The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
EISSN: 2959-4820
Volume 2, Issue 2, April – June 2024, Page No: 1-14
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2023: 3.733 معامل التأثير العربي (AIF) 2023: 0.63 ISI 2023: 0.383

تقييم الآثار البيئية لانبعاثات احتراق الوقود في محطات توليد الكهرباء

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

Evaluating the environmental impacts of fuel combustion emissions in power plants

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_hkoma2017@yahoo.com *المؤلف المراسل
تاريخ الاستلام: 2024-02-04 تاريخ القبول: 2024-04-01 تاريخ النشر: 2024-04-05

الملخص

تعد محطات توليد الكهرباء من أهم المصادر التي تلبي احتياجات الطاقة العالمية. ومع زيادة الطلب على الكهرباء، يتزايد أيضاً الاعتماد على احتراق الوقود الأحفوري كوقود رئيسي في هذه المحطات. ومع ذلك، ينتج عن عملية احتراق الوقود انبعاثات غازات ضارة قد تؤثر سلباً على البيئة والصحة العامة.

هدفت الدراسة إلى تحليل نواتج احتراق الوقود المستخدم في تشغيل محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة في ليبيا بالتطبيق على محطة كهرباء الزاوية.

وخلصت الدراسة إلى أن تراكيز غاز أول أكسيد الكربون *CO* تراوحت ما بين (2-8) جزء من المليون، وأن تراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون *CO2* تراوحت ما بين (0.13-0.18) جزء من المليون، وأن تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريت *SO2* تراوحت ما بين (0.0-0.3) جزء من المليون، وأن تراكيز غاز الميثان *CH4* تراوحت ما بين (2-7) جزء من المليون، وأن تراكيز غاز كبريتيد الهيدروجين *H2S* تراوحت ما بين (2-3) جزء من المليون، وكشفت الدراسة وجود مؤشرات قابلة للقياس على وجود مشكلة بيئية تتعلق بزيادة بعض تراكيز الغازات الملوثة وإن كانت بالحدود المسموح بها وفقاً للمعيار الوطني الأمريكي لجودة الهواء NAAQS في الولايات المتحدة إلا أنها تنبع أساساً من احتراق وقود محطات توليد الكهرباء في ليبيا.

الكلمات المفتاحية: تقييم، الآثار البيئية، انبعاثات احتراق الوقود، محطات توليد الكهرباء.

Abstract

Power generation stations are among the most important sources that meet global energy needs. With the increasing electricity demand, there is also a growing reliance on the combustion of fossil fuels as the primary fuel in these stations. However, the combustion process of fuel results in the emission of harmful gases that can hurt the environment and public health.

The study aimed to analyze the combustion products of the fuel used in operating power generation stations in Libya, with a focus on the Zawiya power station.

The study concluded that the concentrations of carbon monoxide (CO) ranged from 2 to 8 parts per million (ppm), carbon dioxide (CO2) concentrations ranged from 0.13 to 0.18 ppm, sulfur dioxide (SO2) concentrations ranged from 0.0 to 0.3 ppm, methane (CH4) concentrations ranged from 2 to 7 ppm, and hydrogen sulfide (H2S) concentrations ranged from 2 to 3 ppm. The study revealed measurable indicators of an environmental issue related

to an increase in the concentrations of pollutant gases, although they were within permissible limits According to the National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) in the United States. However, these concentrations primarily originate from the combustion of fuel in power generation stations in Libya.

Keywords: Evaluating, Environmental Impacts, Fuel Combustion Emissions, Power Plants.

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 والتي يصاحبها في كثير من الأحيان تلوث خطير يؤدي عادةً إلى تدهور المحيط الحيوي والقضاء على تنظيم البيئة العالمية [1].

أخذ التلوث البيئي بشكل خاص والمشكلات البيئية الأخرى بشكل عام صفة العالمية؛ حيث إن الملوثات بمختلف أنواعها لا تعترف بحدود سياسية أو إقليمية؛ بل قد تنتقل من أقصى الشمال إلى أقصى الجنوب وقد يظهر التلوث في دولة لا تمارس النشاط الصناعي أو التعديني وذلك نتيجة لانتقال الملوثات من دولة صناعية ذات تلوث عالي إلى دولة أخرى.

وتسهم الرياح والسحب والتيارات المائية في نقل الملوثات من بلد إلى آخر؛ فالأبخرة والدخان والغازات الناتجة من المصانع والتي تنفثها المداخن تنقلها الرياح إلى بلاد بعيدة وأماكن نائية، كما أن أمواج البحر تنقل بقع الزيت التي تتسرب إلى البحر من غرق الناقلات من موقع إلى آخر مهددة بذلك الشواطئ الآمنة والأحياء البحرية بمختلف أنواعها وأجناسها [2].

إن مراقبة ومتابعة البيئة التي نعيش فيها تهم كل شخص، وحيث إن الهواء مشاع للجميع فإنه من الخطأ أن نفهم أنه غير قابل للتلوث نتيجة للحيز الذي يشغله. لقد أصبحت مشكلة تلوث الهواء 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 [3].

والتلوث الطبيعي هو الناتج عن البراكين وحرائق الغابات، أما التلوث الصناعي مثل التلوث الناتج عن المصانع الكيميائية الكبرى ومصانع الاسمنت ومصانع الحديد والصلب ومحطات توليد الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري، وما تنفثه هذه المصادر من ملوثات في الهواء، وما يتسبب عنها من تلوث للهواء الجوي والماء والتربة، وما يسببه ذلك من انتشار للأمراض والأوبئة المستعصية الناتجة عن ملوثات الهواء من انبعاثات ضارة [4].

