Afro-Asian Journal of Scientific Research (AAJSR)
المجلة الأفروآسيوية للبحث العلمي (AAJSR)
E-ISSN: 2959-6505
Volume 2, Issue 2, April - June 2024, Page No: 1-15
Website: https://aajsr.com/index.php/aajsr/index
SJIFactor 2023: 3.908 معامل التأثير العربي (AIF) 2023: 0.51 ISI 2023: 0.337

# الغاز الطبيعي: البديل الآمن لاستخدام وقود الزيت الثقيل في عمليات إعادة التسخين في مصانع الدرفلة على الساخن في صناعة الحديد والصلب

مصطفى أحمد بن حكومة [1*]، إبراهيم ميلاد التومي [2]، عمار سالم الجحيدري [3]،
عبد الرؤوف محمد الحنبلي [4]، محمد علي باني [5]
[1،2،3،4،5] المركز الليبي لدراسات وبحوث علوم وتكنولوجيا البيئة فرع المنطقة الوسطى، زليتن، ليبيا

# Natural Gas: A Safe Alternative to Heavy Fuel Oil for Reheating Processes in Hot Rolling Mills in the Iron and Steel Industry

Mustafa Ahmed Ben hhkoma[1*], Abraheem Meelad Altoumi[2], Ammar Salem Aljuhaydari[3], Abdulrauf Mohammed Alhnbali[4], Mohamed Ali Bani[5]
[1,2,3,4,5] Libyan Centre for Studies and Researches of Sciences and Environment Technology, Middle Zone Branch, Zliten, Libya

*Corresponding author m_hkoma2021@yahoo.com *المؤلف المراسل
تاريخ الاستلام: 2024-01-29 تاريخ القبول: 2024-03-26 تاريخ النشر: 2024-04-05

**الملخص**

تعد صناعة الحديد والصلب من أهم الصناعات الأساسية في العالم، حيث يتم استخدامها في العديد من التطبيقات الحيوية مثل البناء والسيارات والأجهزة المنزلية وغيرها. ومن أجل تلبية الطلب المتزايد على هذه المنتجات، يجب تحسين كفاءة عمليات الإنتاج في المصانع وتقليل التأثير السلبي على البيئة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت وغيرها بكميات تفوق القدرة الاستيعابية الطبيعية الأيكولوجية والمسببة لتلوث الهواء وارتفاع درجة حرارة الأرض وما ينتج عنها من تغير في المناخ والتقليل من الأضرار البيئية للوقود الأحفوري، واحدة من الطرق المبتكرة لتحقيق ذلك هي استخدام الغاز الطبيعي كبديل آمن واقتصادي لوقود الزيت الثقيل في عمليات إعادة التسخين في مصانع الدرفلة على الساخن.

هدفت الدراسة إلى إبراز أهمية استخدام الغاز الطبيعي كبديل آمن واقتصادي لاستخدام وقود الزيت الثقيل في عمليات إعادة التسخين في مصانع الدرفلة على الساخن في صناعة الحديد والصلب.

وخلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها: أن أفران إعادة تسخين الفولاذ المستخدمة لوقود الزيت الثقيل تعتبر من الملوثات للهواء الجوي، وأن استخدام الغاز الطبيعي في الأفران يقلل من كمية الملوثات والأكاسيد، وأن تكاليف استخدام حرق وقود الزيت الثقيل للفرن الواحد بلغ (105,004.27) دينار ليبي. أي (210,008.54) دينار ليبي كمصروفات استخدام الزيت الثقيل في أفران إعادة التسخين، وأن أعلى تكاليف احتراق وقود الزيت الثقيل بلغت للفرن الواحد (26,491.44) دينار في عام 2005. وأقل تكاليف احتراق وقود الزيت الثقيل بلغت للفرن الواحد (07,698.78) دينار في عام 2010، ويؤدي استخدام الغاز الطبيعي إلى انبعاثات أقل وكذلك تكلفة أقل بالإضافة إلى الأمان الكامل في التشغيل مقارنة بأنواع الوقود الأخرى، وأن استبدال الوقود المستخدم زيت الثقيل بوقود الغاز الطبيعي يوفر أقل احتواء من الملوثات ويعتبر الحل الأفضل والأنجع بين طرق التحكم في انبعاثات ملوثات الهواء الجوي.

**الكلمات المفتاحية:** الغاز الطبيعي، الزيت الثقيل، التلوث البيئي، عمليات إعادة التسخين، مصانع الدرفلة على الساخن، صناعة الحديد والصلب.

**Abstract**

The iron and steel industry are one of the most important foundational industries in the world. It is used in numerous vital applications such as construction, automobiles, household appliances, etc. To meet the increasing demand for these products, it is necessary to enhance the efficiency of production processes in factories and reduce the negative impact on the environment, particularly in terms of carbon dioxide, nitrogen oxides, sulfur oxides emissions, and others, which exceed the natural ecological carrying capacity and contribute to air pollution, rising global temperatures, climate change, and the environmental damage caused by fossil fuels. One innovative approach to achieve this is by utilizing natural gas as a safe and cost-effective alternative to heavy oil fuel in the reheating processes in hot rolling mills.

The study aimed to highlight the importance of using natural gas as a safe and cost-effective alternative to using heavy oil fuel in the reheating processes in hot rolling mills in the iron and steel industry.

The study concluded with important findings, including that the steel reheating furnaces fueled by heavy oil are significant air pollutants, and using natural gas in these furnaces reduces the amount of pollutants and oxides emitted. It was also found that the cost of using heavy oil fuel for a single furnace amounted to (7105,004.2) Libyan dinars, equivalent to (210,008.54) Libyan dinars as expenses for using heavy oil in reheating furnaces. The highest cost of burning heavy oil reached (26,491.44) Libyan dinars for a single furnace in 2005, while the lowest cost reached (07,698.78) Libyan dinars for a single furnace in 2010. Using natural gas leads to lower emissions, lower costs, and full operational safety compared to other fuel types. Replacing heavy oil fuel with natural gas fuel results in lower pollutant content and is considered the best and most effective solution among methods for controlling air pollutant emissions.

**Keywords:** Natural Gas; Heavy Oil; Environmental Pollution, Reheating Processes, Hot Rolling Mills, Iron and Steel Industry.

**مقدمة:**

تعد مشكلة التلوث أحد أهم المشاكل البيئية الملحة التي بدأت تأخذ أبعاداً بيئية واقتصادية واجتماعية خطيرة، خصوصاً بعد الثورة الصناعية والتوسع الصناعي الهائل والمدعوم بالتكنولوجيا الحديثة، وأخذت الصناعات في الآونة الأخيرة اتجاهات خطيرة متمثلة في التنوع الكبير وظهور بعض الصناعات المعقدة مثل صناعة الحديد والصلب والتي يصاحبها في كثير من الأحيان تلوث خطير يؤدي عادةً إلى تدهور المحيط الحيوي والقضاء على تنظيم البيئة العالمية [1].

