الحيوي بصورة مباشرة إلى طاقة كهربائية دون الحاجة إلى الاحتراق التقليدي . وتضم خلية الوقود منظومة أساسية تتألف من قطبين كهربائيين هما المصعد والمهبط ، يفصل بينهما وسط ناقل للأيونات يعمل على إتمام التفاعلات الكهروكيميائية اللازمة لتوليد التيار الكهربائي (السند، 2025).

ويعكس هذا الارتفاع في تراكيز الميثان جدوى اقتصادية وبيئية مهمة ، إذ يمكن أن يسهم استثماره في تقليل كلفة تشغيل مشاريع التصفية ، وخفض الانبعاثات الغازية ، وتحويل أحد مخرجات التلوث البيئي إلى مصدر مستدام للطاقة الكهربائية .

7-التقدير التقريبي لإنتاج الطاقة الكهربائية من الغاز الحيوي :

استنادًا إلى القيمة الحرارية التقريبية للغاز الحيوي وكفاءة المولدات متوسطة التشغيل ، يمكن تقدير إنتاج الطاقة الكهربائية بنحو 2 كيلوواط/ساعة لكل 1 م³ من الغاز الحيوي ، وهو تقدير يتوافق مع الأدبيات العلمية الحديثة الخاصة بمحطات معالجة المياه العادمة.

ولغرض التقدير التقريبي ، إذا افترضت الدراسة إمكانية تجميع 100 م³ يوميًا من الغاز الحيوي الناتج من وحدات الهضم والمعالجة ، فإن الطاقة الكهربائية اليومية تكون:

$$E = 100 \times 2 = 200\ \text{kWh/day}$$

أي ما يعادل 200 كيلوواط/ساعة يوميًا . أما الطاقة الشهرية فتساوي:

$$E = 200 \times 30 = 6000\ \text{kWh/month}$$

أي 6000 كيلوواط/ساعة شهريًا . وفي حال ارتفاع كمية الغاز المجمعة إلى 500 م³ يوميًا، فإن الإنتاج الكهربائي المتوقع يصبح :

$$E = 500 \times 2 = 1000\ \text{kWh/day}$$

أي ما يعادل 1 ميغاواط/ساعة يوميًا . وتوضح هذه القيم وجود جدوى اقتصادية واضحة لاستثمار الغاز الحيوي في تشغيل المضخات ووحدات التهوية داخل مشاريع التصفية ، فضلًا عن إمكانية رفد الشبكة الكهربائية بطاقة إضافية ، الأمر الذي يسهم في تقليل الكلف التشغيلية وخفض الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية

الاستنتاجات :

1- بينت نتائج القياسات الميدانية أن انبعاثات غاز الميثان في محطات معالجة مياه الصرف الصحي قيد الدراسة تتباين بصورة واضحة باختلاف الفصول ومواقع القياس، إذ سجل فصل الصيف مستويات أعلى مقارنةً بفصل الشتاء، مما يدل على الدور المباشر للظروف المناخية في تعزيز أو خفض معدلات الانبعاث.

2- أظهرت البيانات أن المراحل الأولى من عمليات المعالجة، وبالأخص مرحلتي التمهيدية والأولية، تمثل المصدر الرئيس لتركيزات غاز الميثان، ويُعزى ذلك إلى وفرة المواد العضوية القابلة للتحلل في هذه المراحل مقارنة بالمراحل اللاحقة.