وبشكل عام يمكن إرجاع انبعاث ملوثات الهواء في الغلاف الجوي إلى احتراق الوقود بأنواعه واستخدامه كمصدر للوقود في أنشطة الإنسان المختلفة من (توليد كهرباء، إنتاج صناعي، وسائل نقل، والاستخدامات المنزلية والتجارية والزراعية). هذا بالإضافة إلى التلوث الناتج كمنتج ثانوي من العمليات الصناعية المختلفة.

وفي واقع الأمر تعتمد كمية الملوثات التي يتم انبعاثها إلى الغلاف الجوي على عدة عوامل نذكر منها كمية وأنواع وخصائص الوقود المستخدم، التكنولوجيا المستخدمة في حرق الوقود، حجم وأنواع الأنشطة الصناعية، حجم وأنواع وسائل النقل المختلفة، وعدد السكان. فمن البديهي أن تكون محطات توليد الطاقة الكهربائية احدى أهم مصادر ملوثات الهواء الجوي. ولهذا فإن انبعاث الملوثات وبخاصة أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت والجسيمات الصلبة من القضايا البيئية الأساسية للمحطات الكهربائية [5]. وهذه الملوثات تنبعث إلى الهواء الجوي نتيجة للاحتراق غير الكامل، إضافة إلى ما يحتويه الوقود من شوائب، وأن احتراق الوقود بشكل عام في عمليات توليد الطاقة الكهربائية يقود إلى انبعاث الملوثات الغازية إلى الهواء الجوي [6].

من هذا المنطلق كان اختيارنا لموضوع البحث محاولة منا للفت الانتباه لمعدلات الانبعاثات الصادرة عن محطات توليد الطاقة الكهربائية العاملة في ليبيا، حيث إن هذه المحطات تعمل بالزيت الثقيل، والوقود الخفيف، والغاز الطبيعي، وينتج عن احتراق هذا الوقود الغازات الملوثة للهواء، ومن أهم هذه الغازات هي أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت، وهي تنطلق إلى الهواء الجوي وتتفاعل معه مكونة أحماض تسبب في تكون الأمطار الحمضية، ومشاكل صحية على جميع الكائنات الحية، ومشاكل في طبقات الغلاف الجوي.

الآثار البيئية الناجمة عن توليد الطاقة الكهربائية:

أظهرت الدراسات التي أجريت وكذلك المراقبة المستمرة لتلوث الهواء الجوي المحيط بمدن العالم ولمدة عقدين في القرن الماضي ارتفاع معدلات مستويات بعض الملوثات فوق المعدل الطبيعي، وأكثر الملوثات خطورةً في تلوث الهواء الجوي هي الجسيمات العالقة وثاني أكسيد الكبريت وأوزون التربوسفير والتلوث بالرصاص، كما تعتبر الجسيمات الملوث المسؤول عن تأثير الهواء الملوث في ارتفاع معدل الوفيات في المدن الكبرى، وقد كشفت حوادث التلوث الحاد للهواء في مدن أوروبا مثل مدينة لندن أن استنشاق الهواء الملوث قد يصبح خطراً بل أحياناً يؤدي في أغلبها إلى الموت.

توفي سنة 1880 أكثر من 2000 شخصاً من سكان مدينة لندن بسبب التلوث الجوي جراء دخان الفحم مع غازات التدفئة والصناعة لِيُكَوِّنَ ضباباً من غاز ثاني أكسيد الكبريت والجسيمات العالقة [7].

المخاطر البيئية لاستخدام الوقود الأحفوري:

يضل استخدام الوقود الأحفوري ولمستقبل ليس بالقصير، المصدر الأساس 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 الأحفوري الطاقوي المتمثل في النفط والغاز الطبيعي شريان الحياة لأغلب الأنشطة الاقتصادية والصناعية والانتاجية بشكل عام. ومنذ بداية التسعينات نما الاهتمام بالبيئة وبرزت مشاكل التأثر البيئي بانبعاث الغازات التي تتمثل في غازات ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة الناتجة من احتراق الوقود من النفط ومشتقاته والغاز الطبيعي، ومن تغيرات استعمال الأرض مثل تحول مناطق الغابات إلى مناطق صحراوية.

ويعتمد ازدياد انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون بشكل عام على عدة عوامل منها زيادة النمو السكاني، وزيادة الدخل العام للأفراد في المجتمعات النامية مما يترتب عنه زيادة استخدام الطاقة بالنسبة للفرد الأمر الذي ينتج عنه زيادة انبعاث الغاز، ويتوقع أن يزداد النمو السكاني في الدول المنتجة للنفط وفي الدول التي تتسم بأعداد سكان هائلة مثل الصين والهند وغيرها، مما يترتب عليه زيادة استخدام الوقود وإنتاجه وما يترتب على ذلك من زيادة في تلوث الهواء وافساد المناخ والبيئة. وتعد الدول الصناعية وشرق أوروبا وكومونولث الدول المستقلة من أكبر الدول استهلاكاً للطاقة وأكثرها انبعاثاً لغاز ثاني أكسيد الكربون وأكثرها إلحاقاً للضرر بالبيئة. أما دول الشرق الأوسط والشمل الأفريقي فهي أقل استهلاكاً للطاقة وأقلها انبعاثاً لغاز ثاني أكسيد الكربون، حيث وصل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون لعام 1999 بمجموع حوالي (6,000) مليون طن متري من المكافئ الكربوني مقسمة على الدول الصناعية بكمية (3,000) كليون طن متري من المكافئ الكربوني ودول آسيا وشرق أوروبا إلى حوالي (2,000) مليون طن متري من المكافئ الكربوني وأقل من (1,000) مليون متري من المكافئ الكربوني لبقية الدول النامية. ل كميات غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعثة لعام 2020 إلى حوالي (4,000) مليون طن متري من المكافئ الكربوني للدول الصناعية وحوالي (2,000) مليون طن متري من المكافئ الكربوني لدول روسيا وشرق أوروبا وإلى أكثر من (4,000) مليون طن كتري من المكافئ الكربوني للدولة النامية أي لمجموع قد يصل إلى حوالي (10,000) مليون طن متري من المكافئ الكربوني [8].

