

Research Article

Carbon Dioxide Life Cycle Assessment of the Energy
Industry Sector in Libya: A Case Study

Ahmed M. Makhzom^{1*}, Kaiss R. Aissa¹, Aisha A. Alshankie¹, Yasser F. Nassar², Hala J. El-Khozondar^{3,4},
Mansour A. Salem¹, Mohamed Khaleel⁵, Mohamed Bazina⁵, Monaem Elmnifi⁶

¹ Faculty of Environment and Natural Resources, Wadi Alshatti University, Brack, Libya

² Mechanical & Renewable Energy Eng. Dept., Engg. Faculty, Wadi Alshatti University, Brack, Libya

³ Elec. Eng. and Smart Systems Dept., Engg. Faculty, The Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine

⁴ Department of Materials and London Centre for Nanotechnology, Imperial College, Exhibition Road, London SW7 2AZ, UK

⁵ Department of Aeronautical Engineering, College of Civil Aviation, Misrata, Libya

⁶ Faculty of Engineering Technologies, Bright Star University, Libya

*Corresponding author: a.makhzom@wau.edu.ly

Received: June 12, 2023

Accepted: August 19, 2023

Published: August 25, 2023

This is an open access article under the BY-CC license

Abstract: In this study, the carbon dioxide CO₂ emission factor for the energy industry sector, which includes the oil and refining industry sector, was estimated by tracing the energy path in its primary form from the AlSharara and Hamada fields to AlZawia Refinery Company to the south of Tripoli power station for generating the electrical power until it reaches the final consumer through the transmission and distribution networks of electric power (electricity consuming sectors). The Life Cycle Assessment (LCA) methodology adopted in this research, which can also apply in all sectors that consume thermal energy such as sectors of transportation and industrial, due to their similarity to all sectors in the first and second stages, and they differ only in the final stage. The research also aims to estimate and collect the quantities of carbon dioxide emitted from the primary energy flow path, from the oil field (upstream) that feeds the oil refinery (downstream), which feeds the power station (infrastructure). The results of the mathematical analysis of data for the energy industry sector showed that to generate 1 megawatt-hour of electricity, 291 kg of diesel oil must be burned, and to obtain this amount of diesel, 1,141 kg of crude oil must be refined. The emitted CO₂ chart for this entire pathway was drawn up, where it was found that the total CO₂ emitted was around 1253 kg CO₂ per MWh. The share of the oil sector from the emitted CO₂ was 6.4%, whereas the share of the electricity sector was 93.6%.

Keywords: Libya; Life cycle assessment; Oil processing emission; Electricity generation emission

دورة حياة غاز ثاني اكسيد الكربون في قطاع صناعة الطاقة في ليبيا: دراسة حالة

أحمد مخزوم¹، عائشة الشنوكي¹، قيس غيسى¹، ياسر نصار²، هالة جارالله الخزندار^{3,4}، منصور سالم¹، محمد خليل⁵، محمد بازيبة⁵، منعم المنفي⁶

¹ كلية البيئة والموارد الطبيعية، جامعة وادي الشاطئ، براك - ليبيا

² قسم الهندسة الميكانيكية والطاقات المتجددة، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك-الشاطئ، ليبيا

³ قسمي الهندسة الكهربائية والانظمة الذكية، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين

⁴ دائرة المواد ومركز دراسة مواد النانو، أمبيريال كوليج، لندن، بريطانيا

⁵ قسم هندسة الطيران، كلية الطيران المدني، مصراتة، ليبيا

⁶ كلية تقنيات الهندسة، جامعة النجم الساطع، ليبيا

المخلص: تم في هذه الدراسة تقدير معامل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂ لقطاع صناعة الطاقة والذي اشتمل على قطاع صناعة النفط والتكرير وقطاع الكهرباء، وذلك من خلال تتبع مسار الطاقة في صورتها الابتدائية من حقلئ الشراة والحماة الحمرا الى معمل تكرير النفط الخام بالزاوية الى محطة جنوب طرابلس

الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية حتى تصل الى المستهلك الاخير عبر شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية (القطاعات المستهلكة للكهرباء). وذلك بتبني منهجية تقييم دورة الحياة. كما يمكن تطبيق منهجية هذا البحث على جميع القطاعات الاخرى المستهلكة للطاقة بصورتها الاولية (على سبيل المثال: قطاع المواصلات، وقطاع الصناعة)، وذلك لتشابه جميع القطاعات في المرحلتين الاولى والثانية وتختلف فقط في المرحلة النهائية. يهدف هذا البحث الى تقدير وتجميع كميات غاز CO₂ المنبعث من مسار تدفق الطاقة الابتدائية، من حقل النفط (المنبع)، والذي يزود معمل تكرير النفط (المصب)، والذي بدوره يغذي محطة توليد الكهرباء (البنية التحتية). أظهرت نتائج التحليل الرياضي للبيانات الخاصة بقطاع صناعة الطاقة، أنه لتوليد 1 MWh من الكهرباء بتوجب حرق 291 kg من وقود زيت الديزل، وللحصول على هذه الكمية من الديزل يجب تكرير 1141 kg من النفط الخام. تم رسم مخطط انبعاث غاز CO₂ لهذا المسار بالكامل، حيث وجد أن إجمالي انبعاثات غاز CO₂ بلغت حوالي 1253 kg CO₂/MWh، وكان نصيب قطاع النفط 6.4%، وما نسبته 93.6% من قطاع الكهرباء.

الكلمات المفتاحية: ليبيا؛ تقييم دورة الحياة؛ العمليات النفطية؛ توليد الطاقة الكهربائية

جدول تعريف رموز الاختصارات

الرمز	التعريف
CAPP	الرابطة الكندية لمنتجي النفط
COP27	مؤتمر الأمم المتحدة للتغير المناخي 2022، شرم الشيخ- مصر
EIA	وكالة التحقيقات البيئية
EPA	وكالة حماية البيئة
IEA	الوكالة الدولية للطاقة
IPCC	الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ
LCA	تقييم دورة الحياة
LCOE	تكلفة انتاج وحدة الطاقة
OCED	منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية
UNFCCC	اتفاقية الأمم المتحدة الاطارية بشأن تغير المناخ

1. المقدمة

في العقد الاخير من القرن العشرين، أصبح تغير المناخ قضية عالمية، وازدادت مخاوف العالم من الآثار السلبية للغازات الدفيئة. وتجسدت تلك المخاوف في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية (UNCED) الذي عقد في ريو دي جانيرو في البرازيل، في الفترة من 5-14 يونيو 1992. تلتها معاهدات واتفاقيات اخرى، كيو تو في 11 ديسمبر 1997، واتفاقية باريس في 12 ديسمبر 2015، وأخيراً مؤتمر (COP 27) والذي انعقد في مدينة شرم الشيخ بمصر في الفترة 6-18 نوفمبر 2022 لمراجعة التزامات العالم نحو اتفاقية باريس. ومن جهة أخرى، يواجه العالم أيضاً تحديات كبيرة في توفير امدادات مستمرة وأمنة ونظيفة من جميع انواع الطاقات، وخصوصاً الطاقة الكهربائية. حيث بلغت نسبة توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقة النووية حوالي 10.7%، وكان نصيب الطاقات المتجددة حوالي 23.9%، بينما استحوذ الوقود الاحفوري على النسبة العظمى والتي بلغت حوالي 65.4% [1,2]. يبلغ الانتاج السنوي من الطاقة الكهربائية في ليبيا حوالي 27.3×10^7 ميغاوات ساعة، يأتي جلها من محطات توليد الطاقة الكهربائية الحرارية التي تعمل على الوقود الاحفوري (النفط الخام 6%، الوقود الثقيل 15%، الديزل 25%، والغاز الطبيعي 54%). ينتج عن احتراق الوقود الاحفوري كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO₂)، الذي يعتبر المتهم الرئيسي في ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ العالمي.

فالبرغم من العدد الكبير من الابحاث التي تؤكد وجود موارد متنوعة وهائلة من الطاقات المتجددة في الدولة الليبية مثل الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والكتلة الحيوية [3,4]، وطاقة أمواج البحر و طاقة حرارة جوف الأرض [5]، وكذلك تقنيات الطاقات الهجينة، وتخزين الطاقة، وكفاءة الطاقة [6-13]. الا ان الاحصائيات تشير الى ان نصيب الطاقات المتجددة أقل من 1% من مزيج الطاقة المنتجة في البلاد، واقتصرت على توليد الكهرباء لمحطات اعادة البث وبعض منظومات تسخين المياه المنزلية [14-18]. أدركت الدولة الليبية أنه لتحقيق التزاماتها الدولية حول الحد من انبعاث غاز CO₂ ضرورة التحول نحو الطاقات المتجددة في توليد الطاقة الكهربائية، أعلنت الحكومة الليبية عن خطتها الإستراتيجية لتوليد الطاقة الكهربائية من بعض تقنيات الطاقات المتجددة المتوفرة في البلاد على مدى الثلاثين عاماً القادمة، والتي تهدف إلى تحقيق مشاركة الطاقات المتجددة في مزيج إنتاج الطاقة الكهربائية بنسبة 25% بحلول عام 2025، 30% بحلول عام 2030، وحوالي 60% بحلول عام 2050، وسيكون ذلك أساساً من الطاقة الشمسية المركزة، والطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح [19,20].

أجريت العديد من الدراسات حول معدلات تراكيز الملوثات مثل: أكاسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت، والمواد الجسيمية، المنبعثة من مداخن محطات توليد الطاقة الكهربائية في ليبيا [21,24]. أجرى (Makhzom et al.) حساب معامل CO₂ لعدد من المحطات الغازية [25]. كما سرد (Nassar et al.) مصادر التلوث في ليبيا، وكشفت الدراسة أن نسبة انبعاث غاز CO₂ في قطاع الكهرباء حوالي 36% من المجموع الكلي لانبعاث CO₂ في البلاد [26]. وفي دراسة أخرى تم عرض ميزان الاقتصاد البيئي لتطبيق ضريبة الكربون وحساب تكلفة المنتجات على اثر تطبيق ضريبة الكربون [27]. كذلك ينبعث غاز CO₂ من صناعة النفط خلال كل المراحل: الاستخراج والتقطير، وذلك عن طريق: التسرب من

رأس البئر، والمحرقه [28]. وتشير قوائم AP-42 الخاصة بوكالة حماية البيئة (EPA) بأن قطاع النفط في ليبيا ينفث ما مقداره 8.057 كيلوجرام CO₂ لكل برميل نفط خام [29].
تمثل الهدف العام للدراسة في رصد كميات غاز CO₂ المنبعثة على طول مسار تدفق الطاقة من المنبع (حقول النفط) الى مرحلة التصنيع (معامل تكرير النفط) الى مرحلة الاستخدام (البنية التحتية). واقتصرت الدراسة على مسار الطاقة من حقلي نفط الشرارة والحماة الحمراء اللذان يمدان معمل تكرير النفط بالزاوية بالنفط الخام، والذي بدوره يغذي سبع توربينات غازية في محطة جنوب طرابلس بزيوت الديزل لتوليد الطاقة الكهربائية. ولتحقيق هذا الهدف، تم اتباع مسارين: تمثل المسار الأول في الدراسة الميدانية وذلك من خلال الزيارات الميدانية الى جميع مراحل انتقال وصناعة الطاقة، والمتمثلة في الحقول النفطية (الشرارة والحماة)، ومصنع التكرير (شركة الزاوية لتكرير النفط)، ومحطة توليد الكهرباء (محطة جنوب طرابلس). بينما تبنى المسار الثاني النهج التحليلي الرياضي لمعالجة البيانات المتحصل عليها من المسار الأول.

