African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 5, Issue 2, 2026
Page No: 348-356
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2025: 1.126 SJIFactor 2024: 6.752 معامل التأثير العربي: 1.62

Environmental Impact of Gas Flaring Emissions in Oil Installations Al-Wafa Oil Field at Mellitah Company: A Case Study

Eng. Hisham A. Al-Har [1], Eng. Yousef A. Al-Aswad [2], Dr. Abdunaser O. Susi [*3]
[1,2,3] Faculty of Engineering, Misurata University, Misurata, Libya

الأثر البيئي لانبعـــاثـــات غـــازات الشعلة بالمنشـــآت النفطـــية حالة دراسية: حقل الوفاء بشركة مليته

م. هشام أحمد الحار [1]، م. يوسف عبد النبي الأسود [2]، د. عبد الناصر عمر السوسي [*3]
[1،2،3] كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا

[*]Corresponding author: Naser_o_72@eng.misuratau.edu.ly

Received: March 24, 2026	Accepted: June 08, 2026	Published: June 20, 2026

Abstract

Flare gases are byproducts, either associated gases produced during oil and gas separation, processing, and production operations in oil fields such as Al-Wafa oil field or return gases from manufacturing processes in production units. These gases are flared to ensure system stability, at startup, or due to emergency shutdowns, as in reduction plants, for example. Flaring gases are known to cause environmental, health, and economic damage, resulting in greenhouse gas emissions, air pollution, and the waste of valuable energy resources. This paper aims to define flare gases, quantify the amounts flared globally, and explain modern technologies for reducing flare emissions. It also outlines methods for measuring emissions and the associated environmental and economic impacts. The methodology is based on a case study conducted at Al-Wafa oil field, operated by Mellitah Oil and Gas Company, a subsidiary of the National Oil Corporation in Libya. The study employs a descriptive, statistical, mathematical, and analytical approach, collecting data and information, and calculating the quantities of flared gases burned at the Wafa field. It also calculates greenhouse gas emissions, comparing them to global measurements and internationally recognized standards adopted by several international and local bodies and agencies. The study concludes by determining the quantities and components of flared gases, as well as the rates and types of emissions resulting from flaring at Al-Wafa field. This is based on the collected data and the use of mathematical equations to calculate the total amount of carbon dioxide (CO2e) equivalent to emissions. The study reveals that the largest proportion of emissions is carbon dioxide, a primary contributor to global warming and a serious pollutant. It concludes with recommendations regarding the potential for utilizing the large and significant volume of flared gases at Al-Wafa field.

Keywords: Flaring gases, carbon dioxide, flare system, global warming, global warming factor, natural gas flaring.

الملخص

تعتبر غازات الشعلة من الغازات الثانوية التي إما أن تكون مصاحبة تنتُج من عمليات فصل ومعالجة و إنتاج النفط والغاز بالحقول النفطية كما هو الحال في حقل الوفاء النفطي - محل الدراسة- و إما أن تكون غازات راجعة من عمليات التصنيع بالوحدات الإنتاجية، و يتم إشعال هذه الغازات لضمان استقرار منظومات التشغيل أو عند بداية التشغيل أو بسبب التوقفات الطارئة؛ كما هو موجود - على سبيل المثال- بمصانع الاختزال. إذ من المعروف أن حرق غازات الشعلة يترتب عليه أضراراً بيئية وصحية واقتصادية، كما يسبب أيضاً انبعاث الغازات الدفيئة و تلوث الهواء الجوي وإهداراً لموارد الطاقة القيّمة. وتهدف هذه الورقة إلى التعريف بغازات الشعلة وبيان حجم الكميات المحروقة عالميا، وتوضح التقنيات الحديثة

 Copyright: © 2026 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/).

المتطورة لخفض انبعاثات حرق الغازات في الشعلة وطرق قياس الانبعاثات والتأثيرات البيئية والاقتصادية المرتبطة بها. اعتمدت الورقة في منهجيتها على إجراء دراسة تطبيقية بحقل الوفاء النفطي التابع لشركة مليته للنفط والغاز وهي شركة تابعة للمؤسسة الوطنية للنفط في ليبيا كحالة دراسية. تستند الدراسة على المنهج الوصفي والاحصائي والاحتساب الرياضي والتحليلي من خلال جمع البيانات والمعلومات وحصر كميات غازات الشعلة التي يتم حرقها بحقل الوفاء واحتساب الانبعاثات لغازات الدفيئة مع المقارنة بالقياسات العالمية والمعايير المعتمدة دوليا من عدة هيئات ووكالات دولية ومحلية. و قد خلصت الدراسة إلى تحديد كميات غازات الشعلة المحروقة ومكوناتها ومعدلات وأنواع الانبعاث الناتجة عن الحرق في حقل الوفاء استنادا على البيانات التي تم حصرها واستخدام معادلات حسابية لاحتساب أجمالي كمية ثاني أكسيد الكربون co2e المكافئة للانبعاثات. وقد تبين أن أكبر نسبة من الانبعاثات هي غاز ثاني أكسيد الكربون وهو مصدر أساسي لظاهرة الاحتباس الحراري ويعتبر من الملوثات الخطيرة، وخلصت الى توصيات تتعلق بمدى إمكانية الاستفادة من الغازات المحروقة بالشعلة في حقل الوفاء للحجم الكبير والواضح.