وتعتبر الأضرار البيئية للغازات من الأسباب الملحة لتطبيق أنظمة كفاءة استخدام الطاقة والحفاظ عليها واستدامتها في الوقت الحاضر وذلك للحد من المخاطر البيئية المتمثلة في انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين، وأكاسيد الكبريت وغيرها بكميات تفوق القدرة الاستيعابية الطبيعية للنظم الأيكولوجية والمسببة لتلوث الهواء وارتفاع درجة حرارة الأرض وما ينتج عنها من تغير في المناخ. وللتقليل من الأضرار البيئية للوقود الأحفوري، تم اللجوء إلى تقنيات بديلة كاستخدام الغاز الطبيعي والغاز المسال والاستفادة من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وغاز الهيدروجين والبحر والطاقة الحرارية من باطن الأرض والطاقة العضوية.

التأثير البيئي لاستخدام الوقود الأحفوري في ليبيا:

يرتبط تلوث الهواء من مصادر الوقود الأحفوري ليس فقط بالاستهلاك وإنما أيضاً بالإنتاج والتصنيع للإيفاء باحتياجات التصدير من النفط ومشتقاته لذلك سلكت معظم البلدان ومن بينها ليبيا خطى ناجحة في مجالات التقنين والترشيد الخاص بالإنتاج والاستهلاك للطاقة وذلك بإدخال أساليب وتقنيات نظيفة للإنتاج، واستخدام الأدوات الاقتصادية المشجعة على ترشيد الاستهلاك وكذلك خفض مستويات اشتعال الغاز المصاحب للحد من التلوث [8]. ويعاد حالياً حقن الغاز المصاحب وفي حالات أخرى استخدامه في قطاع الصناعة خصوصاً في إنتاج البتروكيماويات والمخصبات.

اتخذت ليبيا جملة من الإجراءات لخفض أو الحد من التلوث من الانبعاثات الصادرة عن استخدام الطاقة الأحفورية منها الاقتصادية (التدخل في الأسعار) والإرشادية (ترشيد الاستخدام) والتقنية (التقنية النظيفة) والقانونية (استخدام المعايير والقوانين البيئية). ومن بين الإجراءات المتخذة ترشيد الطلب على الطاقة بهدف خفض الاستهلاك الفردي، فبالرغم من أن الطلب على الطاقة للفرد في ليبيا يعتبر أعلى من المعدل العالمي [9]، إلا أن النمو في الطلب على الطاقة قد بدأ يأخذ مسار الاعتدال.

وقد ساعد في ترشيد الطلب على الطاقة التأكد من أن وفرة مواردها لا تعني رخصها وسوء استخدامها، وإنما تسعيرها ودخل الفرد لترشيد استخدامها. ويدخل في هذا النطاق كل المنتجات النفطية والمنتجات التي يدخل في تصنيعها استخدام الطاقة الأحفورية من كهرباء وماء وبتروكيماويات. ومن بين السبل الرادعة المتخذة من قبل ليبيا كغيرها من البلدان الأخرى تحسين كفاءة الطاقة والمحافظة عليها وسن السياسات والقوانين الإلزامية للحفاظ على البيئة ومواردها الإيكولوجية سواء من الجانب الإنتاجي (موارد الطاقة والنفايات) والجانب الاستهلاكي (ترشيد استخدام الطاقة في المؤسسات الإرشادية والمنازل) وذلك عن طريق

ايجاد السبل الناجحة لتحفيز عقلنة الاستخدام وتخفيف حجم النفايات الغازية والسائلة لقطاعات النقل والصناعة وتكرير النفط.

تطوير الحماية البيئية للطاقة في ليبيا:

إن المنظومة التشريعية الحالية تقوض في بعض الأحيان تحقيق أهداف السياسة الطاقوية، على سبيل المثال: اللوائح البيئية تتطلب أحياناً تقنيات تزيد من الطلب على الطاقة، في الوقت الذي تتجاهل فيه التأثيرات البيئية الناجمة عن الطاقة الإضافية المولدة لتشغيل المعدات. وبالتالي فإن هذه اللوائح من شأنها أن تزيح التلوث من وسط إلى آخر، والذي بدوره يتطلب علاجاً إضافياً لتقنيات الطاقة ونفاياتها. وتوفر تقنيات جديدة أحسن التصورات لمكاسب بيئية واقتصادية في آن واحد عير أنه يجب على السوق والمنظومات التشريعية تشجيع تطورها واعتمادها. وتساند الهيئة العامة للبيئة الاختيار الابداعي للسياسات، لتحقيق أهداف الطاقة والبيئة، لتشمل تطوير المنظومة التشريعية وتشجيع الوقاية من التلوث المراعية للتكلفة، وتعزيز تطوير تقنيات جديدة ذات فعالية طاقوية. وتتلخص المبادئ الجوهرية لتوجه الإدارة للحماية البيئية في الحس المشترك وفعالية الأسعار والتعهدات الصارمة لتحقيق الأهداف البيئية بالاتفاق مع المرونة في كيفية تحقيق الأهداف التالية [10]:

- تطوير المنظومة التشريعية للرفع من المرونة واعتماد التوجهات ذات درجة الأداء العالي لزيادة أو تعويض إجراءات القيادة – التحكم.
- تشجيع الحماية البيئية المراعية للتكلفة من خلال الشراكة مع الصناعة والتي تحدد الطرق المبتكرة لتطوير الأداء وتوفر الحوافز من أجل تحقيق توجهات جديدة.
- تعزيز تطوير التقنيات التي تطور حماية البيئة.
- تبني نظام الإدارة البيئية ISO 14000.