يتم إنتاج الحديد والصلب من خلال عملية التحويل الحراري لخامات الحديد، وتنطوي هذه العملية على احتراق الوقود وتفاعلات كيميائية تتسبب في انبعاث الغازات الملوثة. ومن بين الغازات الملوثة التي تنتجها صناعة الحديد والصلب؛ غاز ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) الذي يعد أحد أبرز غازات الاحتباس الحراري التي تساهم في تغير المناخ والاحتباس الحراري. يتم إطلاق هذا الغاز أثناء عمليات احتراق الوقود المستخدمة في صناعة الحديد والصلب، وغاز ثاني أكسيد الكبريت:($SO_2$) ؛ حيث ينتج ثاني أكسيد الكبريت عن احتراق المواد الكبريتية الموجودة في الوقود المستخدم، وهو يساهم في تلوث الهواء وتكوين حمض الأمونيا المنتج للأمطار الحمضية، وغاز ثاني أكسيد النيتروجين :($NO_2$) ؛ حيث يُنتَج ثاني أكسيد النيتروجين نتيجة التفاعلات الحرارية في أفران الحديد والصلب، ويعتبر مسبباً رئيسياً لتلوث الهواء وتكوين الضباب الدخان، كذلك الجسيمات العالقة في الهواء؛ حيث تتكون هذه الجسيمات من الجسيمات الدقيقة والعناصر الكيميائية المتطايرة، وتنتج عن عمليات الاحتراق والتحويل في صناعة

الحديد والصلب. تسبب الجسيمات العالقة في تلوث الهواء وتؤثر على جودة الهواء وصحة الإنسان، والمعادن الثقيلة؛ قد تنطلق معادن ثقيلة مثل الرصاص والزئبق والكادميوم والنيكل أثناء عمليات الإنتاج في صناعة الحديد والصلب. تعتبر هذه المعادن الثقيلة سامة وتشكل خطراً على البيئة والكائنات الحية [2].

من هذا المنطلق جاءت هذه الدراسة مركزة بالأساس على دراسة التأثير البيئي لانبعاث الغازات جراء حرق وقود الزيت الثقيل المستخدم في عمليات الاحتراق في أفران إعادة تسخين الفولاذ بمصانع الدرفلة على الساخن بالشركة الليبية للحديد والصلب المستخدمة وذلك من خلال إظهار مؤشرات التلوث البيئي ومقارنتها بالغاز الطبيعي وجدوى استخدام الغاز الطبيعي كبديل آمن واقتصادي له. وبالتالي أصبحت مشكلة التلوث البيئي من أهم القضايا التي تحتاج إلى مزيد من الدراسة والتحليل، نظراً لأن عدم التحكم فيها أو التخفيف من حدتها يؤدي إلى تفاقم آثارها السلبية على صحة الإنسان والمنشآت الاقتصادية والنظم البيئية.

**التأثير البيئي لاستخدام وقود الزيت الثقيل:**

يظل استخدام الوقود الأحفوري ولمستقبل ليس بالقصير، المصدر الأساسي للطاقة لأغلب مجالات التنمية، الأمر الذي ساعد الدول المتقدمة على أن تنعم بالنهضة الصناعية التي سمت بمجتمعاتها إلى الرفاهية والتقدم التقني والاقتصادي. ويعتبر هذا الوقود الطاقوي المتمثل في النفط والغاز الطبيعي شريان الحياة لأغلب الأنشطة الاقتصادية والصناعية والإنتاجية بشكل عام.

ومنذ بادية التسعينات نما الاهتمام بالبيئة وبرزت مشاكل التأثر البيئي بانبعاث الغازات التي تتمثل في غاز ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة الناتجة عن احتراق الوقود من النفط ومشتقاته، ومن تغيرات استعمال الأرض مثل تحول مناطق الغابات إلى مناطق صحراوية [3].

وتعتبر الأضرار للغازات من الأسباب الملحة لتطبيق أنظمة كفاءة استخدام الطاقة والحفاظ عليها أنظمة كفاءة استخدام الزيت الثقيل وذلك للحد من التأثير السلبي المتمثل في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت وغيرها بكميات تفوق القدرة الاستيعابية الطبيعية للنظم الإيكولوجية والمسببة لتلوث الهواء وارتفاع درجة حرارة الأرض وما ينتج عنها من تغير في المناخ [4]. وللتقليل من الأضرار البيئية للوقود الأحفوري، تم اللجوء إلى تقنيات بديلة كاستخدام الغاز الطبيعي والغاز المسال والاستفادة من الطاقة الشمسية وغاز الهيدروجين والبحر والطاقة الحرارية من باطن الأرض والطاقة العضوية [5].

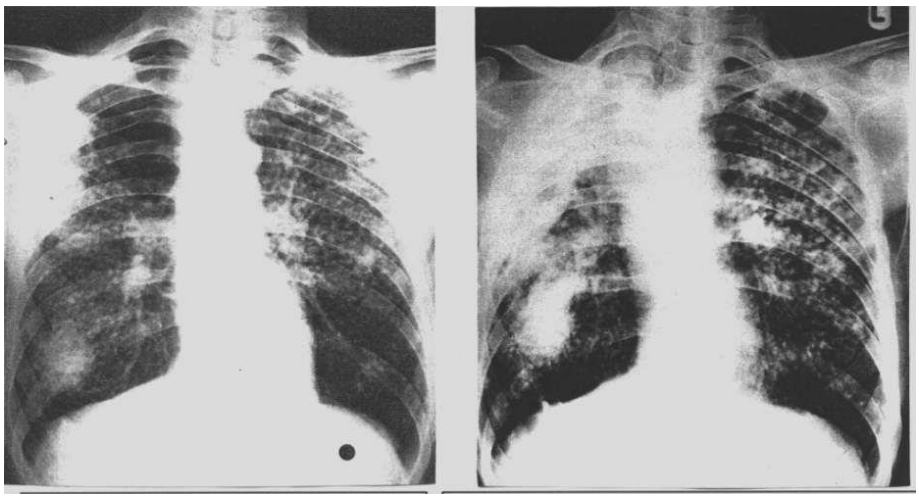
ويوضح الجدول رقم (1) العناصر المكونة للزيت الثقيل:

**جدول 1.** العناصر المكونة للزيت الثقيل بالنسبة المئوية [6]

| العنصر | الوزن |
|---|---|
| ثاني أكسيد الكربون | 76 – 84 |
| الهيدروجين | 14 – 11 |
| الكبريت | 4 – 0.50 |
| النيتروجين | 2 - 0.1 |
| الأكسيجين | 1- 0.1 |
| شوائب أخرى | 3 - 4.3 |

النفط الخام يكرر أو يصفى لتحويله إلى منتجات سلعية نفطية متنوعة ومختلفة، ويعود الاختلاف إلى طبيعة المادة الخام وتركيبها الكيميائي المتكون من خليط من عناصر غير متجانسة سوائل ومواد صلبة، غازات وعناصر هيدروكربونية وغير كربونية.