الكلمات المفتاحية: غازات الشعلة، غاز ثاني اكسيد الكربون، منظومة الشعلة، الاحتباس الحراري، معامل الاحترار العالمي، حرق الغاز الطبيعي.

المقدمة:

يُعرّف حرق الغاز بالشعلة بأنه عملية يُجري التحكم بها لحرق الغازات المصاحبة للنفط أو المهدرة خارج العمليات الصناعية؛ باستخدام أداة خاصة تعرف بالمشعل أو عمود الشعلة Flare، و تشغل عمليات الحرق هذه مساحة واسعة من اهتمام العاملين في مختلف الصناعات النفطية، كما أن لها بالغ الأهمية في الاعتبارات البيئية؛ إذ تقدر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن عمليات حرق الغاز في العالم بحوالي 300 مليون طن سنوياً؛ أي ما يشكل –عملياً- نحو 1% من إجمالي كمية غاز ثاني أكسيد الكربون الكلية التي تَـنتُج عالمياً عن المصادر الأخرى، و لا يتجاوز ما يصدر من الدول العربية مجتمعة من هذه الانبعاثات أكثر من 5%، كما أن غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن حرق الغاز في الدول العربية يمثل أقل بكثير من 1% من إجمالي غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يُنتِجه العالم؛ وبالتالي فإن توجيه أصابع اللوم إلى الدول العربية في هذا المجال أمرٌ مبالغٌ فيه كثيراً [1].

و ليست بلادنا – ليبيا- استثناء من عملية حرق غازات الشعلة التي يعتبر معظمها غازات مصاحبة لإنتاج النفط وهي غازات ثانوية تنتج عن عمليات فصل ومعالجة وإنتاج النفط والغاز، كذلك بالمنشآت الصناعية والمصافي النفطية التي يُنتَج فيها من الفائض عن الاحتياج من إمدادات الغاز أو تلك الراجعة من عمليات التشغيل عند توقف الوحدات الصناعية أو عند بداية تشغيلها. كما تعتبر طريقة حرق الغازات طريقة آمنةً وفعالة في المنشآت الصناعية للتخلص من الغازات القابلة للاشتعال حال الطوارئ و كذلك للحفاظ على الضغوط المطلوبة و سلامة المنشأة من أي حوادث صناعية محتملة الحدوث لاحقاً, و من ناحية أخرى فإن إشعال غازات الشعلة يترتب عليه أضراراً بيئية, صحية واقتصادية هائلة بما في ذلك انبعاثات غازات الدفيئة وتلوث الهواء الجوي وإهدار موارد الطاقة القيمة والإضرار بصحة الإنسان حال زيادتها عن الحدود الامنة.

1- التعريف بغازات الشعلة:

كما يمكن تعريف غازات الشعلة على أنها:

- غازات مصاحبة لعمليات إنتاج النفط و الغاز في الحقول و المصافي النفطية.
- أو غازات ناتجة من الفائض عن الاحتياج من إمدادات الغاز للمنشآت الصناعية؛ حيث إنها غازات قابلة للاشتعال ومتحررة من صمامات التنفيس عند الرغبة غير المخطط لها أو الفجائية في التخلص من الضغط الزائد.

ويتم حرق هذه الغازات في جهاز يسمى الشعلة أو المشعل Flare (**شكل 1.1**) وهو عبارة عن جهاز احتراق للغازات الصادرة عن العمليات في المنشآت الصناعية (**شكل 2.1**) مثل مصافي النفط و منشئات معالجة الغاز الطبيعي و مصانع الحديد و الصلب و مصانع الكيماويات [2].

 Copyright: © 2026 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/).