2. المواد وطرق العمل

1.2. موقع الدراسة

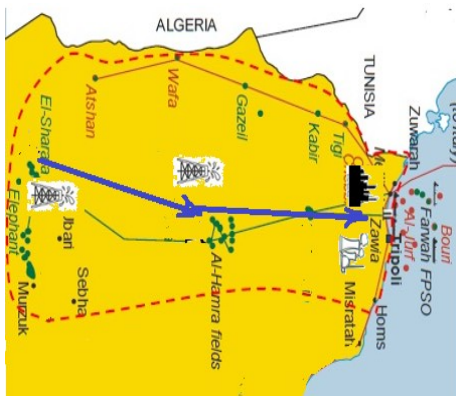
أجريت الدراسة على أربع منشآت حيوية (الشكل 1) شملت:

1. حقل الشرارة النفطية: يقع هذا الحقل في منطقة الجنوب الغربي من ليبيا على الاحداثيات (26° 25' 45.04" N, 11° 51' 11.47" E).
2. حقل الحماة الحمراء النفطية: ويقع هذا الحقل في المنطقة الوسطى من ليبيا على الاحداثيات (28° 06' 4.39" N, 19° 15' 6.78" E).
3. شركة الزاوية لتكرير النفط: تقع في الشمال الغربي وتطل على البحر الابيض على الاحداثيات (32° 47' 07.52" N, 12° 42' 00.76" E).
4. محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية: وتقع هذه المحطة الشمال الغربي من ليبيا والى الجنوب من مدينة طرابلس واحداثياتها (32° 46' 34.42" N, 13° 05' 56.29" E).

2. جمع البيانات والمعلومات

جُمعت البيانات والمعلومات الرئيسية المستخدمة في هذا البحث من المصادر التالية:-

1. تقارير اختبارات أبار النفط في حقلي الشرارة والحماة الحمراء.
2. تقرير تقييم الاداء لمصفاة الزاوية لتكرير النفط الخام.
3. تقارير التحليل الكيميائي والنسب الحجمية والخصائص الفيزيائية لغازات الشعلة.
4. شهادة التحليل الكيميائي للوقود المستخدم في شركة الزاوية لتكرير النفط ومحطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الكهرباء.
5. التقرير الدوري لإنتاج الكهرباء وكميات الوقود المستهلكة وكميات الملوثات في محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الكهرباء.



شكل 1: مسار تدفق الطاقة (الحالة الدراسية للبحث)

2.2. فرضيات الدراسة

لحساب كميات انبعاثات غاز CO₂ من مصادره تم اعتماد الفرضيات التالية :

- أ- عدم وجود أي تسرب للغازات في حقول النفط من رأس البئر او اثناء النقل من خلال الصمامات، أو المضخات، وذلك لعدم قياسها من قبل الشركات المشغلة.

ب- اهمال الانبعاثات الناتجة عن حركة الاليات داخل الحقول النفطية، وعمليات الدعم اللوجستي، ونقل العمال من والى حقول النفط .

ت- اعتبار الانبعاثات من توليد الطاقة الكهربائية في الحقول النفطية كذلك المنبعثة من الشعلة، وذلك لان معظم المحطات تعمل على غاز الشعلة.

ث- كفاءة الشعلة 100%.

ج- ظروف التشغيل اعتيادية.

ح- أجري التحليل على اساس متوسط يومي.

3.2. حدود الدراسة

بغض النظر من أن الطريقة المتبعة في هذا البحث قابلة للتطبيق على أي فئة من الفئات الثلاث السالفة الذكر أو أي بنية تحتية أخرى، غير أن النتائج المتحصل عليها في هذا البحث تقتصر على مسار تدفق الطاقة الذي تم تحديده فقط. ويرجع ذلك الى الاسباب التالية :-

1. تبين من خلال هذه الدراسة ان لكل حقل خصائصه المستقلة والتي تختلف من حيث كمية محتواها من CO₂ ونسبة الغاز الى الوقود GOR واختلاف التركيب الكيميائي لغازات الشعلة، وهذه القيم تؤثر بشكل كبير في النتائج وتعتبر احد اسباب اللاتيقين في النتائج أيضا.

2. اختلاف تقنيات التكرير (فهناك تقنيات تعتمد على الضغط واخرى تعتمد على الحرارة وثالثة تستخدم التقطير الكيميائي) وذلك لاستخلاص المشتقات النفطية من النفط الخام، فضلاً عن نوع الطاقة الحرارية المستخدمة في عمليات الفصل (وقود ثقيل، خفيف، غاز مسال، غاز طبيعي).

3. تختلف محطات توليد الطاقة الكهربائية من حيث نوع التقنية التي تعمل بها (بخارية او غازية او مزدوجة)، وكذلك من حيث الوقود المستخدم (وقود ثقيل او ديزل او نפט خام او غاز طبيعي). كما تم ملاحظة تأثير الظروف التشغيلية للمحطة على الحسابات. وبالتالي لا يمكن تعميم نتائج هذه الدراسة على جميع محطات توليد الطاقة الكهربائية الاخرى، لا سيما بوجود هذا التباين الكبير في محطات التوليد في ليبيا.

4.2. طريقة تقييم دورة الحياة

في هذه الدراسة، تم اعتماد طريقة تقييم دورة الحياة (LCA) لتقدير كميات انبعاثات غاز CO₂ المنبعثة من كل مسار الطاقة. وتعتبر LCA طريقة معتمدة تستخدم بشكل واسع لتقدير انبعاثات الهواء في العديد من انواع البنية التحتية. تأخذ هذه الطريقة في الاعتبار جميع مصادر الانبعاثات كلا على حدا من المنبع حتى البنية التحتية، الامر الذي يتطلب تحليلاً دقيقاً لجميع مصادر الانبعاثات على طول مسار تدفق الطاقة. يعتبر هذا النوع من التحليل حساساً جداً ويعتمد بدرجة كبيرة على توفر البيانات من المستوى الثالث، ويؤدي نقص البيانات الى التقليل من دقة نتيجة التقييم لدورة الحياة (LCA) [30]. ويمكن تلخيص هذه الطريقة في تحديد الكميات المتدفقة من الطاقة من المنبع حتى وصولها الى المستهلك النهائي. وفي غضون ذلك، تتم مراقبة كل كميات CO₂ المنبعثة من جميع المصادر وتجميعها خلال كافة عمليات تدفق الطاقة. في هذه الدراسة تم تقسيم قطاع صناعة الطاقة في ليبيا الى ثلاث فئات رئيسية :

- فئة المنبع (Upstream category) والتي تتضمن عملية انتاج واستخراج النفط من الحقول النفطية.
 - فئة المصب (Downstream category) والتي تتمثل في عمليات التكرير والتي تحدث في مصافي النفط.
 - فئة البنية التحتية (Infrastructure category) والتي تتضمن المستهلكين النهائيين للطاقة في صورتها الاولية والتي تتمثل في هذا البحث محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية.
- من خلال هذا التصنيف؛ تُعتبر الفئة الثالثة واسعة النطاق وتشمل كافة القطاعات مثل: قطاع الكهرباء وقطاع المواصلات وقطاع الصناعة والقطاع المنزلي (اضافة الى أي قطاع يستخدم الوقود كمصدر للطاقة). ولتطبيق طريقة LCA لتقدير انبعاثات CO₂ من قطاع صناعة الطاقة، يجب تحديد مساراً للطاقة. ولان قطاع الكهرباء هو القطاع الاكثر تلوثاً للهواء، فقد تم اختياره كهدف للدراسة.

يعرض الشكل (2) مخططاً تفصيلياً للإنتاج الكمي ومسارات تدفق الطاقة بالكامل من حقلي الشرارة والحماة الحمراء الى شركة الزاوية لتكرير النفط الى قنوات الاستهلاك النهائي من البنية التحتية، وكذلك الكمية المصدرة. وكذلك كمية الوقود اللازمة لعمل المصفاة، حسب الاحصائيات لسنة 2010 (وذلك لعدم وجود استقرار بعد هذه السنة في انتاج النفط وايضا في توليد الطاقة الكهربائية، بسبب الوضع السياسي التي مرت به البلاد، وبالتالي لا يمكن الحصول على مؤشرات دقيقة لاداء قطاع صناعة الطاقة في البلاد).

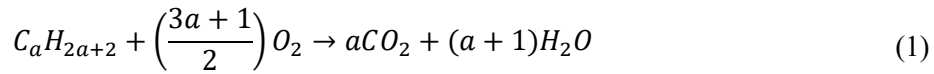
5.2. مصادر انبعاث غاز CO₂

1.5.2. عمليات احتراق الغاز

غالباً ما تصاحب عمليات استخراج النفط في الحقول النفطية وعمليات التكرير في مصافي النفط عمليات حرق للغازات في الشعلة [31]. ويضمن تصميم المشاعل في محرقة الغاز احتراق الغازات بكفاءة عالية. والهدف من عمليات الاحتراق هو حرق الغازات بشكل كامل وامن وبفعالية كبيرة، ويتم ذلك من خلال الاكسدة الكاملة، وتكون نواتج عملية الاحتراق اقل ضرراً

من انتشارها مباشرة في الهواء الجوي. تتسبب عمليات حرق الغازات النفطية في الشعلة كل عام في انبعاث أكثر من 350 مليون طن من غاز CO₂ مع تأثيرات ضارة على البيئة والصحة العامة [32]. ومن اهم هذه الانبعاثات التي يمكن ان تصل الى حد الخطورة هي غازات (الميثان، والكربون الغير محترق، والجسيمات، والمركبات العضوية الطيارة، والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات). يعرض الشكل (3) صوراً جوية من الاقمار الصناعية لشعلات الاحتراق الناتجة من حرق الغازات النفطية في حقل الشراة والحماة الحمرا وكذلك في شركة الزاوية لتكرير النفط الخام. كما تم حساب كميات غاز CO₂ الناتجة من الاحتراق التام لغازات النفط واهمال كافة الانبعاثات الاخرى. ونظراً لان التركيب الكيميائي لغازات الشعلة مختلف في المكونات وفي النسب المولية لكل عنصر في خليط غازات الشعلة، كما هو مجدول في الجدول (1)، فقد تم اعتماد نظرية التراكم "superposition theory" لحساب كمية CO₂ النظرية الناتجة من حرق غازات النفط في الشعلة. تنص نظرية التراكم على ان الناتج من التفاعل الكيميائي لخليط من المركبات الكيميائية يمكن الحصول عليه بإجراء تفاعلات كيميائية منفصلة لكل من المركبات الكيميائية كلاً على حدة وبشكل منفرد، ومن تم جمع النواتج مع بعضها البعض مرة اخرى [33].

تم في هذا البحث تصميم معادلة عامة للاحتراق الكامل والمثالي لغازات النفط التي على الصيغة الكيميائية C_aH_{2a+2}، والتي تعتبر المكون الرئيسي للغاز الطبيعي والناتج من عملية الاحتراق هو غاز CO₂ وبخار الماء H₂O، وهي كالاتي:



حيث: a تمثل عدد ذرات الكربون في العنصر.