لذلك فإن عمليات التكرير النفطية المختلفة تعتمد على فصل المنتجات النفطية بحسب الصفات الفيزيائية والكيميائية، وخاصة صفة التطاير لتلك العناصر أو المركبات وعن طريق التسخين الحراري.
إن الإسراف في استخدام النفط ومشتقاته يزيد من التلوث البيئي وبشكل طردي وكلما ازداد استخدام هذا المورد بنسب كبيرة يزداد التلوث، ولما كانت التنمية والتطور التكنولوجي تعتمد أساساً على المورد النفطي، مما يعني الزيادة في نسبة التلوث، وإن الآثار السلبية التي يتركها الإسراف في استخدام النفط لم تكن مؤشرة في بداية الثورة الأوربية لكون البيئة كانت نظيفة ولديها القدرة على التوازن البيئي وذلك لوجود الغطاء الأخضر الذي يؤدي إلى توازنها، لكن قطع الكثير من النباتات لتحل محلها الطرق والمصانع والمحلات والسكن جعل الأرض تتصحر ويصبح هناك اختلال في التوازن البيئي، وقد بدأت هذه الظاهرة تتجسد في النصف الثاني من القرن الماضي وتحديداً عام 1952 بسبب تطور الصناعة وكثرة الحروب وارتفاع مستوى الدخل وكثرة عدد السكان ودخول المعسكر الاشتراكي والدول النامية في مجال التصنيع. كل هذا أدى إلى الإسراف في استخدام المشتقات النفطية وبالتالي تأثيرها على البيئة وعلى التنمية المستدامة [7].
إن التأثيرات السلبية للتلوث على الإنسان كبيرة وينتج عنها أضرار واسعة، فقد تراكمت الملوثات في الجو كما ورد توضيحه، والذي زاد في الأمر سوءً هو رخص المورد وعدم إدراك أضراره من الملوثات؛ فمثلاً ظهرت على سماء لندن عام 1952 أنواع كثيرة من الغيوم [8] والتي سببت وفاة الكثيرين ومرض الآخرين. ولغرض التباطؤ في احتراق البنزين داخل السيارات أضيفت لبنزين السيارات مواد كيماوية كالرصاص دون الاكتراث بما لها من آثار ضارة حينما تنتشر في الجو بعد الاحتراق؛ إذ إنها تسبب مشاكل خطيرة على النمو والتنفس والمسالك البولية وخاصة على الأطفال، كما وأن عادم السيارات يخرج منه الكثير من المواد السمية مثل أول أوكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكاربون وغيرها حينما يختلط جزء من هذه المواد السامة أول أكسيد الكاربون مع الدم ويؤدي إلى ضعف قدرته على امتصاص الأوكسجين وهذا يؤدي إلى ضعف القدرة على التفكير والغثيان ويؤثر على الأجنة في أرحام أمهاتهم [9].
وفي دراسة أجريت حول تأثير غبار مصانعً الحديد والصلب على العاملين وسكان الجوار-بمدينة مصراتة الليبية أن هناك بعض المرضى العاملين قد أصيبوا من جراء تلوث الهواء المحمل بغبار مصانع الحديد والصلب قد ينتج من عدم استخدام الوسائل العلمية أثناء التعامل والمناولة في المصانع المختلفة، وهناك اشخاص مصابين من ضمن العاملين بالمصنع من مرض تفحم الرئتين وأشارت الدراسة عينها وجود أحد المصابين من أحد مصانع الحديد والصلب قضى 14 سنة في العمل، تظهر صورة الأشعة الصينية للصدر وجود التهابات في الرئتين ما قد تؤثر على الأداء الوظيفي وبالتالي ارتفاع تكاليف العلاج[10].



**شكل 1.** صورة رئة لشخص مصاب بالحساسية (تليف الرئتين).

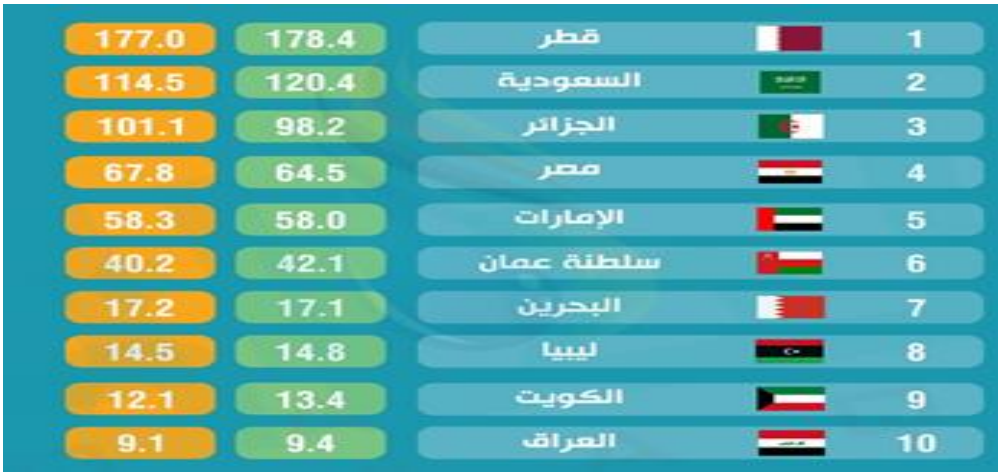
تظهر الأشعة الصدرية للرئة لمصاب من مواليد 1958 على اليسار وأخرى صورة الأشعة الصدرية لمصاب من مواليد سنة 1964 وقد ازداد تأثر الرئة اليسرى بالتلوث الجوي بما يسمى "تفحم الرئوي" [10].

ربما من الصعب هنا أن نذكر بالتفصيل تأثير كل ملوث على الصحة العامة، فالهواء الملوث جراء احتراق وقود الزيت الثقيل يعتبر تركيبة غير طبيعية ولا يساعد على عملية التنفس، وبذلك يصبح المرء منهكاً وقلقاً وغير قادر على العمل والإنتاج وتقل مقاومته للأمراض وخاصة أولئك الذين يعانون أصلاً من أمراض الجهاز التنفسي.

**الغاز الطبيعي بديلاً استراتيجياً وبيئياً.**

سجلّت ليبيا المركز الثامن بقائمة أكثر الدول العربية إنتاجاً للغاز الطبيعي، وسط ارتفاعه على أساس سنوي خلال العام الماضي، وصعد إنتاج ليبيا من الغاز الطبيعي إلى 14.8 مليار متر مكعب خلال العام الماضي، مقابل 14.5 مليار متر مكعب في عام 2021. ويشار إلى أن ليبيا وضعت العام الماضي 4 آبار غاز على خطوط الإنتاج في حقل بحر السلام، بعد إعادة تأهيلها، بإجمالي إنتاج بلغ 80 مليون قدم مكعبة يومياً، بالإضافة إلى مكثفات تبلغ 3 آلاف برميل يومياً.

وجاءت تلك الآبار ضمن خطة شاملة تنفّذها ليبيا بالتعاون مع شركة إيني غاز الإيطالية لإعادة تأهيل حقل بحر السلام وتطويره بالتعاون مع شركة إيني الإيطالية. وينتج حقل بحر السلام الواقع على بعد 110 كيلومترات من الساحل الليبي، نحو مليار قدم مكعبة من الغاز يومياً، من خلال 15 بئراً بالقرب من المنصة، و11 بئراً تحت سطح البحر. [11]




**شكل 2.** أكثر 10 دول عربية إنتاجاً للغاز الطبيعي. [12]

من المؤشرات التي ظهرت في الغاز الطبيعي مقارنةً بوقود الغاز الثقيل تتمثل في الآتي [13]:

1. رخص ثمن الغاز وكفاءة عالية في التشغيل مقارنة بالوقود السائل.
2. قلة التأثيرالسلبي للغاز على البيئة مقارنة مع أنواع الوقود السائل.
3. سهولة نقله ومناولته (لا يحتاج إلى خزانات ضخمة، ونقل بالبواخر والشاحنات).

إن ناتج احتراق الغاز الطبيعي يحتوي على نصف كمية ثاني أكسيد الكربون إذا ما قورن بالفحم وحوالي ثلاثة أرباع الكمية في الزيت الخام، وقد أظهر الغاز الطبيعي باستخدامه كوقود في تقنية الأفران كفاءة تفوق 50%، لذلك فإنه يمكن تطوير ورفع كفاءة المحروقات والأفران باستخدام وقود الغاز الطبيعي بديلاً عن الزيت الثقيل المستخدم في صناعة الحديد والصلب [3].