شكل 1.1. المشعل المستخدم لحرق الغازات؛ (مجلة التقدم العلمي – https://taqadom.aspdkw.com/www)

شكل 2.1. موقع شعلة لحرق الغازات (شبكة الطاقة العربية https://attaqa.net.www)

1.1: حرق الغازات والمكونات الناتجة من هذه العمليات:

تعتبر عملية حرق الغاز بالشعلة عملية أكسدة يتم إجراؤها عند درجة حرارة مرتفعة لحرق المركبات الغازية القابلة للاشتعال؛ حيث تتفاعل المركبات الهيدروكربونية مع الهواء (الأكسجين) في الحالة المثالية لتشكل غاز ثاني اكسيد الكربون (CO_2) و بخار الماء؛ كما هو موضح في المعادلة التالية لأكسدة غاز الميثان *CH4*:

$$CH_4 + O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

أما في الحالة الغير مثالية فإن الغازات المحروقة هي مزيج من عدة غازات كالميثان والإيثان و كل منها لها نواتج مختلفة خلال حرقها قد تكون أكاسيد النيتروجين أو أكاسيد الكبريت بالإضافة إلى شوائب من مركبات عضوية أو معدنية أخري, كما أن حرق الغازات الهيدروكربونية لا يعنى بالضرورة إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون فقط, فقد يُنتِج أيضا أول أكسيد الكربون *co*, كما يمكن أن يظل جزءًا من الغازات دون احتراق أحيانا وينطلق إلى الهواء الجوي كما هو، و على ضوء ذلك فإن نواتج حرق الغازات تختلف حسب تركيب الغازات وحسب فعالية عملية الحرق والعوامل والظروف المحيطة بما فيها كمية الأكسجين و الرطوبة و سرعة الرياح و درجات الحرارة الخارجية.

2. حجم الغاز المحروق في العالم:

على الرغم من اهتمام معظم دول العالم بمسألة التقليل من حرق غازات الشعلة للحد منها؛ إلا أنه لا توجد معلومات أو بيانات دقيقه كافية عن كمية الغازات المحروقة؛ و لعل الرقم الأكثر تداولاً هو أن العالم يُحرقُ 146 مليار مترٍ مكعبٍ موزعة على عشرة آلافِ موقعٍ حول العالم تُجرى فيها عمليات حرق الغازات بشكل مستمر [3]. هناك تسعُ دولٍ تعتبر الأكثر حرقاً لغازات الشعلة **(شكل 2)** و هي مسؤولة على الغالبية العظمى من عمليات الحرق؛ إذ تستحوذ كل من روسيا و العراق و إيران و الجزائر وفنزويلا والولايات المتحدة و ليبيا و المكسيك على نحو ثلاثة أرباع كميات الحرق. و تشير تقديرات الشراكة العالمية للحد من حرق الغازات إلى أن الغاز المحروق خلال عام 2022 م أطلق 357 مليون طنٍ من مكافئ ثاني أكسيد الكربون و 315 مليون طن في شكل ثاني أكسيد الكربون و 42 مليون طن في شكل غاز الميثان الذي لو استُغل بالشكل الأمثل لأمكن استخدامه كمصدر مهم لتوليد الطاقة الكهربائية [3]. و حسب تقديرات البنك الدولي حَرقت شركات الطاقة في العام2021 م حوالي 144 مليار متر مكعب من الغازات؛ والأمر الذي أدى إلى إطلاق ما يعادل 400 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؛ أي ما يُعادل كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث عن السيارات قطعت مسافة تسعة تريليون ميل [4].

 Copyright: © 2026 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/).

شكل 2. الدول الاكثر حرقا للغاز (المصدر: شبكة الطاقة العربية 2023 https://attaqa.net.www)

3- تقنيات الحد من انبعاثات غازات الشعلة وطرق قياسها:

إن التقدم الذي أُحرز بالحد والتقليل من حرق غازات الشعلة قد استؤنف في عام 2022 م؛ حيث انخفضت الغازات التي تم حرقها في جميع انحاء العالم بمقدار 5 مليارات متر مكعب الى 139 مليار متر مكعب؛ وهو أدني مستوى يصله منذ عام 2010 م؛ فبعد أكثر من عشر سنوات من تعثر التقدم في الحد من هذا الحرق؛ انخفضت أحجام حرق الغاز في عام 2022 بنحو 3%, وهو انخفاض يدعو إلى الإشادة به سيما في وقت يبعث على القلق بشأن أمن الطاقة في العديد من بلدان العالم [4].

ومن جانب آخر فإن مواصلة تشجيع الشركات الصناعية على اغتنام الفرص لإنهاء الممارسات المسببة للتلوث والمهدرة للطاقة أمر غاية في الأهمية؛ فعلى ضوء ذلك استأثرت ثلاث دول وهي الولايات المتحدة الأمريكية و المكسيك و نيجيريا، بمعظم الانخفاض في حرق غازات الشعلة على مستوى العالم في عام 2022 م. كما برزت دول أخرى من بينها كولومبيا و كازاخستان في خفض كميات الحرق بصورة مستمرة على مدار السنوات السبع الماضية.