يمكن التعبير عن معاملات انبعاثات CO₂ من عمليات الشعلة (EF_{flare}) في فئات المنبع والمصب على اساس عدة مؤشرات المعادلات (2-5)، وذلك عن طريق البيانات المتحصل عليها من التحليل الكيميائي لمكونات غاز الشعلة، وكذلك باستخدام المعادلة الكيميائية (1)، والتي لها تأثير كبير على كمية انبعاثات CO₂:

$$EF_{flare} \left[\frac{m^3 CO_2}{BOil} \right] = GOR \times \left(x_{CO_2} + \eta_{Flare} \sum_i a_i x_i \right) \quad (2)$$

$$EF_{flare} \left[\frac{kg CO_2}{BOil} \right] = \rho_{CO_2} \times GOR \times \left(x_{CO_2} + \eta_{Flare} \sum_i a_i x_i \right) \quad (3)$$

$$EF_{flare} \left[\frac{kg CO_2}{m^3 gas} \right] = \rho_{CO_2} \times \left(x_{CO_2} + \eta_{Flare} \sum_i a_i x_i \right) \quad (4)$$

$$EF_{flare} \left[\frac{kg CO_2}{MJ} \right] = \rho_{CO_2} \times \frac{1}{HV} \times \left(x_{CO_2} + \eta_{Flare} \sum_i a_i x_i \right) \quad (5)$$

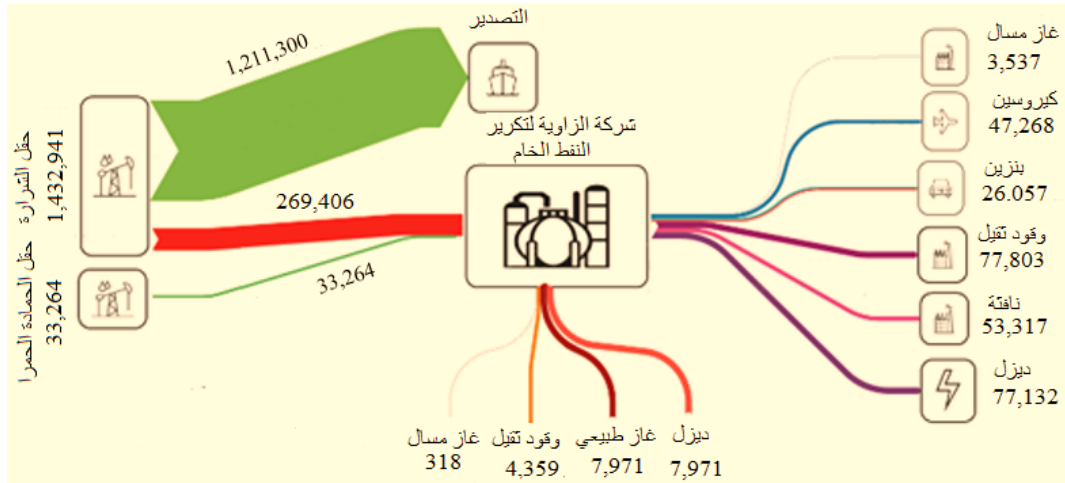
حيث أن: EF_{flare} يمثل عامل انبعاث CO₂ من عملية حرق الغاز، GOR يمثل نسبة الغاز الى النفط الخام m³/bb1، η_{Flare} يمثل كفاءة الاحتراق، x_i تشير الى النسبة الحجمية لمكون الغاز i، x_{CO₂} النسبة الحجمية لغاز CO₂ في الغاز، ρ_{CO₂} يمثل كثافة CO₂ وتساوي 1.2605 kg/m³، HV تمثل القيمة الحرارية لغاز الشعلة [MJ/m³]. يعتبر تحديد مكونات غاز الشعلة امراً ضرورياً لتقدير كمية غاز CO₂ المنبعثة خلال عملية حرق الغازات في الشعلة.

من خلال تحليل البيانات لوحظ تباين كبير في التركيب الكيميائي لغازات الشعلة كما هو مبين في الجدول (1)، والذي يمثل أحد اسباب الالاقين (Uncertainty) في حساب معامل انبعاث غاز CO₂ من الشعلة. حيث تم الحصول على التركيب الكيميائي والنسبة المولية والخصائص الفيزيائية لغاز الشعلة من مختبرات التحليل الكيميائي في مركز بحوث النفط في طرابلس. لسوء الحظ لا توجد بيانات مقاسة لانبعاثات الشعلة في حقول النفط الليبية وكذلك في معظم حقول العالم، وذلك لعدم وجود فائدة اقتصادية لقياسها. لهذا السبب، يجب تقدير كمية انبعاثات غاز CO₂ نظرياً.

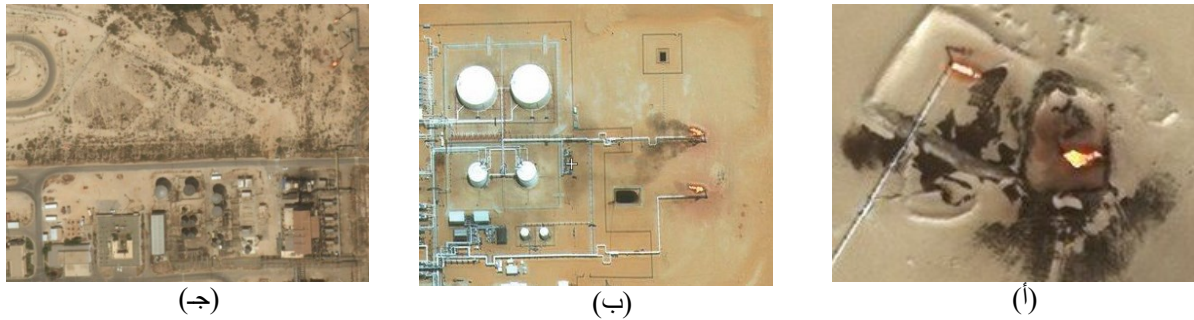
2.5.2. عمليات التسخين وتوليد الطاقة الكهربائية

تتطوي معظم الانشطة الصناعية على عمليات التسخين، بما في ذلك استخراج النفط الخام وتكرير النفط وتوليد الكهرباء [34]. حيث أن اهم العمليات الصناعية في المصفاة هي عملية التسخين، وذلك من اجل تفكيك وفصل الهيدروكربونات في النفط الخام الى المشتقات النفطية مثل غاز البترول المسال، والبزين، وزيت الديزل، وزيت الوقود الثقيل، والناقتا غير

المعالجة، وانواع اخرى كثيرة من الوقود والمواد المصاحبة. تم الحصول على الكميات الشهرية للتغذية، وإنتاج الوقود، والوقود المستهلك في شركة مصفاة الزاوية وجدولت في الجدول (2).



شكل 2: متوسط الإنتاج الكمي الشهري ومسارات تدفق الطاقة من المنبع الى البنى التحتية لعام 2010. جميع الكميات بالطن.



شكل 3: صور من قمر ناسا لمحارق الغاز: (أ) حقل الحمادة الحمرا، (ب) حقل الحرارة والمنبع (ج) شركة الزاوية لتكرير النفط

يتم تزويد محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الكهرباء (بسعة 500 MW) بزيت الديزل من قبل شركة مصفاة الزاوية. عُرضت بيانات التشغيل التي تم الحصول عليها من مكتب المراقبة والتحكم لمحطة الطاقة في الجدول (3). يؤدي فهم هذه العمليات الى اشتقاق معاملات انبعاث غاز CO₂ على أساس العديد من المؤشرات ويتم التعبير عنها من خلال المعادلات التالية:

$$EF_{CO_2} = \frac{1}{24} \times \rho_{CO_2} \times \sum_{h=1}^{24} \frac{Q_{CO_2} \times V_{fg}}{E_p} \quad kg \ CO_2/MWh \quad (6)$$

$$EF_{CO_2} = \frac{1}{24} \times \rho_{CO_2} \times \sum_{h=1}^{24} \frac{Q_{CO_2} \times V_{fg}}{E_s} \quad kg \ CO_2/MWh \quad (7)$$

$$EF_{CO_2} = \frac{1}{24} \times \rho_{CO_2} \times \sum_{h=1}^{24} \frac{Q_{CO_2} \times V_{fg}}{0.846E_s} \quad kg \ CO_2/MWh \quad (8)$$

$$EF_{CO_2} = \frac{1}{24} \times \rho_{CO_2} \times \sum_{h=1}^{24} \frac{Q_{CO_2} \times V_{fg}}{m_f} \quad kg \ CO_2/kg \ Diesel \quad (9)$$

$$EF_{CO_2} = \frac{1}{24} \times \rho_{CO_2} \times \sum_{h=1}^{24} \frac{Q_{CO_2} \times V_{fg}}{m_f \times HV} \quad kg \ CO_2/MJ \quad (10)$$

حيث ان HV تمثل القيمة الحرارية لزيت الديزل وتساوى 45,381 kJ/kg. والجدير بالذكر أن نسبة خسائر توزيع الطاقة الكهربائية في الشبكة تبلغ 15.41%.

3. النتائج والمناقشة

أستخدم برنامج الاكسل Excel من شركة الميكروسوفت الإصدار 2017 لإجراء الحسابات والتحليل الإحصائي للبيانات المسجلة من محطات الرصد والمراقبة من عدة مواقع من الفئات الثلاث تحت الدراسة. يعتبر برنامج Excel منصة مناسبة لإجراء التحاليل المطلوبة بالإضافة الى تمثيل النتائج بيانياً.

جدول 1: تقرير التحليل الكيماوي والفيزيائي لغازات النفط في حقل الشرارة وشركة الزاوية للتكرير

النسبية الحجمية %			
ت	مكونات غاز الشعلة	الرمز الكيماوي	حقل الشرارة
1	ميثان	CH ₄	79.75
2	ايثان	C ₂ H ₆	9.72
3	بروبان	C ₃ H ₈	2.68
4	بيوتان	C ₄ H ₁₀	1.34
5	بنتان	C ₅ H ₁₂	0.58
6	هكسان	C ₆ H ₁₄	0.44
7	هبتان	C ₇ H ₁₆	0.37
8	نيتروجين	N ₂	0.72
9	ثاني اكسيد الكربون	CO ₂	4.41
المجموع:			100%
الخصائص الفيزيائية عند 1.01325 بار			
	الكثافة النسبية		0.7309
	الكثافة 15 °C (kg/cum)		0.8954
	الكثافة 15 °C (Pound/1000 cuft)		59.06
	الوزن الجزئي		21.10
	اللزوجة الديناميكية 60 °F		1.02E-02
	الضغط الحرج (Psi)		681.7
	درجة الحرارة الحرجة (°R)		394.0
	القيمة الحرارية عند 0 °C gross (kCal/cum)		10730
	القيمة الحرارية عند 15°C gross (kCal/cum)		10372
	القيمة الحرارية عند 60 °C gross (Btu/cuft)		1166
	القيمة الحرارية عند 0 °C net (kCal/cum)		9914
	القيمة الحرارية عند 15 °C net (kCal/cum)		9396
	القيمة الحرارية عند 60 °C net (Btu/cuft)		1056

1.3. فئة المنبع

رُصدت مصادر انبعاث غاز CO₂ في فئة المنبع (حقول النفط) وتمثلت في خمسة مصادر رئيسية: غاز CO₂ المذاب في الماء المستخرج مع النفط الخام من البئر، وغازات الشعلة، ومحطة توليد الكهرباء، وتسرب الغاز من رأس البئر، وحركة الآليات داخل الحقل وعمليات الدعم ونقل العمال من وإلى الحقل. غير انه لا توجد معلومات مسجلة عن المصدرين الآخرين، الأمر الذي أدى الى اهمالهما. بناء عليه تم إجراء التحليل على ثلاثة مصادر للحصول على معامل انبعاث غاز CO₂ في فئة المنبع. أدرجت النتائج المتحصل عليها في الجدول (4) لكل من حقل الشرارة وحقل الحمادة الحمراء لمعامل انبعاث غاز CO₂ بوحدة kg CO₂/bbl. حيث يُحسب متوسط معامل انبعاث غاز CO₂ EF_{CO₂} المنبعث من حقل النفط من المعادلة التالية:

$$EF_{CO_2} = \frac{\sum_{i=1}^n EF_{CO_2,i} \times P_{oil,i}}{\sum_{i=1}^n P_{oil,i}} \quad kg \ CO_2/bll \quad (11)$$

حيث أن: n يشير الى عدد الحقول النفطية، i - عداد، EF_{CO₂},i يدل على معامل انبعاث غاز CO₂ للحقل النفطي، P_{oil,i} تمثل انتاجية الحقل النفطي i بوحدة برميل نفط.