عند توفر الغاز الطبيعي حل في المرحلة الأولى محل منتجات تكرير الزيت الخام وغاز البترول المسال إلى أن أصبح منافساً للفحم والزيت الثقيل. وتعتمد درجة منافسته اعتماداً كبيراً على طرق استخدامه. فمثلاً عند استخدام الغاز الطبيعي لأغراض تشغيل الأفران فإنه يمتاز على منافسيه بعد الحاجة إلى مواقع تخزين. وبالتالي عدم استغلال مساحات كبيرة، وكذلك التحكم الجيد والسهل لكميات الهواء المطلوبة لإتمام عملية الاحتراق وقلة فاقد الحرارة عند استخدام الغاز الطبيعي عنه عند استخدام الزيت الثقيل [14].
وتزداد قيمة الغاز الطبيعي عن غيره من الوقود لميزته الكبيرة عند استخدامه في عمليات الحرارة المنخفضة وهي إمكانية نقله إلى نقاط استخدامه بسهولة ودون تكاليف باهظة، وكذلك إمكانية استخدام ناتج الحرق في التسخين المباشر دون الحاجة إلى وسط آخر نظيف المباشر دون الحاجة إلى وسط آخر نظيف مثل البخار [15].

**الطرق والمواد:**

أجرى الباحثين العديد من التجارب الميدانية لقياس وتحليل الانبعاثات الناتجة عن احتراق الزيت الثقيل. والجدير بالذكر أن إدارة المصنع تستخدم حالياً الأجهزة الإلكترونية اليدوية لقياس الانبعاثات الناتجة عن احتراق الزيت الثقيل بسبب عطل بعض الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المثبتة على مخارج المداخن وبعض الجهات داخل المصنع.

يوجد بمصنع الدرفلة على الساخن موضوع الدراسة منظومة كهربائية[1] تحوي عدد من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية لمراقبة وتحليل وقياس انبعاث الغازات مثبتة على المداخن كما هي موضحة بالشكل التالي رقم (3).

**شكل 3.** جهاز قياس أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين.

[1] هذه المنظومة الكهربائية شبه متوقفة حالياً لعدم صيانتها، فهي منظومة معقدة نسبياً تحتاج إلى شركة متخصصة وإلى قطع غيار التي لم تتوافر بمخازن الشركة وتم الاستعاضة بجهاز كشف انبعاثات الغازات الملوثة بيئياً (IMR).

أما الشـكل التالي رقم (4) فهو جهاز إلكتروني محمول من نوع (IMR) خاص بانبعاث الغازات الناتجة عن حرق وقود الزيت الثقيل. وهو جهاز متطور مصمم لقياس الملوثات البيئية الناتجة عن احتراق وقود الزيت الثقيل وهو موصـل بحسّـاس غالباً ما يطلق عليه الفنيون الشـمّام (Sniffer). هذا الجهاز ألماني الصـنع ومُكْلِف نسـبياً، حيث تبلغ تكلفة الجهاز أكثر من مائة ألف دولار، ويسـتطيع الجهاز قياس كافة الغاز ات المنبعثة كما يمتاز بسهولة نقله من مكان إلى آخر. كما للجهاز القدرة على تحليل البيانات ونقلها على جهاز الكمبيوتر وطباعتها، إلى جانب سهولة استعماله، ويعاب عليه صعوبة صيانته؛ إذ يحتاج إلى فنيين مهرة متخصصين في الصيانة الإلكترونية والبرمجة الإلكترونية.

تم استخدامه في هذه الدراسة وأخذ العديد من القراءات المتعلقة البحث ومن ثم إفراغها لغرض التحليل.

**شكل 4.** جهاز لقياس انبعاثات الغازات محمول الملوثة IMR - 7500

**المناقشة والتحليل:**

بعد التعريف بالأدوات والأجهزة المستخدمة لقياس الانبعاثات الناتجة عن احتراق الزيت الثقيل، وباستخدام جهاز قياس الانبعاثات المحمول (IMR) وبمساعدة مهندسين وفنيين من قسم البيئة والتشغيل بمصنع الدرفلة على الساخن، أمكن قياس تراكيز الغازات المنبعثة عن احتراق وقود الزيت الثقيل بمصنع الدرفلة على الساخن المتحصل عليها خلال تجربتين (تبدأ التجربة الأولى من يوم السبت 2021.07.28 وحتى الخميس الموافق 2021.08.02). في حين بدأت التجربة الثانية من (يوم السبت 2021.08.04 وحتى يوم الخميس 2021.08.09). والجداول التالية توضح ذلك.

**جدول 2.** تراكيز انبعاثات الغازات لقراءات التجربة الأولى

| رقم العينة | وقت الحصول على العينة | تاريخ الحصول على العينة | | التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | اليوم | الموافق | CO | $CO_2$ | $SO_2$ | $H_2S$ | $CH_4$ |
| 1 | 10:00 | السبت | 2021.07.28 | 4 | 0.19 | 5 | 2 | 5 |
| 2 | 10:00 | الأحد | 2021.07.29 | 3 | 0.18 | 6 | 2 | 6 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 10:00 صباحاً | الإثنين | 2021.07.30 | 4 | 0.17 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | 10:00 صباحاً | الثلاثاء | 2021.07.31 | 3 | 0.16 | 3 | 0 | 4 |
| 5 | 10:00 صباحاً | الأربعاء | 2021.08.01 | 5 | 0.14 | 4 | 0 | 5 |
| 6 | 10:00 صباحاً | الخميس | 2021.08.02 | 6 | 0.19 | 6 | 0 | 6 |

وبتحليل النتائج يبين الجدول رقم (2) أن أعلى نسبة تراكيز سجلت لغاز أول أكسيد الكربون CO وثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ في يوم الأحد الموافق 2021.07.29، ويوم الخميس الموافق 2021.08.02 عند الساعة العاشرة صباحاً وكانت القراءة (6 جزء من المليون) لكل منهما. في
كما أن هناك مشاهدة لأعلى نسبة تركيز بلغها غاز أول أكسيد الكربون CO يوم الخميس الموافق 2021.08.02 عند الساعة العاشرة صباحاً بواقع (6 جزء من المليون).
وفي ذات التجربة سجلت قراءة غاز الميثان $CH_4$ أعلى نسبة تركيز يوم الأحد الموافق 2021.07.29، ويوم الخميس الموافق 2021.08.02 عند الساعة العاشرة صباحاً وكانت القراءة (6 جزء من المليون) لكل منهما. في حين تراوحت نسبة تركيز غاز ثاني الكربون $CO_2$ الناتج عن احتراق الزيت الثقيل بين (14% - 19%). فقد سجت أعلى نسبة تركيز يومي السبت 2021.07.28 والخميس 2021.08.02 بواقع 0.19 جزء من المليون.
سجلت أقل نسبة تركيز لغاز أول أكسيد الكربون تم مشاهدتها في يومي الاثنين والأربعاء بتاريخ 2021.12.29 و 2021.12.31 بواقع (2 جزء من المليون)، وسجلت ثاني أكبر نسبة تركيز لغاز أول أكسيد الكربون بتاريخ 2021.08.01 وكانت القراءة (5 جزء من المليون).
وباستخدام جهاز قياس الانبعاثات المحمول (IMR) تم مشاهدة التجربة الثانية تراكيز انبعاثات الغازات الناتجة عن احتراق وقود الزيت الثقيل المستخدم في أفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن. والجدول التالي رقم (3) يوضح تراكيز انبعاثات الغازات لقراءات التجربة الثانية.