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

3- أوضحت المعالجات الإحصائية وجود فروق معنوية بين القيم المسجلة وفقاً لمتغيري الفصل ومراحل المعالجة، فضلاً عن تسجيل علاقة طردية بين ارتفاع درجات الحرارة وزيادة تراكيز الغاز المنبعث.
4- تشير النتائج إلى وجود قابلية فعلية لاستثمار الغاز الحيوي الناتج من عمليات المعالجة في توليد الطاقة الكهربائية، الأمر الذي يفتح المجال أمام تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية وخفض الكلف التشغيلية للمحطات.
5- كما تؤكد الدراسة أن توظيف الغاز الحيوي يمثل خياراً بيئياً واقتصادياً مهماً، من خلال تقليل الانبعاثات الغازية الضارة وتعزيز كفاءة إدارة الموارد ضمن إطار الاستدامة البيئية في منطقة الدراسة

التوصيات:

1- يوصى بتطوير منظومات تجميع الغاز الحيوي في مشاريع تصفية المياه العادمة، ولاسيما في مراحل المعالجة التمهيدية والأولية، لكونها تمثل المصدر الرئيس لانبعاث غاز الميثان.
2- ضرورة اعتماد تقنيات تحويل الغاز الحيوي إلى طاقة كهربائية، مثل محركات الاحتراق الداخلي أو خلايا الوقود، بهدف تشغيل الوحدات الخدمية داخل مشاريع التصفية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية.
3- يوصى بإجراء قياسات دورية لتراكيز غاز الميثان خلال فصول السنة المختلفة، لغرض متابعة التباين الفصلي وتحديد أفضل الفترات الزمنية لاستثمار الغاز الحيوي.
4- العمل على إعداد دراسة جدوى اقتصادية تفصيلية لتقدير كلفة إنشاء وتشغيل منظومات إنتاج الكهرباء من الغاز الحيوي، وبيان العائد المالي المتوقع على المدى القريب والبعيد.
5- توجيه الجهات المعنية بالبيئة والطاقة إلى استثمار الغاز الحيوي بوصفه مصدرًا للطاقة المتجددة، لما يحققه من فوائد اقتصادية وبيئية تتمثل في خفض الانبعاثات الغازية وتقليل كلف التشغيل.
6- التوسع في إجراء دراسات مماثلة على مشاريع تصفية أخرى في بغداد والمحافظات العراقية، للمقارنة بين كميات الغاز الحيوي المنتجة وإمكانية توظيفها في إنتاج الطاقة الكهربائية

المصادر

1. د ايان بيبر،تشاك جيريا،مارك بروسو،2022، علم التلوث ، الطبعة الأولى، ترجمة فوزي محمد الدومي،بنغازي- ليبيا ،جامعة عمر المختار البيضاء .
2. ائرة مجاري بغداد قسم التشغيل ، شعبة المختبر المركزي امانة بغداد. (2022). مشروع الرستمية (بيانات غير منشورة).
3. دائرة مجاري بغداد قسم التشغيل ، شعبة المختبر المركزي امانة بغداد. (2022). مشروع الكرخ .
4. سولاف عدنان جابر النوري. (1999). مورفولوجية منعطفات نهر دجلة في مدينة بغداد. رسالة ماجستير (غير منشورة) ، جامعة بغداد، كلية العلوم، 180.
5. صباح عبود عاتي الخزعلي، و ندى قاسم زايد المالكي. (2015). مشكلات البنى التحتية وسبل معالجتها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .GIS مجلة المخطط والتنمية، 20(31).
6. عبد الله سليمان الحديثي.1997،استعمال مياه الصرف الصحي، المملكة العربية السعودية، الطبعة الأولى،جامعة الملك سعود – الرياض.
7. عبد الله صغير. (2017). معالجة مياه الصرف الصناعي في الوطن العربي. بيروت ، لبنان: الدار العربية للعلوم .
8. عبد الله صغير. (2021). المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي. السعودية: المكتب الفني للملتقى للنشر.
9. علي حسن موسى. (2000). التلوث البيئي. دمشق ، سورية: دار الفكر للطباعة والتوزيع والنشر .
10. غفران ذياب عبد الحسين المهداوي. (2004). كفاءة استخدام المياه العادمة المعالجة في التخطيط المستقبلي للموارد المائية (محطة تصفية مياه مجاري الرستمية/ التوسيع الثالث). رسالة ماجستير (غير منشورة) جامعة بغداد ، المعهد العالي للتخطيط الحضري والاقليمي.