مخاطر الملوثات المنبعثة من محطات توليد الكهرباء:

يمكن تلخيص أهم الأضرار والمخاطر الصحية الناجمة من الملوثات المنبعثة من نواتج الاحتراق في الجدول التالي رقم (1):

جدول (1): أهم الأضرار والمخاطر الصحية الناجمة من الملوثات المنبعثة من نواتج الاحتراق [11]

ملوثات الهواء	الأضرار والمخاطر الصحية
غاز أول أكسيد الكربون CO	▪ يعد أكثر الغازات خطورةً على الإنسان والحيوات، حيث أنه: ▪ يحرم الجسم من الأكسيجين باتحاده مع هيموجلوبين الدم مكوناً كربوسيل الهيموجلوبين، الذي تؤدي زيادته في الدم إلى نقص الرؤية والإرهاق والتأثير على الجهاز العصبي، وإلحاق الضرر بالقلب، والجهاز التنفسي، وقد هذه الزيادة إلى انسداد الأوعية الدموية، وبالتالي إلى الوفاة. ▪ يتحد مع الحديد اللازم لعمل نشاط بعض الانزيمات التنفسية، ما يؤدي إلى احباط عملها أو تقليل فعاليتها.
غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2	▪ يؤدي إلى صعوبة في التنفس والشعور بالاختناق، وحدوث تخريش للأغشية المخاطية والتهاب القصبات الهوائية وتهيج في الحلق.
غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S	▪ يؤثر في الجهاز العصبي المركزي. ▪ يثبط عملية الأكسدة الخمائرية، مما يؤدي إلى حدوث اضطراب وصعوبة في التنفس. ▪ يسبب الخمول في القدرة على التفكير، إضافة على التهيج وتخريش الأغشية المخاطية للمجاري التنفسية وملتحمة العين، والتهاب الحنجرة والقصبات الهوائية. ▪ يتحد مع الهيموجلوبين، مما يضعف من قدر الهيموجلوبين على حمل الأكسيجين.

غاز ثاني أكسيد النتروجين NO_2	▪ يؤدي إلى تهيج البطانة المخاطية للجيوب الأنفية وللمجاري النفسية، ويسبب أضرار في الرئة. ▪ يدخل في تكوين بعض المركبات التي تعمل على تهيج الغشاء المخاطي للعيون.
غاز الأمونيا (النشادر) NH_2	▪ يسبب تهيج في الأغشية المخاطية للعيون والحنجرة والجيوب الأنفية. ▪ قد يؤدي إلى العقم، وذلك لشدة تأثيره على بعض الإنزيمات بالجسم. ▪ يؤدي إلى تهيج وحساسية الأغشية المخاطية للعيون والجهاز التنفسي. ▪ يسبب السعال، وقد يحدث تورمات خبيثة في أنسجة الرئتين.
الهيدروكربونات مثل: (غاز الميثان والإيثلين والبنزبيرين) HC	▪ تدخل في تكوين الضباب الدخاني الذي يلحق آثار ضارة بصحة الإنسان. ▪ مادة الفورمالدهيد الناتجة عن تحول الإيثلين بواسطة التفاعلات الكيموضوئية يؤدي إلى حدوث تهيج في العيون. ▪ مركب البنزبيرين الناجم عن احتراق الوقود والزيوت البترولية ومن القار المستخدم في الطرقات وأسطح المنازل وصناعة المطاط، وفي دخان السجائر قد يؤدي إلى الإصابة بسرطان الرئة [41].
الجزيئات المعقة مثل: (الغبار والأتربة والدخان والضباب والأبخرة وحبوب اللقاح وغيرها والسجائر وما) TSP	▪ التأثير على الجلد والعيون. ▪ التأثير على الجهاز التنفسي، مثل: التهاب الشعب الهوائية والانتفاخ الرئوي وأمرض الحساسية وغيرها. ▪ الإصابة بالتليف الرئوي "مرض السيليكوز "الناجم عن استنشاق الغبار الصادر من مصانع الاسمنت". ▪ الإصابة بمرض اسبيستوزز) الناجم عن غبار اسبستوس. ▪ الإصابة بسرطان الرئة والكبد نتيجة تلوث الهواء بدخان المصانع تحمله من شوائب وأبخرة ضارة.
الرصاص Pb	▪ يسبب الصداع والضعف العام، وقد يؤدي إلى الغيبوبة وإلى حدوث تشنجات عصبية وقد تنتهي بالوفاة. ▪ يؤدي إلى خلل في إفراز حامض البوليك، وإلى تراكم في مفاصل والكلي. ▪ يقلل من صنع الهيموجلوبين في الجسم، كما أنه يترسب في أنسجة العظام ويحل محل الكالسيوم. ▪ يؤدي إلى القلق الليلي والأحلام المزعجة والاضطرابات النفسية. ▪ يسبب أمراض التخلف العقلي وشلل المخ خاصةً عند الأطفال. ▪ تراكم الرصاص في أغشية الأجنحة قد يؤدي إلى التشوه الخلقي، لدى المواليد حديثي الولادة.

الفلور	▪ ينزع تكلس العظام. ▪ يؤدي إلى تهيج الجزء العلوي من الجهاز التنفسي ولقرنية العين. ▪ يسبب الصداع وأحياناً الموت.
فلوريد الهيدروجين H_2F	▪ سام، ومهيج وضار لكل خلايا الجسم. ▪ يضر بالنباتات ويؤثر على أسنان الحيوانات وعظامها.
سياليد الهيدروجين	▪ يؤثر على الخلايا العصبية للإنسان.
الملوثات الميكروبيولوجية مثل: البكتيريا والفطريات والخمائر والفيروسات.	▪ يؤدي إلى إصابة الإنسان بأمراض مختلفة تختلف في حدثها أو تأثيرها حسب نوع الميكروب وقدرته على أحداث المرض. ▪ تسبب تلف فساد الأغذية وبالتالي عدم صلاحيتها للاستهلاك الآدمي.