و تبلغ تكاليف إجراءات التخفيض هذه التي تدفعها الشركات أكثر من 100 مليار دولار وهي تكلفة باهظة؛ فمنذ عام 2015 م, وقّعت 54 شركة طاقة على خطة البنك الدولي وكذلك 32 حكومة وطنية بما في ذلك الولايات المتحدة و روسيا و السعودية و العراق، ولعل أولى البلدان هي النرويج؛ حيث فرضت ضرائب على شركات الطاقة التي تحرق الغازات؛ و نتيجة لذلك تتمتع هذه الدول بأدني معدلات الحرق مقارنة بدول أخرى بها شركات طاقة عالمية، و بالتالي فإن من مؤشرات البنك الدولي ذات العلاقة؛ أنه خلال العقديين الماضيين تراجعت عمليات الحرق [5].

1.3: إجراءات خفض الانبعاثات الناتجة عن حرق غازات الشعلة:

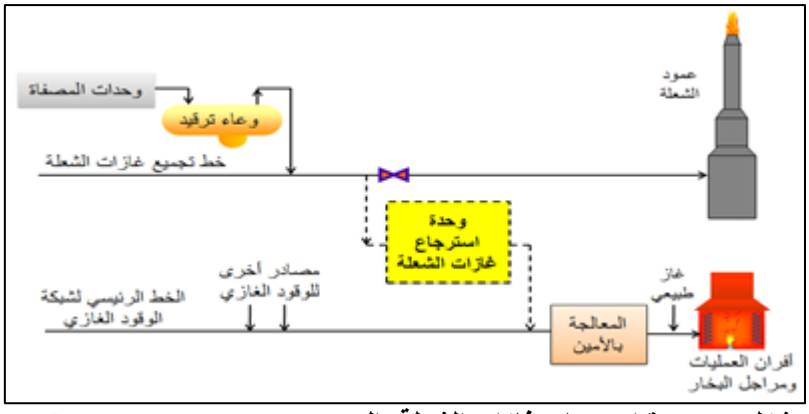
هناك إجراءات تحد وتقلل من الانبعاثات الغازية في منظومة الشعلة يمكن ذكرها على سبيل المثال فيما يلي:

1. الكشف والصيانة الدورية لكل الصمامات المتصلة بخطوط منظومة الشعلة للتأكد من عدم وجود تسربات فيها.
2. العمل على خفض كمية غازات الشعلة الداخلة للمنظومة و ذلك من خلال البحث عن مصادرها.
3. العمل على تقييم نقـــاط التنفيس في الأنابيب المتصلة بالمنظومة.
4. تركيب منظومة استرجاع للغازات الداخلة للمشعل بحيث يمكن الاستفادة منها كوقود ومصدر للطاقة من خلال إعادتاها الى شبكة

وقود افران المصافي والمنشئات الصناعية الأخرى وكذلك يمكن استخدامها في محطات توليد كهرباء متنقلة او حقنها في المكامن

لزيادة الضغط وتحسينه ولإنتاج واستخلاص النفط الخام، ويبين شكل 3 توضيحاً لوحدة استرجاع غازات الشعلة.

 Copyright: © 2026 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/).



شكل 3. وحدة استرجاع غازات الشعلة (المصدر: www -oden,H,2010)

2.3: حساب وقياس معدلات انبعاثات الشعلة:

تعتمد دقة نتائج الحساب والقياس على مدى الدقة في قياس كمية ونوعية كل من الغازات الداخلة الى الشعلة، والى شمعات الاحتراق الدائمة التي تحافظ على استمرارية لهب الشعلة ولذلك هنالك اجراءات تحقق هذه الغاية ويمكن بيانها كما يلي:

- المراقبة المستمرة بواسطة أجهزة ذات جودة عالية.
- العمل على اجراء اختبارات دورية بواسطة أجهزة وطرق تحليل مخبرية.
- مراجعة الحسابات الهندسية بالاعتماد على تقييم تفصيلي للمنشآت الصناعية التي تنطلق من خلالها الغازات الى الشعلة.
- العمل على اجراء صيانة وكشف دوري لراس الشعلة وتغييره في حالة عدم صالحيته للاستخدام وذلك لانخفاض كفاءته.
- العمل على اجراء اختبارات الأداء خلال اعداد قائمة جرد الانبعاثات الغازية من منظومة الشعلة.

3.3: عوامل التأثير على معدلات الانبعاثات:

1- عوامل جوية كسرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء الجوي المحيط.
2- نوع وسرعة الغازات المنبعثة للشعلة.
3- كفاءة ونوع الاحتراق.
4- مدى ثبات اللهب في راس الشعلة.

4.3: طرق قياس معدل وكمية الانبعاث لمنظومات الشعلة:

1- طريقة معاملات الانبعاثات.
2- عن طريق اجهزة القياس المباشرة.
3- طريقة المراقبة المستمـــرة.