جدول 2: تقرير تقييم الاداء والانتاج الشهري لشركة مصفاة الزاوية

البند	الكمية (الطن)	النسبة المئوية %
1. النفط الخام		
الشرارة	269,460	89.01
الحمادة الحمرا	33,264	10.99
المجموع	302,742	%100
2. نواتج التكرير		
غاز النفط المسال	3,537	1.17
النافتا	53,317	17.62
البنزين	25,057	8.61
كيروسين	47,268	15.62
زيت الديزل	77,123	25.48
زيت الوقود الثقيل	77,803	25.71
المجموع	285,115	%94.20
3. الاستهلاك		
الوقود الغازي	7,971	2.63
غاز النفط المسال	318	0.11
زيت الديزل	1,937	0.64
زيت الوقود الثقيل	4,359	1.44
المجموع	14,586	%4.82
4. الفواقد		
الشعلة	710	0.23
اخرى	1,580	0.52
المجموع	2,290	%0.98
الانتران الكتلي الكلي	302,670	%100

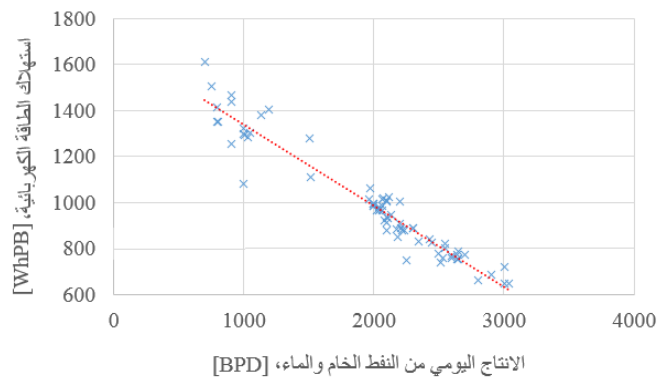
جدول 3: تقرير بيانات تشغيل وحدة التوربينية الغازية الخامسة في محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية

ت	المؤشرات	القيمة	الوحدة
1	درجة حرارة دخول الهواء الى الضاغط	38.6	°C
2	ضغط الهواء الداخل الى الضاغط	101.3	kPa
3	نسبة الانضغاط	11.4	-
4	المعدل الكتلي لتدفق الوقود	8.89	kg/s
5	درجة حرارة خروج الغازات من غرفة الاحتراق	989	°C
6	درجة حرارة خروج الغازات من التوربينة	493	°C
7	المعدل الكتلي لتدفق الغازات العادمة	374	kg/s
6	متوسط النسبة الحجمية CO2 في الغازات العادمة	2.62	%
9	الطاقة الكهربائية المتولدة	92	MW
10	الطاقة الكهربائية المرسله	90	MW

كما أمكن الحصول على تسجيلات لاستهلاك الطاقة الكهربائية من عدة حقول نفطية ومثلت بيانيا في الشكل (4). تمثل المعادلة (12) معادلة الانحدار لمعدل استهلاك الطاقة الكهربائية في حقول النفط الليبية كدالة بمعدل الانتاج اليومي من النفط والماء وبمعدل ارتباط عالي على مقياس $R^2=0.93$ وكانت المعادلة كالتالي:

$$W = -0.3522 P + 1690.8 \quad (12)$$

حيث: W - يمثل معدل استهلاك الطاقة الكهربائية لكل برميل نفط وماء،
 P - يمثل المعدل اليومي لإنتاج الحقل من النفط والماء برميل.



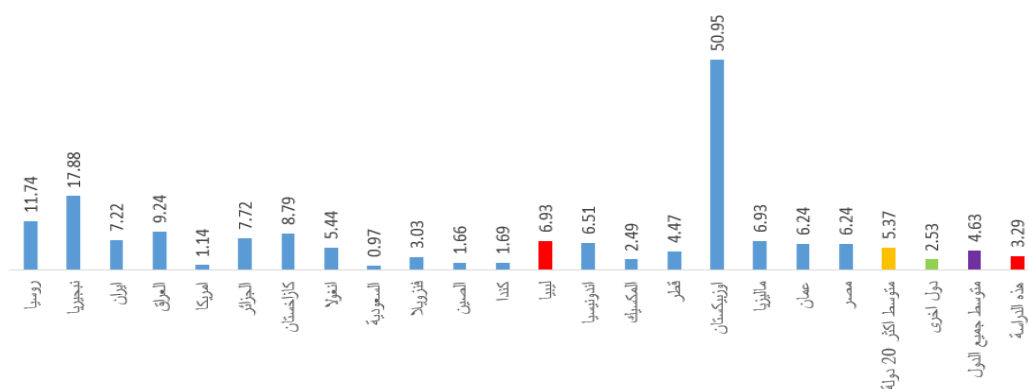
شكل 4: استهلاك الطاقة الكهربائية في الحقول النفطية

جدول 4: معامل انبعاث غاز CO₂ من فئة المنبع [kgCO₂/bbl]

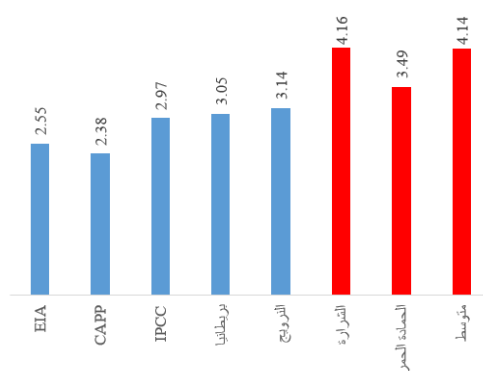
ت	المصدر	الشرارة	معامل الانبعاث kgCO ₂ /bbl
1	انبعاثات من الشعلة	3.237	3.356
2	غاز CO ₂ المذاب في الماء	0.155	0.107
3	انبعاث غاز CO ₂ من توليد الكهرباء في الحقلين	0.7640	0.0310
المجموع:			
	متوسط الانتاج اليومي bbl/day	309,460	7, 185
	متوسط معامل انبعاث غاز CO ₂ من حقلي النفط		4.141 kgCO ₂ /bbl

يمثل الشكل (5) مقارنة بين معامل انبعاث غاز CO₂ من الشعلة لعدد من دول العالم من ضمنها ليبيا والقيمة المتحصل عليها من هذه الدراسة. يرجع تباين قيم معامل انبعاث غاز CO₂ بين دول العالم بالدرجة الاولى الى مؤشر معدل نسبة الغاز في النفط GOR. بطبيعة الحال كلما زادت قيمة هذه النسبة ارتفعت قيمة معامل انبعاث غاز CO₂. وأيضاً كمية غازات النفط الذاهبة الى الشعلة، فهناك العديد من الدول تبنت استراتيجيات تسهيل غازات النفط مثل: سلطنة عمان وقطر والجزائر وايران ونيجيريا وماليزيا وبعض حقول النفط الليبية مثل حقول بوالطفل. كما يمكن استخدام غازات النفط في توليد الكهرباء وتشغيل محطات ضغط الغاز، بينما يمكن اعادة حقن الباقي في الابار لتعويض نقص الضغط في بئر النفط بعد استخراج النفط منه. يجدر الذكر أن هذه القيمة لا تمثل كافة حقول النفط الليبية، وانما تمثل فقط حقلي الشرارة والحماة الحمراء. غير أن المعلومات الواردة من عدة حقول نفطية مثل حقول بوالطفل، تشير أن غازات الشعلة أقل من الحقلين المذكورين وذلك لان هذه الحقول تبنت استراتيجيات الاستفادة القصوى من غازات الشعلة. نظرياً يمكن الوصول الى كمية الصفر لغازات الشعلة وذلك بالاستفادة الكلية منها. تم ذكر استراتيجيات انهاء انبعاثات غازات الشعلة في سياسيات التخفيف من الانبعاثات. ينتج حقول الشرارة النفطي حوالي 310,000 برميل في اليوم، وبالتالي فان كمية غاز CO₂ المنبعثة من هذا الحقول تقدر بحوالي 1,286 طناً يومياً. وبنفس الطريقة، بينما ينتج حقول الحماة الحمراء النفطي حوالي 7,185 برميل في اليوم بإجمالي انبعاثات 25 طناً من CO₂ يومياً.

يُعزى ارتفاع معامل انبعاث CO₂ في حقلي الشرارة والحماة الحمراء مقارنة بالدول الأخرى والقيم المعتمدة من قبل المنظمات البيئية، الى حرق جميع الغازات المصاحبة لاستخراج النفط، بينما يستخدم جزء صغير فقط لتوليد الكهرباء في الحقلين. مع هذا كله ما زالت هذه القيمة نصف القيمة التي استخدمها الباحثون لتحديد كمية CO₂ المنبعثة من حقول استخراج النفط الخام، والتي كانت حوالي 8.0 kgCO₂/bbl. وبناء على نتائج تحليل البيانات، من المتوقع ان تكون هناك زيادة طفيفة في قيمة معامل انبعاث CO₂، بسبب ارتفاع مؤشر نسبة الغاز الى النفط (GOR) للحقول الأخرى. ومع ذلك، هناك خطط مستقبلية للاستفادة من غازات الشعلة وتحويلها الى غاز البترول المسال (LPG)، أسوة بجميع الدول النفطية، وكما هو الحال في حقول بوظف النفطي.



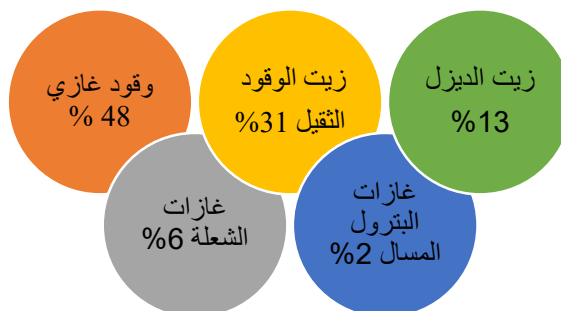
شكل 5: مقارنة بين معامل انبعاث غاز CO₂ من الشغلة لعدد من دول العالم kg CO₂/bbl. **الشكل (6)** يمثل مقارنة معامل انبعاث CO₂ لحقلي النفط المدروسة مع بعض الدول الأخرى ومنظمات دولية [35].