**جدول رقم 3.** تراكيز انبعاثات الغازات لقراءات التجربة الثانية

| رقم العينة | وقت الحصول على العينة | تاريخ الحصول على العينة | | التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | اليوم | الموافق | CO | $CO_2$ | $SO_2$ | $H_2S$ | $CH_4$ |
| 1 | 10:00 صباحاً | السبت | 2021.08.04 | 4 | 0.19 | 5 | 2 | 5 |
| 2 | 10:00 صباحاً | الأحد | 2021.08.05 | 3 | 0.18 | 6 | 2 | 6 |
| 3 | 10:00 صباحاً | الإثنين | 2021.08.06 | 4 | 0.17 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | 10:00 صباحاً | الثلاثاء | 2021.08.07 | 3 | 0.16 | 3 | 0 | 4 |
| 5 | 10:00 صباحاً | الأربعاء | 2021.08.08 | 5 | 0.14 | 4 | 0 | 5 |
| 6 | 10:00 صباحاً | الخميس | 2021.08.09 | 10 | 0.27 | 6 | 7 | 8 |

أشارت نتائج التجربة الثانية أن أعلى تراكيز الغازات المنبعثة سجلت بتاريخ يوم الخميس الموافق 2021.08.09 فقد سجلت قراءة غاز أول أكسيد الكربون CO كانت القراءة (10 جزء من المليون) في حين سجلت قراءة غاز الميثان CH4 (8 جزء من المليون) وكانت المشاهدة لغاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ (6 جزء من المليون)، كما سجلت قراءة غاز ثاني أكسيد الكربون (0.27 جزء من المليون) وهذه نسبة مرتفعة نسبياً (مقارنة مع بعض الدراسات السابقة التي تم الاطلاع عليها في هذه الدراسة )، كما كانت المشاهدة لغاز كبريتيد الهيدروجين H2S (7 جزء من المليون) [15] [16] [17].

**مقارنة نتائج الانبعاثات بنتائج الدراسات السابقة:**

تم الاطلاع على عدد من الدراسات ذات العلاقة بموضوع الدراسة الحالية بهدف مقارنة حساب نواتج الاحتراق جراء حرق الزيت الثقيل ومن ثم مقارنة نتائجها بنتائج الدراسة الحالية. وتم أخذ عينة من الدراسات بهدف مقارنتها مع هذه الدراسة. الجدول التالي رقم (4) يعرض أهم النتائج التي توصل إليها الباحثون.

**جدول 4.** مقارنة الدراسات السابقة بالدراسة الحالية في أعلى تراكيز انبعاثات الغازات الناتجة عن احتراق وقود الزيت الثقيل

| الدراسات | تراكيز انبعاثات الغازات الناتجة عن احتراق وقود الزيت الثقيل | | | | الجهاز المستخدم للقياس |
|---|---|---|---|---|---|
| | **التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM** | | | | |
| | $CH_4$ | $H_2S$ | $SO_2$ | $CO_2$ | |
| الغضبان وآخرون (2004) | 6 | 3 | 5 | 0.05 | 8 |
| النقيب، 2009 | 4 | 3 | 5 | 0.12 | 7 |
| أبودبوس، 2013 | 5 | 2 | 4 | 0.18 | 6 |
| الدراسة الحالية، 2021 | 8 | 7 | 6 | 0.27 | 10 |

بمقارنة نواتج الانبعاثات للدراسة الحالية مع سابقاتها من الدراسات السابقة المشار إليها بالجدول رقم (4.4) نلاحظ ارتفاع نسبي لنواتج الاحتراق لهذه الدراسة خصوصاً في غاز أول أكسيد الكربون والذي بلغ (10 جزء من المليون) يليها غاز كبريت الهيدروجين بواقع (8 جزء من المليون).

أخِذَت عينات الدراسة التي قام بها (الغضبان وآخرون، 2004) على فترتين في اليوم الواحد، بينما كانت جميع المشاهدات التي تمت في هذه الدراسة عند الساعة العاشرة صباحاً لجميع العينات على تجربتين (6 عينات لكل أسبوع تبدأ من يوم الأحد وتنهي يوم الخميس). كما تم استخدام في دراسة الغضبان جهاز يدوي يعرف بمحلل غاز المدخنة IMR 7500 ألماني الصنع، ويمكن نقله والتحرك به من مكان إلى آخر. أما دراسة (أبودبوس، 2013) فقد استخدمت جهاز محلل الغاز (Gas analyzer "URA-208 ياباني الصنع وهو جهاز حديث ذو دقة عالية متصل بمنظومة كهربائية.

وهذا ينطبق على الأسلوب الذي اتبعته دراسة (النقيب، 2009) حيث أخذت العينات من مداخن محطة كهرباء الخمس وأجريت التجارب على مدى ستة أيام متتالية. في حين أن الدراسة الحالية استخدمت بسبب عطل منظمة التحكم الخاصة بقياس نواتج احتراق الزيت الثقيل بأفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن، جهاز IMR 7500 لقياس انبعاثات الغازات الملوثة.

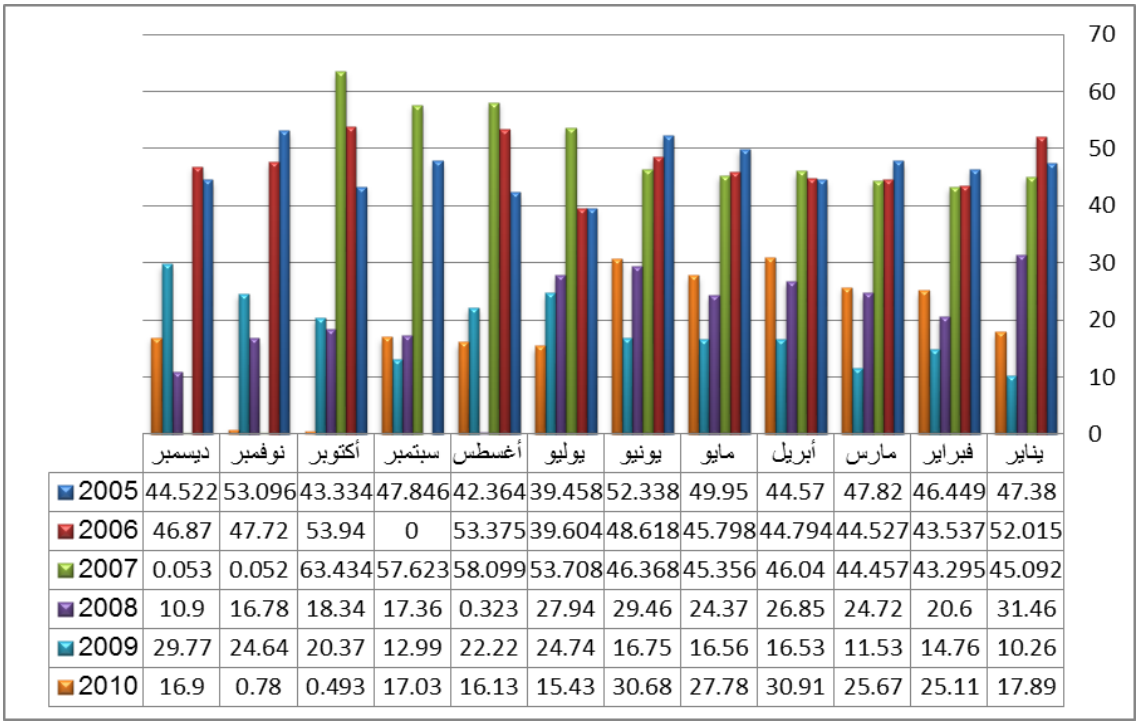
**حساب تكاليف الزيت الثقيل المستخدم ومقارنته بالغاز الطبيعي:**