4- التأثيرات البيئية المرتبطة بغازات الشعلة:

أصبح العالم أكثر وعيا وادراكا بأخطار انبعاثات غازات الدفيئة، ولاسيما غاز ثاني اكسيد الكربون، واضرارها وتأثيراتها السلبية على صحة الانسان والبيئة وموارد الأرض الطبيعية، فضلا عن كونها هدرا كبيرا للطاقة واستنزافا لها، واخذ يسعى يوما بعد اخر للحد والتقليل من انتشارها وعواقبها ودورها في زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري [6]. إن عملية حرق الغازات في الشعلة تؤدى الى إطلاق كميات كبيره من ثاني اكسيد الكربون واول اكسيد الكربون واكاسيد النتروجين واكاسيد الكبريت والهيدروكربونات، بالإضافة الى مركبات عضوية متطايرة وإذا تم تضمين جميع مصادر الحرق مثل الميثان و الإيثان، فسنري انه يتم انتاج كميات هائلة من الانبعاثات في الهواء من خلال بدء عملية تشغيل واحد ة، وحرق الغازات مسؤول عن 40 % من الكربون الاسود الذي تراكم في القطب الشمالي، وهو سبب رئيسي لذوبان الغطاء الجليدي في القطب الشمالي كزيادة لظاهرة الاحتباس الحراري العالمي [5].

وهذا يمثل خطرا كبيرا على البيئة وصحة الانسان فضلا عن كونها استنزافا للطاقة بدلاً من الاستفادة منها وعلى ضوء ذلك دعي البنك الدولي شركات الطاقة ويحاول اقناعها بوقف جميع عمليات الحرق غير ضرورية بحلول 2030 م في إطار خطة "إنهاء الحرق الروتيني".

وقد فرضت معظم الدول قوانين تحث القطاع والمنشئات الصناعية على الحد من انبعاثات ملوثات الهواء الجوي والضوضاء والضوء بالإضافة الى العمل على الإدارة المثلى لإنتاج وامداد الطاقة النظيفة بما يساهم في جعل الانشطة الصناعية أكثر استدامة وصديقه للبيئة وللمجتمعات المحلية، وحرصت تلك الدول استناد ا لما تم الاتفاق عليه فيما بينها مع الشراكة العالمية للبنك الدولي وبهذا الصدد هناك اتفاقية تقضى بتحقيق ذلك بحلول عام 2023 م.

 Copyright: © 2026 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/).

5- دراسة على حرق غازات الشعلة والانبعاثات في حقل الوفاء بشركة مليته للنفط والغاز:

تعتمد شركة مليته للنفط والغاز لإنتاج النفط من خلال الموقع التابع لها (حقل الوفاء) على استخدام تقنية EPF (Early Production Facility) وهذه التقنية هي عبارة عن فاصل (separator) يفصل الغاز عن النفط ثم يتم ضخ النفط منها بواسطة مضخات تزيد ضغط التدفق في أنابيب النفط و وحدات المعالجة، و قد تم اللجوء لهذه التقنية نتيجة لانخفاض ضغط البئر النفطي وتعذر تدفقه و وصوله الى الوحدات النهائية؛ أما بالنسبة للغاز المفصول فيتم حرقه نظراً لنقص البنى التحتية و ارتفاع التكاليف الاقتصادية لعمليات المعالجة و الاسترداد و إعادة التدوير والاستخدام، إضافة الى تباعد وتناثر الآبار فيما بينها, الأمر الذى يزيد من صعوبة استغلال هذه الغازات وتجميعها بصورة اقتصادية وممكنة.

1.5 مكونات غازات الشعلة أو المصاحبة لإنتاج النفط:

الغازات الناتجة عن عمليات الحرق في منظومة الشعلة بحقل الوفاء هي غازات مصاحبة للنفط المستخرج من حوالي 7سبعة آبار منتجة للنفط بتقنية EPF ومن مكوناتها الأساسية غاز الميثان CH_4 و غاز الايثان وغاز البيوتان و غاز البروبان وغاز البنتان و غاز ثاني اكسيد الكربون بالإضافة الى النيتروجين بنسب متفاوتة وفقا للجدول رقم 1.