شكل 6: مقارنة معامل انبعاث EF_{CO_2} لحقلي النفط المدروسة مع بعض الدول والمنظمات المعنية بالبيئة، جميع المعلومات بوحدة kg CO₂/bbl

2.3. فنة المصب

تمثل الأفران والغلايات المصادر الرئيسية لانبعاثات غاز CO₂ في منشآت تكرير النفط. حيث يوجد بمصفاة الزاوية 16 فرن، وغلاية واحدة وتخرج الغازات العادمة من فتحات 4 مداخن وتُحرق غازات النفط المتصاعدة نتيجة تبخر النفط جراء عمليات التسخين في 2 مشاعل احتراق. أُدرجت المعلومات المتحصل عليها من شركة الزاوية لتكرير النفط في **الجدول (5)**. حيث يمثل **الجدول (5)** كميات غاز CO₂ المنبعثة من عمليات التسخين (مسجلة)، وكذلك كميات غاز CO₂ المحسوبة من عملية حرق غازات النفط في الشعلة اعتماداً على المعادلة الكيميائية (1) وشهادة التحليل الكيميائي لغازات الشعلة المدرجة في **الجدول (1)**. يستعرض **الشكل (7)** نسب مساهمة نوع الوقود في كمية غاز CO₂ المنبعثة من مداخن شركة الزاوية لتكرير النفط الخام جراء عمليات تسخين النفط. يتطلب إنتاج المشتقات النفطية المرور بعدة مراحل وتحت ظروف مختلفة من الحرارة والضغط، غير أن هذه المعلومات غير متوفرة في شركة الزاوية لتكرير النفط، ولهذا السبب فقد تم توزيع كمية غاز CO₂ المنبعثة من العملية بكاملها وبالتساوي على كمية المنتجات النفطية.



شكل 7: نسب مساهمة الوقود في كمية غاز CO₂ المنبعثة من شركة الزاوية لتكرير النفط

وقد يكون هذا أحد نقاط عدم الالاقين في نتائج التحليل البيئي لأداء شركة الزاوية لتكرير النفط. وبناء عليه سينبعث 173 جرام من غاز CO₂ في الهواء مقابل إنتاج واحد كيلوجرام من مشتقات النفط المختلفة، بما في ذلك زيت الديزل الذي يغذي محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية. وبالتالي فإن معامل انبعاث غاز CO₂ من منشآت التكرير يمكن أن يُصاغ بعدة مؤشرات على النحو المدرج في الجدول (6).

جدول 5: المتوسط الشهري لكميات الوقود وكمية غاز CO₂ المنبعثة ومعامل انبعاث غاز CO₂ (طن لكل شهر)

العملية	نوع الوقود	كمية الوقود (طن)	CO ₂ (طن)	EF _{CO₂} kg CO ₂ /kg burned fuel
التسخين	الوقود الغازي	7,971	23,611	2.962
	غاز النفط المسال	318	984	3.095
	زيت الديزل	1,937	6,395	3.301
	زيت الوقود الثقيل	4,359	15,249	3.498
الشعلة	المجموع	14,585	46,239	3.170
	غازات الشعلة	710	2,951	4.156
	المجموع	15,295	49,190	3.216

جدول 6: معاملات انبعاث غاز CO₂ في شركة الزاوية لتكرير النفط

ت	المؤشر	نوع الوقود	معامل انبعاث غاز CO ₂	الوحدة
1	الوقود المستهلك	الوقود الغازي	2.962	kg CO ₂ /kg Cf
		غاز النفط المسال	3.095	kg CO ₂ /kg Cf
		زيت الديزل	3.301	kg CO ₂ /kg Cf
		زيت الوقود الثقيل	3.498	kg CO ₂ /kg Cf
2	الشعلة	غازات الشعلة	4.156	kg CO ₂ /kg flare gas
3	النفط الخام		0.162	kg CO ₂ /kg crude oil
4	المشتقات النفطية المنتجة		0.173	kg CO ₂ /kg Pf

حيث ترمز الرموز Cf و Pf الى الوقود المستهلك والوقود المنتج على التوالي.

يلاحظ من النتائج أن قيمة معامل انبعاث غاز CO₂ من محرقة شركة الزاوية (الجدول 6) أكبر من تلك المحسوبة في حقل النفط (الجدول 4)، ويرجع سبب ذلك الى اختلاف النسبة الحجمية لمكونات غاز الشعلة (الجدول 1). فكلما زادت النسبة الحجمية للمركبات التي تتضمن عدد ذرات الكربون (a) أكبر زادت بالمقابل قيمة معامل انبعاث غاز CO₂ والعكس صحيح. كما يوضح التحليل الكمي لتدفق المدخلات والمخرجات للمصفاة فإن إنتاج 1 كجم من الوقود يتطلب تدفق 1.121 كجم من النفط الخام. وبتطبيق الاتزان الكتلي يتبين انه لإنتاج 1 كجم من زيت الديزل يتطلب توريد 4.144 كجم من النفط الخام الى شركة الزاوية لتكرير النفط. ويبين الجدول (7) الاتزان الكتلي لإنتاج شركة الزاوية لتكرير النفط.

جدول 7: كميات النفط الخام المطلوبة لإنتاج 1 كجم من مشتقات النفط المنتجة في شركة الزاوية لتكرير النفط (كيلوجرام)

نوع الوقود	غاز النفط المسال	النافتا	البنزين	كيروسين	زيت الديزل	زيت الوقود الثقيل
كميات النفط الخام (kg)	90.331	5.995	12.756	6.762	4.144	4.108

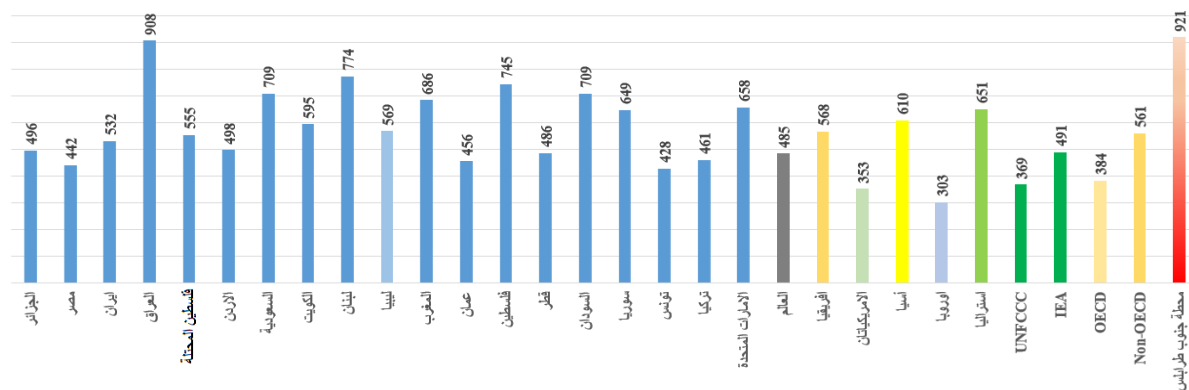
3.3. فنة البنية التحتية

بناء على معلومات الأداء المتحصل عليها من مكتب مراقبة الأداء والصيانة في محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية والتي أدرجت أعلاه في الجدول (3)، وشهادة التحليل الفيزيائي الصادرة عن المختبر المركزي لوقود زيت الديزل التي تزود به المحطة، أمكن الحصول على معاملات انبعاث غاز.

جدول 8: معامل انبعاث غاز CO₂ من قطاع الكهرباء

المؤشر	القيمة	الوحدة
وحدة طاقة كهربائية منتجة	920.6322	kg CO ₂ /MWh
وحدة طاقة كهربائية مرسلة الى الشبكة	938.0642	kg CO ₂ /MWh
وحدة طاقة كهربائية مرسلة عبر الشبكة لكل 1000 كيلومتر	1088.346	kg CO ₂ /MWh
لكل وحدة كتلة لزيوت الديزل	2.980	kg CO ₂ /kg Diesel
لكل وحدة حرارية للوقود	66.104	kg CO ₂ /GJ
الطاقة الحرارية المطلقة في البيئة	208.544	MWh
درجة حرارة الغازات العادمة	493	°C

يوضح الشكل (8) معاملات انبعاث غاز CO₂ من قطاع توليد الكهرباء في دول الشرق الاوسط وشمال افريقيا [kgCO₂/MWh] اعتمادا على ما نشرته وكالة الطاقة الدولية IEA لعام 2018 [36].



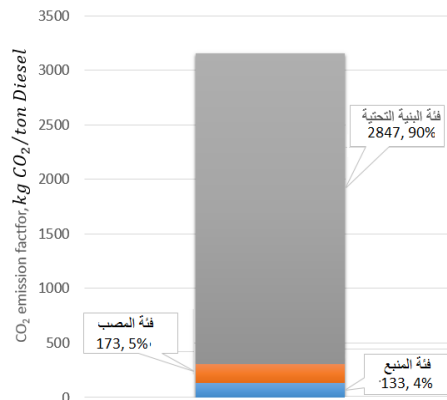
شكل 8: مقارنة معاملات انبعاث غاز CO₂ من قطاع توليد الكهرباء لعدة دول [kgCO₂/MWh]

من الملاحظ أن معامل الانبعاث لمحطة جنوب طرابلس هو الأعلى مقارنة بباقي الدول بما في ذلك القيمة المعتبرة لليبيا المدرجة في قوائم الانبعاثات IEA. ويُعزى سبب ذلك الى انخفاض قيمة كفاءة أداء المحطة (18%) وهي قيمة متدنية لمتوسط الكفاءة لجميع المحطات العاملة في ليبيا والتي بلغت حوالي 29%، وهذا يشكل انخفاضا في الأداء بما نسبته 61% وهو بدوره يؤدي الى زيادة في استهلاك الوقود وبالتالي زيادة في الانبعاثات بنفس النسبة تقريبا. كما يرجع الاختلافات بين الدول في قيم معامل انبعاث غاز CO₂ في الشكل (9) لاختلاف نسب وأنواع الوقود الأحفوري المستخدم في توليد الكهرباء. ترجع القيمة المنخفضة في أوروبا الى انخفاض مساهمة الوقود الأحفوري في توليد الكهرباء واعتمادها على مصادر اخرى مثل الطاقة النووية والطاقة المائية والطاقات المتجددة في توليد الجزء الأكبر من احتياجاتها من الطاقة الكهربائية. كذلك يمكن الملاحظة من الشكل (9) أن هذه القيم أكبر من القيمة المنشودة التي اعتمدها اتفاقية الامم المتحدة الاطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) للحد من التدهور البيئي. مما يستلزم بذل الكثير من الجهد للحد من انبعاثات غاز CO₂ بنسبة الثلث تقريبا. ويجدر التنويه بانها لا يمكن مقارنة معامل انبعاث CO₂ لمحطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية التي تعمل على زيت الديزل بالبيانات الواردة في الشكل (9) لان توليد الكهرباء القائم على الديزل لا يمثل سوى 40% من اجمالي توليد الكهرباء في ليبيا. ومع ذلك فان القيمة اكبر من القيمة المحددة من قبل منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية في عام 2015، والتي بلغت حوالي 700 [kgCO₂/MWh] [37].