أمكن الاطلاع على التقارير الفنية المعدة من إدارتي "التخطيط والإنتاج" و "حساب التكاليف" بالشركة الليبية للحديد والصلب، حيث تم اختيار السنوات من (2006 – 2010) لكون هذه الفترة تعتبر فترة مستقرة (أي دون توقف للإنتاج بسبب مشاكل الانقطاع في التيار الكهربائي أو أي توقفات أخرى). وبنظرة تحليلية معمقة أمكن جمع البيانات وتبويبها كما في الجداول التالية:

**جدول 5.** معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل للسنوات (2006-2010) (كجم/طن)

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **يناير** | 47.38 | 52.015 | 45.092 | 31.46 | 10.26 | 17.89 |
| **فبراير** | 46.449 | 43.537 | 43.295 | 20.6 | 14.76 | 25.11 |
| **مارس** | 47.82 | 44.527 | 44.457 | 24.72 | 11.53 | 25.67 |
| **أبريل** | 44.57 | 44.794 | 46.04 | 26.85 | 16.53 | 30.91 |
| **مايو** | 49.95 | 45.798 | 45.356 | 24.37 | 16.56 | 27.78 |
| **يونيو** | 52.338 | 48.618 | 46.368 | 29.46 | 16.75 | 30.68 |
| **يوليو** | 39.458 | 39.604 | 53.708 | 27.94 | 24.74 | 15.43 |
| **أغسطس** | 42.364 | 53.375 | 58.099 | 0.323 | 22.22 | 16.13 |
| **سبتمبر** | 47.846 | 0 | 57.623 | 17.36 | 12.99 | 17.03 |
| **أكتوبر** | 43.334 | 53.94 | 63.434 | 18.34 | 20.37 | 0.493 |
| **نوفمبر** | 53.096 | 47.72 | 0.052 | 16.78 | 24.64 | 0.78 |
| **ديسمبر** | 44.522 | 46.87 | 0.053 | 10.9 | 29.77 | 16.9 |
| **المجموع** | **559.13** | **520.80** | **503.58** | **249.10** | **221.12** | **224.80** |

ولتحليل البيانات أعلاه وباستخدام برنامج الإكسل أمكن مشاهدة معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل للسنوات (2006-2010) (كجم/طن) في الشكل المبين أدناه رقم (5). مع العلم أن هناك عدد أثنين من أفران إعادة التسخين أي أن تكاليف استخدام وقود زيت الثقيل سيكون مضاعف لما يحصل عليه من نتائج التكاليف المبينة الحقيقية.




| | ديسمبر | نوفمبر | أكتوبر | سبتمبر | أغسطس | يوليو | يونيو | مايو | أبريل | مارس | فبراير | يناير |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005 | 44.522 | 53.096 | 43.334 | 47.846 | 42.364 | 39.458 | 52.338 | 49.95 | 44.57 | 47.82 | 46.449 | 47.38 |
| 2006 | 46.87 | 47.72 | 53.94 | 0 | 53.375 | 39.604 | 48.618 | 45.798 | 44.794 | 44.527 | 43.537 | 52.015 |
| 2007 | 0.053 | 0.052 | 63.434 | 57.623 | 58.099 | 53.708 | 46.368 | 45.356 | 46.04 | 44.457 | 43.295 | 45.092 |
| 2008 | 10.9 | 16.78 | 18.34 | 17.36 | 0.323 | 27.94 | 29.46 | 24.37 | 26.85 | 24.72 | 20.6 | 31.46 |
| 2009 | 29.77 | 24.64 | 20.37 | 12.99 | 22.22 | 24.74 | 16.75 | 16.56 | 16.53 | 11.53 | 14.76 | 10.26 |
| 2010 | 16.9 | 0.78 | 0.493 | 17.03 | 16.13 | 15.43 | 30.68 | 27.78 | 30.91 | 25.67 | 25.11 | 17.89 |

**شكل 5.** معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل للسنوات (2006-2010) (كجم/طن).

يلاحظ من الشكل رقم (5) أن أعلى معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل سجل في شهر أكتوبر من عام 2007 بمعدل استهلاك بلغ (63.434) كجم/طن، وأن أقل معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل سجل في شهر يناير من عام 2009 بمعدل استهلاك بلغ (10.26) كجم/طن. وعلى مستوى السنوات فقد سجل أعلى معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل المستخدم في أفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن عام 2005 بمعدل استهلاك بلغ (559.13) كجم/طن في حين سجل أقل معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل المستخدم في أفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن عام 2009 بمعدل استهلاك بلغ (221.12) كجم/طن. والجدول التالي رقم (6) يوضح كمية الإنتاج واستهلاك وتكاليف زيت الوقود الثقيل المستخدم للسنوات (2006-2010).

**جدول 6.** حساب كمية الإنتاج واستهلاك وتكاليف زيت الوقود الثقيل المستخدم للسنوات (2006-2010)

| السنة | الانتاج الفعلي | % للمستهدف | 5% للتصميمي | معدل استهلاك الزيت الثقيل في السنوات (2005-2010) (كجم/طن) | | | | | | | التكاليف بالدينار |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | طن | عدد | السنوي | السنوي | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | |
| 2005 | 499,532 | 48,596 | 87.64 | 86.07 | 559.13 | | | | | | 26,491.44 |
| 2006 | 564,758 | 55,308 | 99.34 | 97.3 | | 520.80 | | | | | 24,675.41 |
| 2007 | 596,288 | 56,428 | 102.06 | 102.74 | | | 503.58 | | | | 23,859.48 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11,802.50 | | | 249.10 | | | | 103.75 | 103.09 | 56,538 | 599,281 | **2008** |
| 10,476.67 | | 221.12 | | | | | 102.43 | 102.43 | 55,143 | 581,219 | **2009** |
| 7,698.78 | 162.49 | | | | | | 100.88 | 99.15 | 53,12 | 577,467 | **2010** |
| 105,004.27 | | | | | | | | | | | |

يلاحظ من نتائج الجدول (6) أن تكاليف استخدام حرق وقود الزيت الثقيل للفرن الواحد بلغ (105,004.27) دينار ليبي. أي (210,008.54) دينار ليبي كمصروفات استخدام الزيت الثقيل في أفران إعادة التسخين. ويلاحظ أن أعلى تكاليف احتراق وقود الزيت الثقيل بلغت للفرن الواحد (26,491.44) دينار في عام 2005. وأقل تكاليف احتراق وقود الزيت الثقيل بلغت للفرن الواحد (07,698.78) دينار في عام 2010 ويعزو الباحث ظهور هذه النتيجة إلى كثرة التوقفات وأعمال الصيانة لسنة 2010.