المخرجات الملوثة للهواء من عملية احتراق الوقود:

ينتج عن عملية احتراق الوقود انبعاث العديد من الملوثات غير المرغوبة إلى الهواء مثل أكاسيد، وثاني أكسيد الكبريت، والعوالق الجوية، وأول أكسيد الكربون، النيتروجين والمركبات العضوية الطيارة والهيدروكربونات العضوية والمعادن بالإضافة إلى الرماد، المتطاير كنتيجة لعدم احتراق الكبريت.

تحتوي زيوت الوقود على نسب مختلفة من الكبريت بالإضافة إلى المعادن الثقيلة مثل الرصاص والفناديوم. وبالمقارنة فإن وحدات التوليد التي تستخدم الغاز في إنتاج الكهرباء ينتج عنها كميات أقل من أكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت وأول أكسيد الكربون والعوالق الجوية. والشكل التالي رقم (1) كمية الملوثات الناتجة عنن عملية احتراق الوقود.

والجدول رقم (2) يبين المخلفات ذات العلاقة بتلوث الهواء الناتج عن محطات توليد الكهرباء.

شكل (1): كمية الملوثات الناتجة عن عملية احتراق الوقود

جدول (2): المخلفات ذات العلاقة بتلوث الهواء الناتج عن محطات توليد الكهرباء [12]

نوع الوقود	المخلفات/الملوثات	الانبعاثات للهواء	مخلفات الاحتراق
زيوت الوقود	المخلفات	الانبعاثات للهواء	مخلفات الاحتراق
	المخلفات	انبعاثات المداخن والحرارة	الرماد ومخلفات نظام وإزالة الكبريت (في حال وجوده)
الغاز	المخلفات	انبعاثات المداخن	لا يوجد
	الملوثات	كميات منخفضة من ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين مقارنة بالزيت	لا يوجد

الملوثات الناجمة عن استخدام الوقود ومسبباتها:

يؤثر عاملان في تكوين الملوثات: الأول هو التركيب الكيميائي للوقود، ويختلف باختلاف الخامات النفطية المستخدمة وعمليات التكرير، وما يتبعها من عمليات تحويل ومعالجة، والثاني هو ظروف احتراق الوقود، وما يترتب عليها من ملوثات بسبب الاحتراق غير الكامل مثل أول أكسيد الكربون والمركبات الهيدروكربونية والجزيئات الدقيقة والمركبات العضوية المتطايرة وغيرها. والجدير بالذكر أن فحص وضبط وصيانة محركات المركبات من أهم الإجراءات التي تتيح التوصل إلى احتراق أمثل ومن ثم خفض الملوثات. ويتضمن الجدول رقم (3) عرضاً موجزاً لأهم الملوثات الناتجة من حرق الوقود ومسبباتها [13].

جدول (3). أهم الملوثات الناتجة من حرق الوقود ومسبباتها [13]

الملوثات	المسببات	
	التركيب الكيميائي للوقود	ظروف احتراق الوقود
الجزيئات الدقيقة العالقة هي خليط من الجزيئات الصغيرة وإلايروسولات، المركبات الهيدروكربونية النشطة، الأتربة، الأدخنة، بخار الماء ..الخ.	▪ ارتفاع نسبة المركبات العطرية. ▪ وجود مركبات عطرية متعددة الحلقات. ▪ ارتفاع نسبة البنزين. ▪ وجود مركبات أوليفينية، خاصة الثنائية والمتعددة.	▪ احتراق غير كامل للوقود وتكسره حرارياً.
المركبات العضوية المتطايرة (مخاليط من المركبات الهيدروكربونية النشطة، الألدهيدات، الكيتونات، الأوليفينات، الديوكسين ... الخ).	▪ المركبات العضوية المتطايرة، مخاليط من المركبات الهيدروكربونية النشطة، الألدهيدات، الكيتونات، الأوليفينات، الديوكسين ...الخ.	▪ ظروف احتراق عالية الحرارة
▪ أكسيد الكبريت (ثاني وثالث أكسيد الكبريت، الأمطار الحامضية).	▪ ارتفاع نسبة الكبريت في الوقود	
▪ أكسيد النيتروجين (أول وثاني ومتعدد أكسيد النيتروجين، الأمطار الحامضية، السحب السوداء).	▪ ارتفاع نسبة النيتروجين	▪ ظروف احتراق عالية الحرارة
الملوثات	المسببات	
	التركيب الكيميائي للوقود	ظروف احتراق الوقود
▪ المعادن	▪ أكاسيد المعادن	
▪ أول أكسيد الكربون		▪ ظروف احتراق غير كاملة

▪ السحب السوداء	▪ تفاعل المركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروجين مع المركبات الهيدروكربونية	

وتنتج بعض مواقع النفط والغاز الطبيعي، فيما تقتصر أخرى على إنتاج الغاز الطبيعي. وقُدّر إنتاج النفط في عام 2007 بحوالي 84 مليون برميل في اليوم، تنتج منها الدول الأعضاء في منظمة البلدان المصدرة للنفط حوالي 34 مليون برميل وتنتج منها البلدان غير الأعضاء في المنظمة حوالي 50 مليون برميل. والحصة الأكبر من إنتاج الغاز الطبيعي الذي قُدّر بحوالي 3.100 مليار متر مكعب في عام 2008، تسجل في روسيا الاتحادية والولايات المتحدة الأمريكية. وعلاوة على استكشاف النفط والغاز واستخراجهما وتكريرهما، ترى بعض الدراسات التحليلية أيضاً أن احتراق النفط والغاز في المنتجات النهائية يساهم في انبعاثات الملوثات الضارة [14].