4.3 مسار الطاقة بالكامل

بعد ما تم حساب كميات انبعاث غاز CO₂ من كل فئات مسار الطاقة، فانه أصبح بالإمكان تقدير كمية غاز CO₂ المنبعثة خلال رحلة الطاقة من المنبع الى البنية التحتية، وذلك بجمع كافة الكميات مع بعضها البعض [38-40]. تؤدي النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث الى تحديد كلا من الكتلة والطاقة والملوثات المصاحبة لإنتاج الطاقة في أي صورة من صورها على طول مسار تدفق الطاقة. وفقاً لذلك، فانه يمكن تحديد سلسلة الطاقة على النحو التالي: لتوليد 1 kWh يستلزم حرق 0.348 kg من زيت الديزل، مما يتطلب تكرير 1.442 kg من النفط الخام. وإذا ما تم حساب الخسائر الناجمة عن ارسال 1 kWh في الشبكة ومن تم نقله عبر منظومة التوزيع الى ان يصل الى المستهلك الأخير فإن هذه الكميات ستتضاعف. يبين

الجدول (9) الاتزان الكتلي في كل مسار تدفق الطاقة من الصورة الابتدائية للطاقة في صورة النفط الخام الى المستهلك الأخير للطاقة الكهربائية. أما الاتزان البيئي والمتمثل في انبعاث غاز CO₂ فقد أدرجت نتائجه في **الجدول (10)**.



شكل 9: نصيب كل فئة من معامل انبعاث غاز CO₂ التراكمي في سلسلة تدفق الطاقة الكامل بمؤشر كتلة الوقود

جدول 9: الاتزان الكتلي على كل مسار الطاقة ومتطلبات توليد 1 MWh

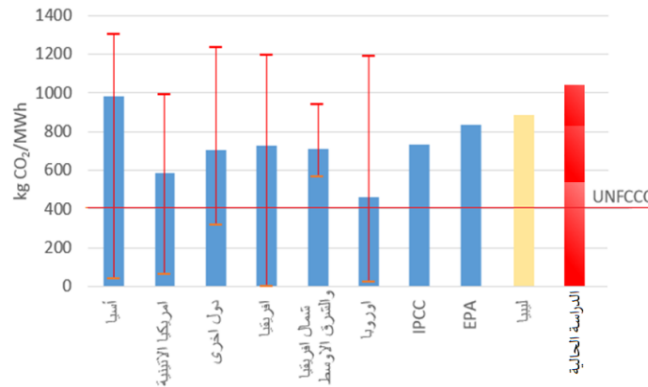
المؤشر	كمية النفط الخام بالطن
1 وحدة طاقة كهربائية منتجة	1.442
2 وحدة طاقة كهربائية مرسله الى الشبكة العامة للكهرباء	1.474
3 وحدة طاقة كهربائية مرسله عبر الشبكة لكل 1000 كيلومتر (فاقد 7%)	1.577
4 وحدة طاقة كهربائية واصله للمستهلك النهائي (فاقد 15.41%)	1.664

جدول 10: معامل انبعاث غاز CO₂ المتراكم على طول مسار الطاقة

الوحدة	معامل الانبعاث	المؤشر
		أ. فئة المنبع (حقلي الحرارة والحماة الحمراء)
kg CO ₂ /ton crude oil	32.077	1 وحدة طاقة ابتدائية (واحد طن نفط خام)
kg CO ₂ /GJ	0.745	2 وحدة طاقة حرارية للنفط الخام (GJ)
kg CO ₂ /ton Diesel oil	132.830	3 وحدة كتلة زيت ديزل
kg CO ₂ /GJ	2.989	4 وحدة طاقة حرارية مضافة من فئة المنبع لإنتاج زيت ديزل
		ب. فئة المصب (شركة الزاوية لتكرير النفط)
kg CO ₂ /ton Diesel oil	306.0	5 وحدة طاقة ابتدائية بصورة وقود زيت الديزل (واحد طن زيت الديزل)
kg CO ₂ /GJ	6.887	6 وحدة طاقة حرارية مضافة من فئة المصب لإنتاج زيت الديزل
		ج. فئة البنية التحتية (محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الطاقة الكهربائية)
kg CO ₂ /GJ	70.961	7 وحدة طاقة حرارية لزيت الديزل أساسية
kg CO ₂ /GJ	80.837	8 وحدة طاقة حرارية ديزل متراكمة (4+6+7)
kg CO ₂ /MWh	1,036.50	9 وحدة طاقة كهربائية منتجة
kg CO ₂ / ton Diesel oil	3,286.00	10 وحدة كتلة زيت ديزل
kg CO ₂ /GJ	0147.12	11 وحدة طاقة حرارية ديزل محترقة لتوليد الطاقة الكهربائية بكفاءة (18%)
kg CO ₂ /MWh	1,059.82	12 وحدة طاقة كهربائية مرسله الى الشبكة (فاقد 2.2%)
kg CO ₂ /MWh	1,252.89	13 وحدة طاقة كهربائية واصله للمستهلك النهائي (فاقد 15.41%)
kg CO ₂ /GJ	0169.80	14 وحدة طاقة حرارية ديزل متراكمة نهائية
kg CO ₂ / ton Diesel oil	6,902.320	15 وحدة كتلة زيت ديزل

كما يمكن تحويل هذه السلسلة الى أي من المؤشرات الفيزيائية الأخرى. الطريقة المتبعة في هذا البحث تؤدي الى زيادة في قيمة معامل انبعاث غاز CO₂ عن تلك التي تم الحصول عليها دون احتساب سلسلة الانبعاثات بأكملها، حيث بلغت نسبة

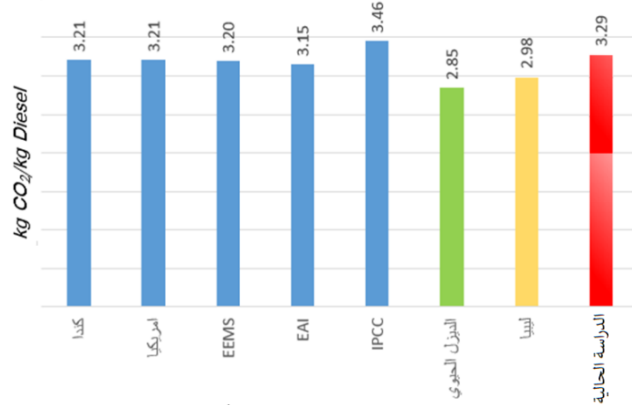
الزيادة حوالي 12.7% على أساس وحدة الطاقة الكهربائية المنتجة (MWh) وبنسبة 10.3% على أساس وحدة كتلة وقود زيت الديزل (kg Diesel oil). يوضح الشكل (9) تفصيلاً لمعامل الانبعاث التراكمي لغاز CO₂ بوحدة kg CO₂/ton Diesel. كذلك يوضح الشكل (9) ان عمليات حرق الوقود لإنتاج الصورة النهائية من الطاقة وهي الطاقة الكهربائية، وان حوالي 90% من انبعاثات غاز CO₂ تأتي من حرق الوقود لإنتاج الطاقة الكهربائية، الامر الذي يستدعي تدخلا تقنيا سريعا للحد من هذه الانبعاثات. وذلك عن طريق استخدام تقنيات توليد أكثر كفاءة والتخطيط في المستقبل الى التحول نحو الطاقات المتجددة. ولتخفيض الانبعاثات ينصح باستخدام الغاز الطبيعي وكذلك استخدام اسرات الكربون واستخدام الغاز الطبيعي بدلا من الديزل والتخطيط في المستقبل الى التحول الوقود الشمسي المتمثل في المركبات الشمسية بكافة أنواعه. يمثل الشكل (10) مقارنة بين معاملات انبعاثات غاز CO₂ على أساس مؤشر توليد الكهرباء لبعض مناطق في العالم (kg CO₂/MWh) وايضا مع تلك الواردة في بيانات قوائم الهيئات الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ مثل IPCC و EPA والقيمة التي تم الحصول عليها في هذا البحث. يرجع سبب التباين الواسع في معاملات انبعاثات غاز CO₂ الى استخدام الطاقة النووية او الكهرومائية او المتجددة في توليد جزء من الطاقة الكهربائية في بعض البلدان. بينما يستخدم البعض الاخر الوقود الاحفوري (الفحم او الغاز الطبيعي او زيت الديزل او زيت الوقود الثقيل او النفط الخام)، في مثل هذه الحالات يكون معامل انبعاثات غاز CO₂ عالياً بناء على نوع الوقود المستخدم، فيكون عالياً جدا في حالة استخدام الفحم الحجري مثلا ويكون منخفضا نسبيا في حالة استخدام الغاز الطبيعي. ونلاحظ من الشكل (10) أن بعض الدول حققت نجاحا في هذا المضمار، حيث تمكنت من تبني تقنيات اوصلتها الى القيمة التي حددتها اتفاقية الامم المتحدة الاطارية (UNFCCC) بشأن تغير المناخ. بشكل عام لا يزال متوسط معامل انبعاثات غاز CO₂ اعلى من المستوى المستهدف. يستعرض الشكل (10) سياسات البلدان التي حققت نجاحاً في هذا المجال، لكي تحدد الدول التي لا تزال فوق المستوى حدوها. كما يشير الشكل (10) الى أن المنطقة الوحيدة التي ليس لديها توليد للطاقة تحت المستوى المحدد هي منطقة الشرق الاوسط وشمال افريقيا.



شكل 10: مقارنة بين الحد الأقصى والادنى والمتوسط لمعاملات انبعاثات غاز CO₂ الاقليمية على أساس مؤشر توليد الطاقة الكهربائية (kg CO₂/MWh)

ويرجع السبب في ذلك الى وفرة الاحتياطي المؤكدة من النفط الخام والغاز الطبيعي في هذه الدول. ولذلك من المتوقع ان يكون الوقود الأحفوري حالياً وفي المستقبل القريب هو المصدر الوحيد لتوليد الكهرباء. على الرغم من توفر عدة مصادر أخرى بديلة وصديقة للبيئة لتوليد الطاقة الكهربائية مثل: الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وطاقة الكتلة الحيوية الا ان استخدام هذه المصادر البديلة لا تشكل الا نسبة صغيرة جدا فقط من اجمالي التوليد في هذه المنطقة. ووفقا لتقرير توقعات قطاع الطاقة في منطقة الشرق الاوسط وشمال افريقيا لعام 2019، فانه تم توليد ما نسبته 3.1% فقط من الطاقة من مصادر الطاقة المتجددة (2.3% من الطاقة الكهرومائية و0.8% من باقي مصادر الطاقات المتجددة) مقارنة 96.9% من مصادر الوقود الأحفوري. كما يتضح من الشكل (10) انه لا يزال هناك الكثير من العمل الذي يتوجب القيام به للوفاء بمتطلبات اتفاقية الامم المتحدة الاطارية (UNFCCC) بشأن تغير المناخ. يعرض الشكل (11) مقارنة بين معاملات انبعاثات غاز CO₂ على أساس مؤشر كتلة الوقود للعديد من البلدان والمنظمات والوكالات المعنية بالبيئة ووقود الديزل الحيوي (B100) والقيمة التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة.

يوضح الشكل (11)، ان حرق 1 kg من زيت الديزل اللبني ينبعث منه كمية اقل من غاز CO₂ مقارنة بالدول الاخرى. كما أن الطريقة الجديدة أدت الى زيادة معامل انبعاثات غاز CO₂ بنسبة 10.4% عن الطريقة التقليدية. بينما أظهر معامل انبعاثات غاز CO₂ على أساس كتلة الوقود مؤشرا جيدا، اظهر معامل انبعاثات غاز CO₂ (kg CO₂/MWh) ارتفاعاً ملحوظاً من خلال مؤشر انتاج الطاقة الكهربائية مقارنة مع المقاييس الاخرى، وهذا يشير بدوره الى تدني كفاءة تشغيل محطة توليد الكهرباء.