وبالرجوع إلى أدبيات البحث وما تناولته الدراسات العلمية، فإن تكلفة الغاز الطبيعي = 9.72 دينار ليبي لكل مليون وحدة حرارية بريطانية British Temperature Unit (BTU). إلى جانب ذلك يعتبر الغاز الطبيعي من الغازات المفضلة بيئياً. علاوةً على ذلك فإن الغاز الطبيعي هو أنظف الهيدروكربونات احتراقا، حيث يُصدر نحو نصف ثاني أكسيد الكربون وعُشر ملوثات الهواء التي تنبعث من احتراق الزيت الثقيل لصناعة الحديد والصلب.

وفي دراسة أجرتها شركة سرت لإنتاج وتصنيع النفط والغاز لحساب تكاليف استخدام الزيت والثقيل مقارنة بالغاز الطبيعي عام 1998[2] بينت أن تكلفة إنتاج طن واحد من الحديد والصلب باستخدام الغاز الطبيعي تقل بكثير عن تكلفة استخدام الزيت الثقيل كوقود للحرق. والجدول التالي رقم (7) يبين مقارنة بين الزيت الثقيل والغاز الطبيعي لإنتاج طن واحد من الحديد والصلب.

**جدول 7.** مقارنة بين الزيت الثقيل والغاز الطبيعي من حيث الاستهلاك والتكلفة

| نوع الوقود | كمية الوقود اللازمة للحرق* | سعر الوقود* | تكلفة الوقود اللازمة للحرق* |
|---|---|---|---|
| | متر مكعب | دينار/متر مكعب | دينـار |
| زيت ثقيل | 0.125 | 10.70 | 1.337 |
| غاز طبيعي | 103.19 | 0.008 | 0.825 |

تشير نتائج الجدول (7) أن تكلفة إنتاج طن واحد من الحديد والصلب باستخدام الغاز الطبيعي تقل بقيمة 0.512 دينار عن التكلفة عند استخدام الزيت الثقيل كوقود للحرق.

وبهذا يمكن اعتبار أن استعمال الغاز الطبيعي حلاً لجميع المشاكل المشار إليها سلفاً وذلك لوجوده في صورة غازية ولا يحتوي على كبريت لذلك لا يسبب في انسدادات ولا يؤثر على جودة المنتج كما أنه لا يحتاج إلى بخار وبذلك يتم تفادي المشاكل الناتجة من استعمال البخار.

[2] دراسة جدوى اقتصادية قام بها فريق من الإدارة الفنية لشركة سرت لإنتاج النفط والغاز لسنة 2004 قبيل تنفيذ مشروع خط نقل الغاز الخمس طرابلس وطرابلس مليتة.

**خاتمة:**

تعتبر صناعة الحديد والصلب من أكبر المصادر المسببة للتلوث البيئي، وذلك بسبب انبعاث الغازات الملوثة خلال عمليات الإنتاج. تُعَدُّ هذه الصناعة جزءً أساسياً في العديد من القطاعات الاقتصادية، ولكنها تنتج أيضاً ملوثات بيئية تهدد البيئة والصحة العامة.

خلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها:

1. اعتمدت الدراسة في حساب نواتج احتراق أفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن على استخدام جهاز IMRالمحمول بسبب عطل أغلب الحساسات المركبة بمنظمة التحكم لقياس وتحليل انبعاثات الغازات الملوثة.
2. نفذت التجارب العملية خلال تجربتين على مدى أثني عشر يوماً (بدأت التجربة الأولى من يوم السبت 2021.07.28 وحتى الخميس الموافق 2021.08.02) والثانية (بدأت التجربة الثانية يوم السبت 2021.08.04 وحتى يوم الخميس 2021.08.09) كما أخذت المشاهدات عند الساعة العاشرة صباحاً.
3. تشير نتائج قياس انبعاثات الغازات الناتجة عن حرق وقود الزيت الثقيل أن تراكيز انبعاثات الغازات لقراءات التجربة الأولى كما يلي:
   - أعلى نسبة تراكيز سجلت لغاز أول أكسيد الكربون CO وثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ في يوم الأحد الموافق 2021.07.29، ويوم الخميس الموافق 2021.08.02 عند الساعة العاشرة صباحاً وكانت القراءة (6 جزء من المليون) لكل منهما.
   - سجلت قراءة غاز الميثان $CH_4$ أعلى نسبة تركيز يوم الأحد الموافق 2021.07.29، ويوم الخميس الموافق 2021.08.02 عند الساعة العاشرة صباحاً وكانت القراءة (6 جزء من المليون).
4. تشير نتائج قياس انبعاثات الغازات الناتجة عن حرق وقود الزيت الثقيل تراكيز انبعاثات الغازات لقراءات التجربة الثانية كما يلي:
   - أعلى نسبة تراكيز الغازات المنبعثة سجلت بتاريخ يوم الخميس الموافق 2021.08.09 فقد سجلت قراءة غاز أول أكسيد الكربون CO كانت القراءة (10 جزء من المليون).
   - سجلت قراءة غاز الميثان CH4 (8 جزء من المليون) وكانت المشاهدة لغاز ثاني أكسيد الكبريت SO2 (6 جزء من المليون)، كما سجلت قراءة غاز ثاني أكسيد الكربون (0.27 جزء من المليون) وهذه نسبة مرتفعة نسبياً، كما كانت المشاهدة لغاز كبريتيد الهيدروجين H2S (7 جزء من المليون).
5. بينت النتائج ارتفاع نسبي لنواتج الاحتراق لهذه الدراسة خصوصاً في غاز أول أكسيد الكربون والذي بلغ (10 جزء من المليون) يليها غاز كبريت الهيدروجين بواقع (8 جزء من المليون) مقارنة مع نواتج الانبعاثات للدراسات السابقة التي هذه الدراسة.
6. أعلى معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل سجل في شهر أكتوبر من عام 2007 بمعدل استهلاك بلغ (63.434) كجم/طن، وأن أقل معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل سجل في شهر يناير من عام 2009 بمعدل استهلاك بلغ (10.26) كجم/طن.
7. أعلى معدل استهلاك وقود الزيت الثقيل المستخدم في أفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن سجل عام 2005 بمعدل استهلاك بلغ (559.13) كجم/طن في حين سجل أقل عدل استهلاك وقود الزيت الثقيل المستخدم في أفران إعادة التسخين بمصنع الدرفلة على الساخن عام 2009 بمعدل استهلاك بلغ (221.12) كجم/طن.
8. إن أفران إعادة تسخين الفولاذ المستخدمة لوقود الزيت الثقيل تعتبر من الملوثات للهواء الجوي.
9. استخدام الغاز الطبيعي في الأفران يقلل من كمية الملوثات والأكاسيد.