واعتُبرت عملية استخراج الوقود الأحفوري واستخدامه كمساهم مهم في انبعاثات الزئبق في البيئة العالمية. وينتشر الزئبق في الرواسب والصخور المترسبة بكميات متباينة؛ وقد يوجد أيضاً في الطبقات المغلقة، التي يحتوي بعضها على الوقود الأحفوري، حيث يمكن أن يحتفظ به ويزيد تركيزه. ويعتقد أن يكون الزئبق الموجود في النفط الخام مزيجاً من الزئبق الأولي المتطاير، المفكك في النفط والعالق به على حد سواء، وأجناس غير متطايرة تشتمل ربما على جزيئات عالقة من كبريتيد الزئبق. ويمثل هذا الأمر تحدياً بالنسبة إلى نقل النفط وأخذ عينات منه. ولأن الزئبق المتطاير يلحق خسائر بالأنابيب والخزانات، فإن وجوده في النفط قد يقتضي اتخاذ تدابير وقائية عند معالجته وتخزينه ومناولته. ومن شأن التعرض إلى الكبريت في سلسلة الإمداد وعملية التكرير أن يكون حاسماً في الطريقة التي يتصرف بها الزئبق المتطاير. وعلى سبيل المثال، إذا وُجد كبريت الهيدروجين أو أجناس تفاعلية أخرى فإنها قد تتفاعل مع الزئبق فتنتج كبريتيد الزئبق. وكبريتيد الزئبق ضعيف التطاير والتفكك في الماء والهيدروكربونات، وبالتالي يتوقع أن يحتفظ على شكل صلب أقل خطورة.

وفي الغاز الطبيعي، غالباً ما يكون الزئبق الموجود زئبقاً أولياً، ولئن كان ممكناً وجود كميات ضئيلة منه في شكل مركبات عضوية. والمشاكل التي يطرحها الزئبق في الغاز الطبيعي هي نفسها التي يطرحها عند نقل النفط وتخزينه ومناولته. ويمكن أن تحدث انبعاثات الزئبق وإطلاقاته خلال استخراج النفط أو الغاز وخلال تكريرهما ومعالجتهما وتخزينهما ونقلهما واستخدامهما النهائي، وتشمل مصادر الزئبق الماء المستخلص الناتج عن الفصل الأولي بين الماء والغاز والنفط؛ والغاز المحروق؛ وتفريغ التجهيزات.

الطرق والمواد:

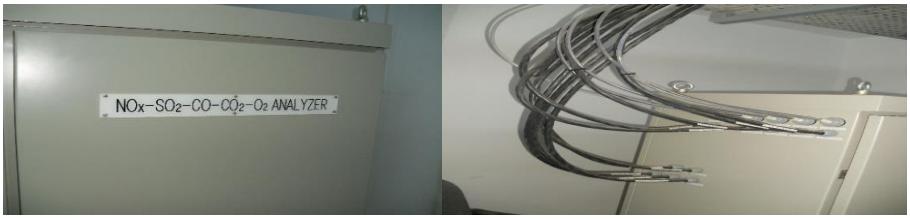
يوجد بمحطة توليد الطاقة الكهربائية الزاوية منظومة كهربائية تحوي عدد من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية لمراقبة وتحليل وقياس انبعاث الغازات مثبتة على المداخن كما هي موضحة بالشكل التالي رقم (2).

شكل (2): جهاز قياس انبعاث الغاز XNSA-308

يبين الشكل (2) صورة ملتقطة لجهاز قياس انبعاث الغاز XNSA-308 ياباني الصنع وهو جهاز يتم تثبيته في أعلى المدخنة وهو عبارة عن مجس غاز (gas probe) ينقل الإشارة عن طريق كوابل كهربائية مغلفة (DC Signal) كما هي مبينة بالشكل (3).

شكل (3). كوابل نقل الإشارة.

وتمتد هذه الكوابل إلى جهاز الاستقبال ومحلل الإشارة ويسمى (جهاز تحليل الغاز) كما هو موضح بالشكل (4). هذا الجهاز بإمكانه تحليل الغازات المنبعثة وتقييم التركيز لكل غاز على حده.

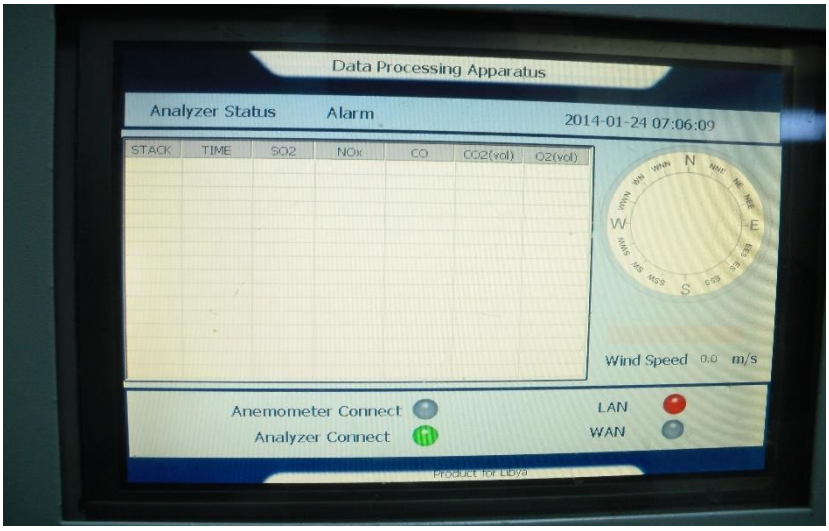


شكل (4). جهاز تحليل الغازات المنبعثة XNSA-308

ثم تنتقل هذه الإشارات الكهربائية إلى لوحة التحكم الإلكترونية المثبتة داخل غرفة التحكم الرئيسة بالمحطة. وتوضح الأشكال التالية (5-6-7) أجهزة المعالجة والمراقبة الإلكترونية لهذه لانبعاث الغازات، والجدير بالذكر أنه يمكن الحصول على قراءة الغاز المنبعث سواء كان بشكل فردي أم جميع الغازات المنبعثة التي يمكن قياسها عن طريق محلل الغاز المصمم لذلك.