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434

ISSN online: 2791-2272 ISSN print: 2791-2264
مجلة العصر للعلوم الانسانية والاجتماع
Era Journal for Humanities and Sociology
www.ejhas.com editor@ejhas.com
Volume (22) April 2026 العدد (22) أبريل 2026

11. كريم كاظم حمادي. (2013). تحديد ابعاد مشكلة الصرف الصحي في مدينة الحلة. مجلة جامعة بابل، 21(5).
12. محمد احمد السيد. (2006). خصائص عمليات تنقية المياه واستعمالاتها. القاهرة: العربية للطباعة والنشر.
13. محمد عبد السند. (2025، 30 نوفمبر). تحويل الغاز الحيوي إلى كهرباء نظيفة: تقنية جديدة تقلب المعادلة. الطاقة. https://attaqa.net/?p=557405
14. ممدوح فتحي عبد الصبور. (2000). تقنيات مياه الصرف الصحي واعادة استخدامها للاغراض الزراعية. مجلة اسيوط للدراسات البيئية، 19.
15. منتقى مخلد عبد الكريم ناجي الحيدري. (2012). تقييم شبكات الصرف الصحي في مدينة بغداد. رسالة ماجستير (غير منشورة) جامعة بغداد ، معهد التخطيط الحضري والاقليمي للدراسات العليا.
16. نجلة عجيل محمد. (2018). دراسة مقارنة لبعض محددات التلوث لمحطتي مياه الصرف الصحي (الفلوجة ، عنه) في محافظة الانبار لسنة 2013. مجلة المستنصرية للدراسات العربية والدولية، 15(63).
17. نوار جليل هاشم. (2020). مشكلة تلوث المياه في العراق وافاقها المستقبلية. مجلة دراسات وبحوث الوطن العربي(17).
18. نورا رياض مجيد، و جنان عبد الامير عباس. (2018). محطة كهرباء جنوب بغداد واثارها البيئية في مياه نهر دجلة. مجلة كلية التربية للبنات، 6(29).
19. مارك.ج. هامر، الماء وتقنية مياه الصرف ، ترجمة يوسف رضوان، الطبعة الأولى ،مدينة الملك عبد العزيزللعلوم التقنية ،2015 .
20. هنا مطر مهدي السلطاني. (2013). مظاهر التلوث البيئي للمياه العادمة وامكانية استعمالها في مدينتي النجف والكوفة. رسالة ماجستير (غير منشورة) جامعة الكوفة ، كلية التربية للبنات.
21. مقابلة مع السيدة سناء صبيح جاسم ، مهندس اقدم ، مديرة مختبر مشروع الرستمية ، تاريخ المقابلة في 2023/7/19.

22. Alam, A. .., Hossain , K., Hossain, B., Ahmed, A., & Hoque, M. (2007). A study on industrial waste effluents and their management at selected food and beverage industries of Bangladesh. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 11(4), 5-9.
23. Bustillo, L. C., Mehrvar, M., & Quiñones-Bolaños, Edgar, E. (2016). Slaughterhous+
24. e wastewater characterization and treatment: An economic and public health necessity of the meat processing industry in Ontario, Canada. Journal of Geoscience and Environment Protection, 4(4), 175-186. doi:10.4236/gep.2016.44021
25. Malollari, I., Pinguli, L., Buzo, R., Lajqi, V., Makolli, S., & Cani, X. (2019). Actual situation of wastewater from food industry and a case study of their treatment. Journal of Environmental Protection and Ecology, 20(1), 432-438.
26. Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrugg, C. (2014). Compendium of sanitation systems and technologies (2 ed.). Dübendorf, Switzerland: Eawag.
27. Zajda, M., & Aleksander-Kwaterczak, U. (2019). Wastewater treatment methods for effluents from the confectionery industry: An overview. Journal of Ecological Engineering, 20(9), 293-304. doi:10.12911/22998993/112557

DOI: https://doi.org/10.33193/eJHAS.22.2026.434