10. أظهرت النتائج أن تكاليف استخدام حرق وقود الزيت الثقيل للفرن الواحد بلغ (105,004.27) دينار ليبي. أي (210,008.54) دينار ليبي كمصروفات استخدام الزيت الثقيل في أفران إعادة التسخين.
11. أن أعلى تكاليف احتراق وقود الزيت الثقيل بلغت للفرن الواحد (26,491.44) دينار في عام 2005. وأقل تكاليف احتراق وقود الزيت الثقيل بلغت للفرن الواحد (07,698.78) دينار في عام 2010.
12. أن الغاز الطبيعي هو أنظف الهيدروكربونات احتراقا، حيث يُصدر نحو نصف ثاني أكسيد الكربون وعُشر ملوثات الهواء التي تنبعث من احتراق الزيت الثقيل لصناعة الحديد والصلب.
13. أشارت نتائج الدراسة أن تكلفة الوقود اللازم لحرق متر مكعب بلغت 1.337 دينار للزيت الثقيل بينما بلغت 0.825 دينار للغاز الطبيعي.
14. يتميز الغاز الطبيعي بسرعة الاشتعال والنظافة وضآلة ما يساهم في تلويث البيئة، ولذلك يعتبر وقوداً مثالياً من الناحية البيئية وبخاصة في الاستعمالات الصناعية.
15. يؤدي استخدام الغاز الطبيعي إلى انبعاثات أقل وكذلك تكلفة أقل بالإضافة إلى الأمان الكامل في التشغيل مقارنة بأنواع الوقود الأخرى.
16. يكاد الغاز الطبيعي يخلو تماماً من مركبات الكبريت التي تلوث زيت الوقود وتتضاءل نسبة أوكسيد النتروجين. كذلك لا يحتاج الغاز لعمليات تحويلية قبل استخدامه، مثل تحويل الزيت الخام إلى منتجات مكررة، وفي ذلك ما يحمي البيئة من التلوث المرتبط بعمليات تكرير البترول.
17. للتحكم في انبعاثات ملوثات الهواء الجوي توجد عموماً ثلاث طرق للتحكم في انبعاثات ملوثات الهواء الجوي التي تعتمد على نوع العملية التشغيلية التي تنتج عنها الملوثات كذلك الوقود المستخدم في عملية الاحتراق والمعدات المستخدمة.
18. إن استبدال الوقود المستخدم زيت الثقيل بوقود الغاز الطبيعي يوفر أقل احتواء من الملوثات ويعتبر الحل الأفضل والأنجع بين طرق التحكم في انبعاثات ملوثات الهواء الجوي.

**وخرجت الدراسة بالتوصيات التالية:**

1. العمل على استبدال وقود الغاز الطبيعي بدل وقود الزيت الثقيل باعتباره وقوداً مثالياً من الناحية البيئية وبخاصة في الاستعمالات الصناعية كصناعة الحديد والصلب.
2. العمل على صيانة وتحديث منظومة تحليل ومراقبة انبعاث الغازات من العوادم وإعادة تفعيلها لما لها من دور في التحكم في نسبة الهواء مع الوقود وإبراز ومراقبة انبعاث الغازات الملوثة.
3. تزويد المصنع بالقيم المعيارية المسموحة محلياً وعالمياً فيما يتعلق بالحدود القصوى لانبعاث الغازات الملوثة للهواء الجوي.
4. سن التشريعات البيئية ونظام متابعة دوري للتأكد من مدى تطبيق الشركة الليبية للحديد والصلب للشروط والمعايير البيئية للحد من التلوث البيئي.
5. اتخاذ خطوات عملية منظمة من الهيئة العامة للبيئة للحد من الملوثات البيئية وأخذ موافقتها في إنشاء أي مرفق صناعي لا يتوافق مع متطلبات الإدارة الكاملة للبيئة.
6. السعي للحصول على متطلبات الجودة البيئية أو ما يسمى بنظام الإدارة البيئية بهدف مطابقة موصفات التصنيع وفقاً لمتطلبات ISO 14000.
7. القيام بالدراسات البيئية لتحديد الأثر البيئي للنشاط الصناعي المخطط له على المناطق المجاورة (السكنية والزراعية وغيرها) بما في ذلك أثر أنشطة مصانع الحديد والصلب بمصراتة.
8. إلزام العاملين بمجمع الحديد والصلب باتباع إجراءات السلامة والصحة المهنية المعتمدة بالشركة.
9. العمل على تدريب المهندسين والفنيين على صيانة وبرمجة أجهزة ومنظومة انبعاثات الغازات القائمة بالمجمع.

## قائمة المراجع:


1. قاسم، توفيق محمد (2020)، التلوث مشكلة اليوم والغد، الطبعة الثالثة، الدار المصرية للكتاب، القاهرة.
2. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2018). Environmental Guidelines for Iron and Steel Production. Retrieved from https://www.unido.org/sites/default/files/2019-04/Environmental_Guidelines_for_Iron_and_Steel_Production.pdf.
3. بريكارد آر جون كرنر (2019)، كفاءة استخدام الغاز الطبيعي في الأفران الصناعية، ترجمة نبيل العربي، الطبعة الثانية دار النهضة العربية، بيروت، لبنان.
4. Environmental Protection Agency (EPA). (2020). Pulp, Paper, and Paperboard Manufacturing: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP). Retrieved from https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/pulp-paper-and-paperboard-manufacturing-national-emission-0
5. بن حكومة، مصطفى أحمد، وعمر، أبوعجيلة ونيس، وتوفيق، محمد محمد (2023)، الطاقات المتجددة بديل اقتصادي ووقود مستدام لإنتاج الطاقة الكهربائية في ليبيا، المجلة الأفريقية للعلوم البحتة والتطبيقية المتقدمة، المجلد الثاني، الإصدار الثاني (يوليو – سبتمبر)، ص ص556-567.
6. Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W. et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(11), 5380-5552.
7. بن حكومة، مصطفى أحمد، وعمر، أبوعجيلة ونيس، وتوفيق، محمد محمد (2023)، الطاقات المتجددة بديل اقتصادي ووقود مستدام لإنتاج الطاقة الكهربائية في ليبيا، المجلة الأفريقية للعلوم البحتة والتطبيقية المتقدمة، المجلد الثاني، الإصدار الثاني (يوليو – سبتمبر)، ص ص556-567.
8. امسلم، أحمد حليم (2021)، التلوث، الطبعة الثانية، الجمعية العلمية الملكية للنشر والتوزيع، الرياض، السعودية.
9. عبد العزيز، محمد كمال، التلوث البيئي وخطره الدائم على صحتنا، القاهرة: دار الطلائع للنشر والتوزيع، 2011.
10. التاورغي، فتحي محمد (2010)، تأثير غبار مصانعً الحديد والصلب على العاملين وسكان الجوار-بمدينة مصراتة الليبية، مركز الطاقات المتجددة وتحلية المياه، إدارة علوم المواد، جامعة طرابلس.
11. المؤسسة الوطنية للنفط، (2023)، التقرير السنوي لإنتاج الطاقة الأحفورية بليبيا، ادارة الاستكشاف والدراسات الاستراتيجية، ليبيا.
12. Energy Institute (2023), The World Energy Production, Energy Searching.
13. لجنة التنمية المستدامة (2020)، الاستراتيجية الوطنية للتنمية المستدامة، الجزء الثاني المجالات والمؤشرات، الهيئة العامة للبيئة، طرابلس، ليبيا.
14. عبد الرزاق، وضاح حسين (2008)، دراسة تأثير استخدام أنواع مختلفة من الوقود على كفاءة المرجل البخاري، مجلة الدراسات البيئية، جامعة الرافدين، المجلد [14]، العدد [3].
15. أبودبوس، فائز أحمد (2013)، دراسة نواتج احتراق الوقود المستخدم في تشغيل محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة في ليبيا، رسالة ماجستير في علوم والهندسة البيئية، أكاديمية الدراسات العليا، مصراتة.
16. الغضبان، عبد الباسط علي (2008)، قياس وتقييم الانبعاثات الغازية الملوثة لبيئة العمل في مصفاة الزاوية، رسالة ماجستير غير منشورة في علوم والهندسة البيئية، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، ليبيا.
17. النقيب، سالم محمد علي (2009)، التلوث الجوي بالغازات المنبعثة من محطات الطاقة بمدينتي الخمس وزليتن، رسالة ماجستير غير منشورة في علوم والهندسة البيئية، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، ليبيا.