شكل 11: مقارنة بين معاملات انبعاث غاز CO₂ على أساس مؤشر كتلة الوقود (kg CO₂/kg fuel)

وبمعلومية معاملات انبعاث CO₂ فإنه يمكن الحصول على القيمة الحقيقية لكتلة غاز CO₂ (M_{CO_2}) المنبعثة سنويا في الهواء الجوي من المعادلة (13).

$$M_{CO_2} = EF_{CO_2} \times V \quad kg \text{ CO}_2/year \quad (13)$$

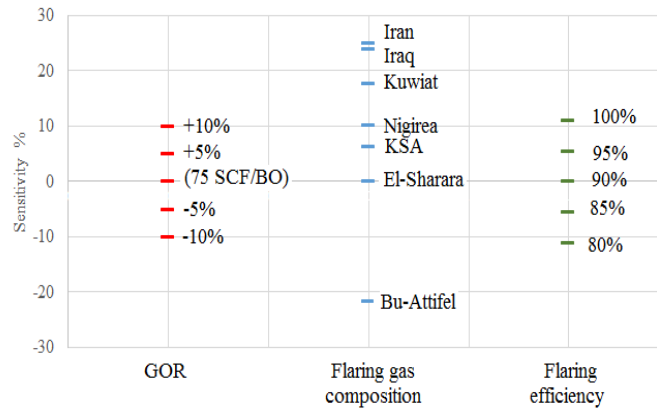
حيث V يمثل المنتج، والذي يمكن في هذه الحالة ان يكون الطاقة الكهربائية بوحدة كيلوواط ساعة في السنة.

5.3. الحساسية واللايقين في النتائج

تم إجراء تحليل الحساسية لعدد من الخصائص الفنية والتقنية لفئة المنبع مثل: نسبة الغاز الى البترول (GOR) والتركيبية الكيميائية للغازات وكفاءة الاحتراق في الشعلة، وذلك لتحديد درجة تأثير كل متغير في معامل انبعاث غاز CO₂. ومثلت النتائج التي تم الحصول عليها في الشكل (12). كما يمكن تحديد درجة تأثير الخصائص التقنية من الشكل (12):

- 1- يؤثر تكوين غاز الاحتراق على انبعاثات غاز CO₂ بنسبة $\pm 25\%$.
 - 2- تؤدي زيادة معدل GOR الى زيادة انبعاثات غاز CO₂ بنفس النسبة والعكس صحيح.
 - 3- تؤدي زيادة كفاءة الاحتراق الى زيادة انبعاثات غاز CO₂ بنفس النسبة والعكس صحيح.
- كما اشارت نتائج الحساسية في فئة المصب الى ان معامل انبعاث غاز CO₂ يعتمد بدرجة عالية على نوع الوقود المستعمل في التسخين لعمليات الفصل في المصفاة. أما في فئة البنية التحتية فقد تبين أن كفاءة الأداء لمحطات توليد الطاقة الكهربائية تلعب دورا كبيرا في كمية الانبعاثات، فتؤدي زيادة الكفاءة الى التقليل من حرق الوقود لانتاج الطاقة الكهربائية وهذا بدوره سيؤدي الى انخفاض انبعاث غاز CO₂ والتكنولوجيا المستخدمة في توليد الطاقة (غازية، أو بخارية، أو مزدوجة) والتي وبطريقة ما تدرج تحت بند كفاءة التوليد، وتعتبر المحطات المزدوجة لها أكبر الكفاءات والتي تصل الى حوالي 45%. كذلك يلعب نوع الوقود المستخدم (الغاز الطبيعي، زيت الديزل، زيت الوقود الثقيل، النفط الخام) دورا أساسيا في تحديد كمية الانبعاثات من محطات توليد الكهرباء. فمن المعروف أن المحطات العاملة على النفط الخام هي الأكثر تلوثا يليه الزيت الثقيل ثم زيت الديزل بينما يتمتع الغاز الطبيعي بسمعة حسنة في هذا المضمار. كما وان للظروف المحيطة بالموقع (ارتفاع الموقع، ونسبة الرطوبة، ودرجة الحرارة) أيضا تأثيراً على أداء المحطة وبالتالي لها علاقة غير مباشرة بكمية انبعاثات الغازات الملوثة [41].

ناقش العديد من الباحثين في مجال علوم البيئة مصادر اللايقين، حيث ترتبط مصادر اللايقين الرئيسية بالبيانات والمعلومات، واستخدام معاملات انبعاث من المستوى الاول وإهمال بعض المراحل بسبب نقص المعلومات أو بسبب قيمتها الصغيرة نسبياً، مثل التسربات اثناء الاستخراج والنقل والتخزين. بالإضافة الى الاخطاء التي تحدث اثناء العمليات الحسابية مثل تحويل الوحدات، والخصائص الفيزيائية للوقود والغازات (الكثافة لزيت الديزل تتفاوت $\pm 4\%$). أيضاً، استخدام القيم المتوسطة للبيانات وإهمال بعض الحسابات التقريبية. إضافة لوجود اختلافات في خصائص الابار النفطية كما اشارت المعلومات المتحصل عليها من بيانات الواردة من محطات المراقبة في الحقول النفطية لذلك.



شكل 12: حساسية انبعاثات غاز CO₂ للخصائص التقنية لفئة المنبع

تعتبر النتائج والمعلومات المتحصل عليها في هذا البحث ذات قيمة للحد من التلوث والتدهور البيئي، مما يستوجب بذل المزيد من العمل والجهد على المستوى الوطني.. وحتى تكون هذه الجهود فعالة يلزمها غطاءً تشريعياً وقانونياً للوصول الى تحقيق المساهمات المحددة وطنياً والتزامها الدولي بالمعاهدات والاتفاقيات المتعلقة بخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ولتحقيق ما ذكر أعلاه نوصي بالاتي:

• فئة المنبع

يعتبر الوصول الى انعدام وجود غازات محترقة في الشعلة هدفاً للمؤسسة الوطنية للنفط ويمكن تنفيذ هذا الهدف بعدة طرق:
 أ. ضغط غازات الشعلة الى سائل وإنتاج غاز البترول المسال كما هو الحال في حقل بوالطفل.
 ب. حقن الكمية المتبقية من غازات الشعلة بعد عمليات الضغط المتكررة والتي يكون محتواها الحراري اقل من (10.0 MJ) في ابار النفط لتعويض الضغط المفقود من استنزاف النفط الخام.
 ج. العمل على ابناء محطات توليد طاقة كهربائية متوسطة القدرة تعمل على غازات الشعلة لامداد الشبكة العامة للكهرباء والمناطق السكنية المجاورة بالطاقة الكهربائية.
 غير أن استخدام احدى الطرق المذكورة اعلاه للتخفيف من التأثير البيئي للانبعثات هو بالدرجة الاولى قراراً اقتصادياً، ويعتمد على العديد من العوامل منها على سبيل المثال خاصية نسبة الغاز الى النفط (GOR) وأيضا التركيب الكيميائي لغازات الشعلة.

• فئة المصب

تعتبر عمليات التسخين هي المصدر الأكبر للانبعثات في هذه الفئة مما يستلزم اتخاذ التدابير التالية:
 أ. استخدام أنواعاً من الوقود الصديق للبيئة مثل الديزل البيولوجي أو الوقود الشمسية لانتاج الطاقة الحرارية اللازمة لعمليات فصل النفط الخام عوضاً عن الوقود الاحفوري، وخاصة ان درجات الحرارة المطلوبة ليست مرتفعة ولا تتعدى 350° C.
 ب. استخدام التقنيات الحديثة الأكثر كفاءة والاقل اعتماداً على الحرارة لعمليات فصل النفط الخام.
 ج. ضغط غازات الشعلة الناتجة من عمليات تسخين النفط وتحويلها الى غاز البترول المسال واستغلالها كمصدر للطاقة الحرارية في المصفاة.

• فئة البنية التحتية

تعتبر هذه الفئة المصدر الأكبر لتلوث الهواء، وللمحد من انبعثات الملوثات نوصي باتباع الاستراتيجيات التالية:
 أ. استخدام الغاز الطبيعي عوضاً عن النفط الخام او زيت الوقود الثقيل او زيت الديزل.
 ب. استخدام اسرات الكربون.
 ج. التحول الى توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الطاقات المتجددة كالتقنية الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الكتلة الحيوية.
 د. اصدار التشريعات اللازمة للسماح للقطاع الخاص بالاستثمار في قطاع الطاقة الكهربائية لما يزيد من فرص التنافس في السوق المحلية في مجال الطاقة.
 هـ. تشجيع المواطنين على استخدام الطاقة الشمسية في عمليات التسخين والتبريد وتوليد الكهرباء وتوفير التقنيات اللازمة في السوق بأسعار تنافسية ومنح القروض الميسرة لدعم هذا التوجه .
 و. تحسين كفاءة منظومة نقل وتوزيع واستهلاك الطاقة الكهربائية في البلاد. حيث أشارت أحر احصائيات البنك الدولي للمعلومات أن الخسائر في منظومة التوزيع بلغت حوالي 70%، وذلك بسبب التخريب والدمار الذي لحق منظومة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية [42-44].

• فئة المستهلك

يتمثل المستهلك في الشرائح الصناعية والخدمية والاجتماعية التي تورد الشركة العامة للكهرباء لهم الطاقة الكهربائية والتي تقع على عاتقهم الجزء الأكبر من تحقيق التنمية المستدامة والمحافظة على البيئة المحلية، كونهم نهاية رحلة الطاقة والتي تسعى الشركة لتحقيق رضاهم. ولذا نوصي بالاتي:

أ. توعية أفراد المجتمع بترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية، مما يحقق عائدا كبيرا على البيئة المحلية وعلى الاقتصاد الوطني.

ب. استخدام الغاز الطبيعي في تسخين المياه والتدفئة والاعراض المنزلية المختلفة.

ج. استخدام الأجهزة الكهربائية عالية الجودة مثل التوجه الى استعمال المصابيح الاقتصادية بدلا من مصابيح الغاز التقليدية ذات الاستهلاك الكهربائي المرتفع.

• المستوى الاستراتيجي

تمتلك ليبيا احتياطي كبيراً مؤكداً من النفط والغاز ويمثل مصدراً وحيداً للدخل القومي، لذلك لا نتوقع انخفاضاً في عمليات تكرير واستهلاك النفط في المستقبل القريب، وايضا استمرار صناعة النفط لفترة طويلة. مما يحتم السعي حثيثاً لتبني سياسات ناجعة للحد من التلوث الناجم من قطاع صناعة الطاقة بالكامل وبالاخص فئة البنية التحتية (قطاع الطاقة الكهربائية). ويعتبر هذا البحث بداية لتقييم الاثر البيئي لقطاع الطاقة في ليبيا، ولا يزال هناك الكثير من العمل الذي يجب القيام به للوصول الى التقييم النهائي. وذلك من خلال:

أ. اجراء دراسات تحليلية بيئية طاقوية لكل محطات الدولة وتوسيعها لتشمل جميع قطاعات الانتاج والخدمات.

ب. يجب توجيه الجهود نحو فئة البنية التحتية لأنها تمثل اكبر معدل إنبعاث غاز CO₂ بينما يترك النفط للاستثمار في الصناعات البتروكيماويات والتي بدورها ستدعم الدخل القومي.

ج. العمل على إيجاد قيم اقتصادية للاثر البيئي في المجتمع الليبي، وذلك باحتساب تكلفة الضرر البيئي الناجم عن استخدام الوقود الاحفوري في توليد الطاقة الكهربائية. واقحام العامل الاقتصادي في القضايا البيئية، مما يزيد من فرص التنافس لصالح الطاقات المتجددة.

4. الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة يمكن استنتاج التالي:

1. أن إجمالي معامل إنبعاث غاز المتراكم على مؤشر انتاج الطاقة الكهربائية MWh حوالي 1,220kg CO₂/MWh، وتمثل هذه القيمة إنبعاثات غاز CO₂ المتراكمة من جميع الفئات الثلاث.
2. كانت مساهمة كل فئة من الفئات الثلاث في هذه الكمية على النحو التالي:
 - أ. نسبة مساهمة فئة المنبع (حقول النفط الخام) حوالي 4.2%
 - ب. نسبة مساهمة فئة المصب (مصفاة تكرير النفط) حوالي 3.6%
 - ج. نسبة مساهمة فئة البنية التحتية (قطاع توليد الكهرباء) حوالي 83%
 - د. بلغت نسبة الخسائر الناجمة عن نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية (المستهلك) حوالي 15.21%.
3. لامداد المستهلك الأخير بطاقة كهربائية مقدارها 1MWh يتطلب تدفقا كتليا خلال مسار تدفق الطاقة على النحو التالي:
 - أ. يلزم توريد 6.108 kg من زيت الديزل الى محطة جنوب طرابلس الغازية لتوليد الكهرباء
 - ب. يتطلب للحصول على هذه الكمية من زيت الديزل تزويد مصفاة الزاوية بما مقداره 25.310 kg من النفط الخام من حقول النفط.
4. تبين أن معامل انبعاث غاز CO₂ لقطاع صناعة الطاقة في ليبيا مرتفعا جداً بما مقداره ثلاثة أضعاف مقارنة بالمعايير التي حددتها UNFCCC، ويعتبر الاكبر عالمياً.

مساهمات المؤلفين: قدم المؤلفون المدرجون مساهمة جوهرية ومباشرة وفكرية في العمل ووافقوا جميعاً على النشر.

التمويل: لم يتلق هذا البحث أي تمويل خارجي.

بيان توفر البيانات: لا ينطبق.

شكر وتقدير: نود أن ننتهز هذه الفرصة للتعبير عن خالص امتناني لجامعة وادي الشاطي على دعمهم الذي لا يقدر بثمن خلال بحثنا.

تضارب المصالح: يعلن المؤلفون عن عدم وجود اي تضارب في المصالح.

References

- [1] M. M. Khaleel, M. R. Adzman, and S. M. Zali, "An integrated of hydrogen fuel cell to distribution network system: Challenging and opportunity for D-STATCOM," *Energies*, vol. 14, no. 21, p. 7073, 2021.

- [2] B. Belgasim and Y. Aldali, "Review on solar thermal electricity in Libya," *jseesd*, vol. 7, no. SI, pp. 48–60, 2018.
- [3] H. Shreif, W. El-Osta, and A. Yagub, "Wind Resource Assessment for southern part of Libya: Case Study of Hun," *jseesd*, vol. 8, no. 1, pp. 12–33, 2019.
- [4] M. M. Khaleel, A. Alsharif, and I. I. K. Imbayah, "Renewable energy technologies: Recent advances and future predictions," *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*, vol. 1, no. 3, pp. 58–64, 2022.
- [5] Y. Nassar, I. Mangir, A. Hafez, H. El-Khozondar, M. Salem, and H. Awad, "Feasibility of innovative topography-based hybrid renewable electrical power system: A case study," *Clean. Eng. Technol.*, no. 100650, p. 100650, 2023.
- [6] M. Almakhtar and M. Shaaban, "Prospects of renewable energy as a non-rivalry energy alternative in Libya," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 143, no. 110852, p. 110852, 2021.
- [7] Y. F. Nassar *et al.*, "Regression model for optimum solar collectors' tilt angles in Libya," in *2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)*, 2023, pp. 1–6.
- [8] M. Elmnifi, A. Omran, M. Almosmary, and R. G. Rahel, "Biofuel production from animal waste in northeastern of Libya: Experimental and simulation investigations," *J. Environ. Manag. Tour.*, vol. 14, no. 1, p. 67, 2023.
- [9] A. A. Makhzom *et al.*, "Estimation of CO₂ emission factor for Power Industry Sector in Libya," in *2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)*, 2023, pp. 1–6.
- [10] A. A. Agll, A. Ashure Galy, A. A. Eswiasi, and O. A. Terfas, "Sustainable energy investigation for local resource application," in *2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 2023, pp. 862–867.
- [11] I. J. T. Tambari, P. Failler, and S. Jaffry, "The differential effects of oil prices on the development of renewable energy in oil-importing and oil-exporting countries in Africa," *Energies*, vol. 16, no. 9, p. 3803, 2023.
- [12] Y. Nassar *et al.*, "Solar and wind atlas for Libya," *IJEES*, vol. 1, no. 3, pp. 27–43, 2023.
- [13] Y. F. Nassar *et al.*, "Dynamic analysis and sizing optimization of a pumped hydroelectric storage-integrated hybrid PV/Wind system: A case study," *Energy Convers. Manag.*, vol. 229, no. 113744, p. 113744, 2021.
- [14] A. Ahmed, A. Alsharif, and Y. Nassar, "Recent advances in energy storage technologies," *International Journal of Electrical Engineering and Sustainability*, vol. 1, no. 1, pp. 9–17, 2023.
- [15] M. Eteriki, W. El-Osta, Y. Nassar, and H. El-Khozondar, "Effect of Implementation of Energy Efficiency in Residential Sector in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability, Gaza Strip-Palestine*, 2023.
- [16] M. Abdunnabi, N. Etiab, Y. Nassar, H. El-Khozondar, and R. Khargotra, "Energy savings strategy for the residential sector in Libya and its impacts on the global environment and the nation economy," in *Advances in Building Energy Research*, 2023.
- [17] M. Abdunnabi, I. Rohuma, E. Endya, and E. Belal, "Review on solar water heating in Libya," *jseesd*, vol. 7, no. SI, pp. 1–27, 2018.
- [18] M. M. Khaleel, S. A. Abulifa, I. M. Abdaldeam, A. A. Abulifa, M. Amer, and T. M. Ghandoori, "A current assessment of the renewable energy industry," *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)*, vol. 2, no. 1, pp. 122–127, 2023.
- [19] Y. Nassar, "Thermodynamics analysis and optimization procedure for domestic solar water heating system," *American Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 2, no. 6, pp. 92–99, 2015.
- [20] Y. Nassar *et al.*, "Regression Model for Optimum Solar Collectors' Tilt Angles in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES 2023)*, Gaza Strip, Palestine.
- [21] S. A. Yousif, A. A. Salem, Y. F. Nassar, and I. F. Bader, "Investigation of pollutants dispersion from power stations," *Int. J. Energy Res.*, vol. 30, no. 15, pp. 1352–1362, 2006.
- [22] A. Okasha, "Main Industry Stack Emissions Dispersion Over Khoms City in North-Western Libya," *Journal of Environment and Human*, vol. 1, no. 10, pp. 635–641, 2014.
- [23] I. Hesham, A. Okasha, M. Elatrash, and M. Almeshragi, "Investigation of SO₂ and NO_x Emissions from Khoms Power Stations in Libya," *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology*, vol. 2, no. 1, pp. 191–195, 2012.

- [24] I. Hesham, A. Okasha, M. Elatrash, and M. Almeshragi, "Computer Assessment of SO₂ and NO_x Emitted From Khoms Power Station in North-western Libya," *International Journal of Modern Engineering Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 45–54, 2012.
- [25] A. Makhzom *et al.*, "Estimation of CO₂ emission factor for Power Industry Sector in Libya," in *The 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability*, Gaza-Strip, Palestine.
- [26] Y. Nassar, K. Aissa, and S. Alsadi, "Air Pollution Sources in Libya," *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 63–79, 2018.
- [27] Y. Nassar, K. Aissa, and S. Alsadi, "Estimation of Environmental Damage Costs from CO_{2e} Emissions in Libya and the Revenue from Carbon Tax Implementation," *Low Carbon Economy*, vol. 8, pp. 118–132, 2017.
- [28] A. Aldrugi and H. Abdo, "Social and environmental disclosure rating in the Libyan oil and gas sector," *Change Manag. Int. J.*, vol. 16, no. 3, pp. 1–17, 2016.
- [29] *Epa.gov*. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/emission-factors_mar_2018_0.pdf. [Accessed: 23-Aug-2023].
- [30] A. Martins *et al.*, "Life cycle assessment tool of electricity generation in Portugal," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 20, pp. 129–143, 2018.
- [31] E. Emam, "Gas flaring in industry: an overview," *Petroleum & Coal*, vol. 75, no. 5, pp. 532–555, 2015.
- [32] C. Elvidge, M. Bazilian, M. Zhizhin, T. Ghosh, K. Baugh, and F. Hsu, "The potential role of natural gas flaring in meeting greenhouse gas mitigation targets," *Energy Strategy Reviews*, vol. 20, pp. 156–162, 2018.
- [33] O. Ismail and G. Umukoro, "Modelling combustion reactions for gas flaring and its resulting emissions," *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, vol. 28, no. 2, pp. 130–140, 2016.
- [34] F. Ahwide and Y. Aldali, "The current situation and perspectives of electricity demand and estimation of carbon dioxide emissions and efficiency," *International Journal of Environmental, Chemical*, vol. 7, no. 12, pp. 979–984, 2013.
- [35] D. Kahforoushan, E. Fatehifar, and J. Soltan, "The estimation of CO₂ emission factors for combustion sources in oil and gas processing plants energy sources part A," *Recovery, Utilization & Environmental Effects*, vol. 33, pp. 202–210, 2010.
- [36] IEA, "global CO₂ emissions in 2019," 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>.
- [37] E. Gavenas, K. E. Rosendahl, and T. Skjerpen, "CO₂-emissions from Norwegian oil and gas extraction," *Energy (Oxf.)*, vol. 90, pp. 1956–1966, 2015.
- [38] M. Khaleel, Z. Yusupov, Y. Nassar, H. J. El-khozondar, A. Ahmed, and A. Alsharif, "Technical challenges and optimization of superconducting magnetic energy storage in electrical power systems," *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 5, no. 100223, pp. 1–14, 2023.
- [39] M. M. Khaleel, T. Mohamed Ghandoori, A. Ali Ahmed, A. Alsharif, A. J. Ahmed Alnagrati, and A. Ali Abulifa, "Impact of mechanical storage system technologies: A powerful combination to empowered the electrical grids application," in *2022 IEEE 2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, 2022, pp. 628–636.
- [40] A. Almabrouk and S. A. Abulifa, "The technology of renewable energy and its role in achieving sustainable development," *IJEES*, pp. 1–9, 2023.
- [41] M. A. Andeef *et al.*, "The role of renewable energies in achieving a more secure and stable future," *IJEES*, pp. 11–20, 2023.
- [42] F. Dalir, M. Shafiepour, and K. Ashrafi, "Sensitivity analysis of parameters affecting carbon footprint of fossil fuel power plants based on life cycle assessment scenarios," *Global Journal of Environmental Science Management*, vol. 3, no. 1, pp. 75–88, 2017.
- [43] I. Hesham, M. Elatrash, and A. Okasha, "Steam Power Plant Design Upgrading (Case Study: Khoms Steam Power Plant)," *Energy and Environment Research*, vol. 1, no. 1, pp. 202–209, 2011.
- [44] I. Hesham, A. Okasha, and A. Elkhaldy, "Improve Performance and Efficiency of the Steam Power Plant," in *1st Conference on Petroleum Resources and Manufacturing*, Brega, Libya, 2010.