شكل (5). جهاز مراقبة سرعة واتجاه الريح.

ومن خلال المنظومة الكهربائية المصممة لتحليل وقياس انبعاث الغازات بمحطة توليد يوجد جهاز بما يعرف بجهاز معالجة ومراقبة البيانات (Data Processing Apparatus: DPA). هذا الجهاز قادر على تحليل انبعاث الغازات الناتجة عن المحطة مرفقة به جهاز إنذار أنه في حالة زيادة مستوى تركيز أحد الغازات عن المعدل الطبيعي يعطي منبه بذلك مع تسجيل القراءات.



شكل (6). جهاز معالجة ومراقبة البيانات DPA

وتجدر الإشارة بأنه يتم معايرة المنظومة لفترات منتظمة بواقع كل ثلاث شهور باستخدام نفس الغازات المنبعثة بما يعرف بعملية المحاكاة، هذه الغازات تكون مملوءة في اسطوانات تحت ضغط (200) بار (البار BAR: وحدة قياس الضغط) ويتم توصيلها بالمنظومة على النحو المبين بالشكل (7).

شكل (7). طريقة معايرة منظومة قياس انبعاث الغازات.

اعتمدت الدراسة تراكيز الغازات المسموح بها في الجو وفقاً للتشريعات والمعايير البيئية المحلية والدولية. هذه التشريعات والمعايير تتفاوت من بلد لآخر وتعتمد على الاعتبارات الصحية والبيئية المحلية والتوجهات العلمية.

على سبيل المثال، في الولايات المتحدة، فإن وكالة حماية البيئة الأمريكية Environmental Protection Association (EPA) قد وضعت معياراً لتراكيز الغازات في الهواء الجوي وفقاً لمعيار EPA لجودة الهواء الوطنية National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)في الولايات المتحدة، التراكيز المسموح بها للغازات في الهواء. تهدف هذه المعايير إلى حماية البيئة وصحة الإنسان من تأثيرات التلوث الجوي وهي كالتالي:

1. **غاز أول أكسيد الكربونCO:**

تركيز الساعة المسموح به: 9 جزء في المليون (ppm) وفقاً لمعيار EPA في الولايات المتحدة

2. **غاز ثاني أكسيد الكربون CO2:**

تركيز الساعة المسموح به: 9 جزء في المليون (ppm) وفقاً لمعيار EPA في الولايات المتحدة

3. **غاز ثاني أكسيد الكبريتSO2**

تراكيز الساعة المسموح بها: 75 جزء في المليون (ppm) وفقاً للمعيار الوطني الأمريكي لجودة الهواء NAAQS في الولايات المتحدة.

4. غاز الميثان CH4:
ليس لديه تركيز مسموح به محدد، ومع ذلك، يعتبر الحد من انبعاثات الميثان جزءً من الجهود العالمية للحد من غازات الاحتباس الحراري.

5. غاز كبريتيد الهيدروجينH2S :
تراكيز متوسطة الطويلة المدى المسموح بها (24 ساعة): 0.03 جزء في المليون (ppm) وفقاً للمعيار الوطني الأمريكي لجودة الهواء NAAQS في الولايات المتحدة.

المناقشة والنتائج
بعد التعريف بأجهزة وطريقة القياس المستخدمة في الدراسة سيتم توضيح نتائج تراكيز الغازات المنبعثة عن محطة توليد الطاقة الكهربائية المتحصل عليها خلال عشرة أيام (تبدأ من يوم الأحد 2018.11.26 وتنتهي آخر الحصول على القراءات يوم الخميس 2018.12.04) بالجداول التالية:

جدول (4). تراكيز غاز أول أكسيد الكربون CO

رقم العينة	يوم الحصول على العينة	تاريخ الحصول على العينة	وقت الحصول على العينة	التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM
.1	الأحد	2018.11.26	12:30	2
.2	الاثنين	2018.11.27	12:30	3
.3	الثلاثاء	2018.11.28	12:30	2
.4	الأربعاء	2018.11.29	12:30	5
.5	الحميس	2018.1130	12:30	4
.6	الجمعة	2018.12.01	12:30	4
.7	السبت	2018.12.02	12:30	3
.8	الأحد	2018.12.02	12:30	5
.9	الاثنين	2018.12.03	12:30	8
10	الثلاثاء	2018.12.04	12:30	4

يبين الجدول (4) أن أعلى نسبة تركيز لغاز أول أكسيد الكربون سجل بتاريخ يوم الاثنين الموافق 2018.12.03 عند الساعة الثانية عشر والنصف ظهرا وكانت القراءة (8 جزء من المليون)، وهو يقترب من الحد المسموح به 9 جزء في المليون (ppm) وفقاً لمعيار EPA في الولايات المتحدة، وأقل نسبة تركيز لغاز أول أكسيد الكربون تم مشاهدتها في يومي الأحد والثلاثاء بتاريخ 2018.12.26 و 2018.12.28 بواقع (2 جزء من المليون).