جدول1. يوضح مكونات غازات الشعلة التي يتم حرقها والمصاحبة للنفط ونسبها الحجمية

المكون	الصيغة الكيميائية	النسبة الحجمية %
الميثان	CH_4	81
الايثان	C_2H_6	5.5
البروبان	C_3H_8	6.6
البيوتان	C_4H_{10}	4
البينتان	C_5H_{12}	1.4
ثاني أكسيد الكربون	Co_2	0.7
النيتروجين	N_2	1

المصدر: بيانات ومستندات قسم الإنتاج والتشغيل بحقل الوفاء, 2024 م

2.5 كميات الغازات المحروقة:

حيث يبلغ متوسط كميات هذه الغازات المحروقة حوالي 4.32 مليون قدم مكعب في اليوم بكثافة تقريبا 0.95 كغ/ متر مكعب أي ما يعادل شهريا 129.6 مليون قدم مكعب و خلال سنة 2023 م وحدها كان حوالي 1,555 مليون قدم مكعب، كما هو موضح في الجدول رقم (2)؛ وبالتالي فإن نسبة الغازات المحروقة عالية مقارنة مع عدد الآبار القليلة المنتجة للنفط والتي يبلغ إنتاجها حوالي أربعة آلاف برميل في اليوم [7].

جدول 2. يبين الكميات المحروقة يومًيا، شهريا وسنوياً خلال العام 2023 م

إجمالي الكمية المحروقة في 2023 م	شهـــرياً	يومياً
1555 مليون قدم مكعب	129.6 مليون قدم مكعب	4.32 مليون قدم مكعب

المصدر: بيانات ومستندات قسم الإنتاج والتشغيل بحقل الوفاء, 2024 م

3.5 الغازات الدفينة (GHG) والانبعاثات الناتجة عن عمليات حرق الغازات المصاحبة للنفط وانواعها بموقع حقل الوفاء:

وهي عبارة عن انبعاثات وغازات دفينة تنطلق وتنبعث الى الغلاف الجوي نتيجة حرق الغازات المترافقة لعمليات انتاج النفط او غازات الشعلة، ويوجد منها 3 أنواع وهي غاز الميثان CH_4, وغاز أكسيد النيتروز N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون Co_2 [8].

4.5 حساب انبعاثات الغازات الدفينة وإجمالي انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون:CO2e – equivalent:

يتم حساب كمية انبعاثات غاز الميثان CH_4, وغاز أكسيد النيتروز N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون Co_2 وفقا لقسم البيئة والسلامة لشركة مليته للنفط والغاز بموقع حقل الوفاء والتي تمثل اهم الانبعاثات المستهدفة في عملية الحساب، ويلي ذلك حساب إجمالي انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون Co_2 e- equivalent بالاعتماد على الآتي:

1.4.5 معاملات انبعاثات غازات الشعلة و أنواعها:

معاملات الانبعاثات هي قيم ثابتة تنشرها وتحددها الهيئات المتخصصة في حساب كميات الانبعاثات و يعتمد عليها قسم البيئة والسلامة بشركة مليته بموقع حقل الوفاء بحسب المعايير الدولية وفقا للجدول رقم (3) [8].

 Copyright: © 2026 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/).

جدول 3. معاملات الانبعاثات و أنواع ونسب الانبعاثات للغازات المحروقة المصاحبة لإنتاج النفط

EF (kg/kg)	Types of gas emitted
0.035	**CH_4**
0.000081	**N_2O**
2.61	**CO_2**

المصدر: بيانات ومستندات قسم الهندسة البيئية بحقل الوفاء, 2024م

2.4.5 إحتمالية الاحترار العالمي Global Warming Potential (GWP):

وهو مقياس نسبى للحرارة التي تحدثها انبعاثات الغازات الدفينة انبعاثات غاز الميثان CH_4, وغاز أكسيد النيتروز N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي؛ إذ تقارن كمية الحرارة المحصورة بكتلة محددة من الغاز بالحرارة المحصورة في نفس الكتلة من ثاني أكسيد الكربون، و تحسب احتمالية حدوث الاحترار خلال فترة زمنية محددة؛ غالبا ما تكون بين 20 إلى 100 عام. كما أنها قِيم ثابتة متفق عليها وفق المعايير العالمية المعمولة لكل منشاة [8]؛ كما في الجدول رقم (4):

جدول 4. يبين قيم احتمالية الاحترار العالمي للغازات والانبعاثات الدفيئة

الغاز الدفيء (GHG)	احتمالية الاحترار العالمي (GWP)
الميثـــــــان	**28**
أكسيد النيتروز	**265**
ثاني أكسيد الكربون	**1**

المصدر: WWW.GHGProtocl.org بيانات ومستندات قسم الهندسة البيئية بحقل الوفاء, 2024م

3.4.5 كثافة الغازات المحروقة وكميتها شهريا:

حيث يجب ان تكون الكثافة في ظرف حجم الغاز المقاس عند استخدامها لحساب انبعاثات غاز الميثان CH4, وغاز ثنائي اكسيد النيتروجين N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون Co_2 وذلك لأن خصائص الغاز قد تختلف تحت ظروف عدة؛ كالحرارة و الضغط وفقا للجدول رقم 5 التالي:

جدول 5 يبين: كثافة الغازات المحروقة وكميتها شهريا

كثافة الغازات المحروقة	كمية الغازات المحروقة شهريا
0.95 kg/m^3	**129.6** MMSCF

المصدر: بيانات ومستندات قسم الإنتاج والتشغيل بحقل الوفاء, 2024م

4.4.5 حساب انبعاثات غاز الميثان CH_4, وغاز أكسيد النيترو ز N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون Co_2:

يمكن تحديد قيم الانبعاثات وحسابها لكل مكون من الغازات الدفينة والتي تتمثل في حساب انبعاثات غاز الميثان *CH4*, وغاز ثنائي اكسيد النيتروجين N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون Co_2 من خلال استخدام المعادلة الحسابية التالية:

$$E = EF \times \rho \times Q \times \frac{10^6}{35.314}$$

حيث:

E : كمية الانبعاثات الناتجة Emissions (Kg)

EF: معامل الانبعاث $(\frac{Kg}{Kg})$ Emission Factor

ρ : كثافة الغـــــازات المحروقة $(\frac{Kg}{m^3})$ Density

Q: كمية الغازات المحروقة شهرياً (SCF/MONTH MM) .

 Copyright: © 2026 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/).

معامل التحويل : $\frac{10^6}{35.314}$ (حال مليون قدم مكعب قياسي MMSCF).

أولا: غاز الميثان:

معدل انبعات الميثان = معامل انبعاث الميثان X كثافة الغازات المحروقة X كمية الغازات المحروقة شهريا X $\frac{10^6}{35.314}$

معدل انبعاث الميثان = **0.000081** X 0.95 X 129.6 X $\frac{10^6}{35.314}$

= 1.22 x 10^5 Kg

ثانياً: أكسيد النيتروز:

معدل انبعاث أكسيد النيتروز = معامل أكسيد النيتروز X كثافة الغازات المحروقة X كمية الغازات المحروقة شهريا X $\frac{10^6}{35.314}$

معدل انبعاث أكسيد النيتروز = **0.00081** X 0.95 X 129.6 X $\frac{10^6}{35.314}$

= 282.40 Kg

ثالثا: غاز ثاني اكسيد الكربون:

معدل انبعاث ثاني اكسيد الكربون = معامل انبعاث ثاني اكسيد الكربون x كثافة الغازات المحروقة x كمية الغازات المحروقة شهريا x $\frac{10^6}{35.314}$

معدل انبعاث ثاني اكسيد الكربون = 2.61 x 0.95 x 129.6 x $\frac{10^6}{35.314}$

= 9.1 x10^6 Kg

و يبين الجدول الآتي (6) قيم الانبعاثات الناتجة من الحرق من خلال استخدام المعادلات الحسابية أعلاه.

جدول 6. قيم الانبعاثات الناتجة من الحرق من خلال استخدام المعادلات الحسابية

Co_2	N_2O	CH_4	Emissions Produced
9,099,417.50	282.40	122,022.84	Emission kg
9099.418	0.2824	122.02284	Emission Ton

5.4.5 حساب إجمالي انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون Co2e - equivalent:

يتم احتساب قيمة مكافئ Co_2e لغاز الميثان CH_4, وغاز أكسيد النيتروز N_2O وغاز ثاني اكسيد الكربون Co_2 وهي حاصل ضرب احتمالية الاحترار العالمي لكل انبعاث **في** كمية الانبعاث لكل غاز ثم يجمع مكافئ CO_2e للميثان وأكسيد النيتروز وثاني أكسيد الكربون وبالتالي نتحصل على إجمالي انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون الكلية شهريا كما في الجدول 7:

جدول 7. يبين حساب إجمالي مكافئ ثاني أكسيد الكربون Kg

إجمالي المكافئ CO_2e	N_2O مكافئ Co_2e	CO_2 مكافئ Co_2e	CH_4 مكافئ Co_2e
	GWP(N_2O) X emission	GWP (CO_2) X emission	GWP(CH_4) X emission
12,590,893.0 Kg	265 x 282.40	**1 x 9,099,417.50**	28 x 122,022.84

 Copyright: © 2026 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/).

6- مناقشة النتائج:

1- يُلاحظ ارتفاع كميات غازات الاحتباس الحراري المنبعثة من حرق الغاز المصاحب بالشعلة بحقل الوفاء وأكثرها كمية غاز **أكسيد الكربون** وهذا يسبب ضرراً واضحاً على البيئة وعلى صحة الإنسان؛ و بالتالي يجب تبني الطرق اللازمة للاستفادة من كميات للغازات المهدورة بما يتناسب مع وضع وسياسة شركة مليته للنفط.

2- نسبة الغازات المحروقة والمصاحبة للنفط بموقع الحقل عالية مقارنة بعدد الآبار المنتجة للنفط البالغ عددها **سبعة آبار** تُعزى الأسباب الرئيسية لعرقلة الاستفادة منها إلى عدم توفر البنى التحتية اللازمة و ارتفاع التكاليف المالية والاقتصادية لإنشاء هذه البُنى، وبُعد الحقل وتباعد المسافات بين الآبار المنتجة مع انخفاض ضغطها؛ الأمر الذي يمنع استغلال الغازات المصاحبة بالوضع الحالي؛ إلا حال اتباع طرق وتقنيات متقدمة تراعي الجوانب الفنية والاقتصادية.

الخلاصة:

1. وجود انبعاثات كبيرة بحقل الوفاء يحتم على القائمين عليه اتخاذ الإجراءات اللازمة لأجل الحد من تأثيراتها و أضرارها البيئية في الحقل، و النظر إلى هذه الكميات وحجمها يعتبر أمراً مشجعاً على استغلالها إذا ما توافرت البُنى التحتية والطرق المناسبة للاستفادة منها بأقل التكاليف.
2. إن وجود هذه الغازات بنسب ضئيلة في الهواء الجوي ليس بالأمر الخطير؛ لكن ارتفاع انبعاثاتها بشكل كبير عند حرق غازات الشعلة خصوصا في موقع حقل الوفاء له تأثيرات جسيمة على صحة الانسان والبيئة كما يزيد من ظاهرة الاحتباس الحراري في الوقت الذي تسعى فيه دول العالم للحد منه وتقليله قدر الإمكان.
3. يوصى بالنظر في عدم حرق الغازات المصاحبة للنفط بالحقل، بحيث يتم استخدام مضخات خاصة مهيأة للنفط الذي ترتفع فسه نسب معدلات الغاز المصاحب، و يتم نقله الى وحدة للفصل والمعالجة؛ بعد ذلك تفصل هذه الغازات وتضغط باستخدام ضواغط وتجمع مع الغازات التي يتم انتاجها من آبار الغار في خط الغازات المعالَجة الخارجة من الحقل والمغذية للشبكة العامة للكهرباء وكذلك إلى محطة الرويس.
4. إمكانية إعادة ضخ الغاز في الأرض لزيادة الضغط في مكامن النفط والغاز أو استخدام الغاز في محطات متنقلة لتوليد الكهرباء لتشغيل
مواقع التنقيب عن النفط.
5. ثمة خيار آخر يتمثل في تطوير البنية التحتية بموقع حقل الوفاء لجمع الغازات ومعالجتها كإنشاء أبراج للتحلية من الغازات الحامضية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون باستخدام الأمين (Amine) و هو سائل شره لامتصاص الغازات الحامضية؛ وبالتالي فإنه يضمن تقليل مكون Co_2 في الغازات التي يتم حرقها و الحد من انبعاثاته عندما تكون التكاليف في الحدود المسموح بها، بالإضافة إلى تعزيز الشراكات بين القطاعيين العام والخاص الوطني والأجنبي لتسهيل مشاريع الاستفادة من غازات الشعلة وإعادة تدويرها في العمليات الصناعية وإنتاج الطاقة الكهربائية.

الشكر:

نتقدم بالشكر والعرفان إلى كافة العاملين بقسم هندسة الإنتاج بشركة مليته، و قسم الهندسة البيئية والسلامة بحقل الوفاء الذين قدموا إلينا يد العون وزودونا بالبيانات والمعلومات اللازمة لإنجاز هذه الورقة.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

المراجع:

[1]. م. تركي حسن حمش، حرق الغاز على الشعلة (ما هو الحجم الفعلي للشعلة) 2021 م.

[2]. شركة رأس لانوف لتصنيع النفط والغاز، منشور على الصفحة الرسمية لهم التعريف بجهاز الشعلة، يوليو 2017 م.

[3]. منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)، دراسة غازات الشعلة، أغسطس 2016 م.

[4]. بيانات الأقمار الصناعية للشراكة العالمية للحد من حرق الغاز التابعة للبنك الدولي، مارس 2023 م.

[5]. تقرير بي بي سي، حول غازات الشعلة والأضرار التي يسببها للبشر، سبتمبر 2022 م.

[6]. محمد الحسن، مجلة التقدم العلمي، دراسة غازات الشعلة في المنشآت الصناعية، أكتوبر 2017 م.

[7] قسم هندسة الإنتاج بشركة مليته، بيانات حول معدل وكمية وكثافة الغازات المحروقة في حقل الوفاء، مايو2024 م

[8]. قسم الهندسة البيئية والسلامة؛ بيانات حول معاملات انبعاث الغازات في حقل الوفاء أجهزة التحقق من التسربات وانبعاثات
الغازات المحروقة، مايو 2024 م.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **AJAPAS** and/or the editor(s). **AJAPAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

 Copyright: © 2026 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/).