جدول (5). تراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2

رقم العينة	يوم الحصول على العينة	تاريخ الحصول على العينة	وقت الحصول على العينة	التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM
.1	الأحد	2018.11.26	12:30	0.14
.2	الاثنين	2018.11.27	12:30	0.17
.3	الثلاثاء	2018.11.28	12:30	0.15
.4	الأربعاء	2018.11.29	12:30	0.14
.5	الحميس	2018.1130	12:30	0.13
.6	الجمعة	2018.12.01	12:30	0.18
.7	السبت	2018.12.02	12:30	0.15
.8	الأحد	2018.12.02	12:30	0.17
.9	الاثنين	2018.12.03	12:30	0.13
10	الثلاثاء	2018.12.04	12:30	0.16

يلاحظ من الجدول (5) نتائج القراءات المشاهدة، حيث بلغ أعلى نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون التقطت بتاريخ يوم الجمعة الموافق 2018.12.01 عند الساعة الثانية عشر والنصف ظهرا وكانت القراءة (0.18 جزء من المليون)، وأقل نسبة تركيز لغاز ثاني أكسيد الكربون تم مشاهدتها بتاريخ 2018.12.03 حيث كانت القراءة المشاهدة (0.13 جزء من المليون) وهذه أقل من الحدود المسموح بها وفقاً لمعيار EPA في الولايات المتحدة.
ويوضح الجدول رقم (6) تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريتSO_2:

جدول (6). تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريتSO_2

رقم العينة	يوم الحصول على العينة	تاريخ الحصول على العينة	وقت الحصول على العينة	التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM
.1	الأحد	2018.11.26	12:30	0.0
.2	الاثنين	2018.11.27	12:30	0.1
.3	الثلاثاء	2018.11.28	12:30	0.2
.4	الأربعاء	2018.11.29	12:30	0.3
.5	الحميس	2018.1130	12:30	0.0
.6	الجمعة	2018.12.01	12:30	0.1
.7	السبت	2018.12.02	12:30	0.2
.8	الأحد	2018.12.02	12:30	0.2
.9	الاثنين	2018.12.03	12:30	0.1
10	الثلاثاء	2018.12.04	12:30	0.0

تبين من نتائج الجدول (6) أن تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريت تراوحت بين (0 – 0.3) جزء من المليون؛ حيث سجلت أعلى نسبة مشاهدة بتاريخ 2018.11.29 عند الساعة الثانية عشر والنصف ظهراً وكانت القراءة (0.3) جزء من المليون، وهي أقل من الحد المسموح به وفقاً للمعيار الوطني الأمريكي لجودة الهواء NAAQS في الولايات المتحدة.
أما تراكيز غاز الميثان CH4 فكانت على النحو المبين في الجدول رقم (7).

جدول (7). تراكيز غاز الميثان CH_4

رقم العينة	يوم الحصول على العينة	تاريخ الحصول على العينة	وقت الحصول على العينة	التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM
.1	الأحد	2018.11.26	12:30	6
.2	الاثنين	2018.11.27	12:30	2
.3	الثلاثاء	2018.11.28	12:30	3
.4	الأربعاء	2018.11.29	12:30	4
.5	الحميس	2018.1130	12:30	6
.6	الجمعة	2018.12.01	12:30	5
.7	السبت	2018.12.02	12:30	4
.8	الأحد	2018.12.02	12:30	4
.9	الاثنين	2018.12.03	12:30	7
10	الثلاثاء	2018.12.04	12:30	6

يتضح من الجدول (7) أن تراكيز غاز الميثان CH_4 تراوحت بين (2 – 7) جزء من المليون؛ حيث سجلت أعلى نسبة مشاهدة بتاريخ 2018.12.03 عند الساعة الثانية عشر والنصف ظهرا وكانت القراءة (7) جزء من المليون، يليها على التوالي أيام (الأحد – الثلاثاء – الخميس) بتاريه (26 نوفمبر –30 نوفمبر – 4 ديسمبر 2018).

وباعتبار أو وكالة حماية البيئة الأمريكية ليس لديها تركيز مسموح به محدد، ومع ذلك، يعتبر الحد من انبعاثات الميثان جزءً من الجهود العالمية للحد من غازات الاحتباس الحراري. وبمقارنة النتيجة الحالية بدراسات أخرى مثل دراسة ناجي (2021) [13]..

أما تراكيز غاز كبريتيد الهيدروجين H2S فجاءت على النحو المبين بالجدول رقم (8).

جدول (8). تراكيز غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S

رقم العينة	يوم الحصول على العينة	تاريخ الحصول على العينة	وقت الحصول على العينة	التركيز بوحدة الجزء بالمليون PPM
.1	الأحد	2018.11.26	12:30	2
.2	الاثنين	2018.11.27	12:30	1
.3	الثلاثاء	2018.11.28	12:30	0
.4	الأربعاء	2018.11.29	12:30	0
.5	الحميس	2018.1130	12:30	0
.6	الجمعة	2018.12.01	12:30	1
.7	السبت	2018.12.02	12:30	1
.8	الأحد	2018.12.02	12:30	0
.9	الاثنين	2018.12.03	12:30	3
10	الثلاثاء	2018.12.04	12:30	1

من الجدول (8)، تبين نتائج القراءات الملاحظة أن تراكيز غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S تراوحت بين (0 – 3) جزء من المليون؛ حيث سجلت أعلى نسبة مشاهدة بتاريخ يوم 2018.12.04 عند الساعة الثانية عشر والنصف ظهرا وكانت القراءة (3) جزء من المليون.

مقارنة النتائج بالدراسات السابقة:

تم الاطلاع على عدد من الدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة الحالية ومقارنة نتائجها بالدراسة الحالية. وتم أخذ عينة من الدراسات بهدف مقارنتها مع هذه الدراسة. ففي دراسة قام بها الباحث ناجي (2021) بعنوان "قياس تقييم الانبعاثات الغازية الملوثة لبيئة العمل في مصفاة الزاوية الغازية" فكانت نتائج المقارنة كالتالي [13]:

أخذت عينات الدراسة التي قام بها تاجي (2021) على فترتين (صباحاً وظهراً)، بينما كانت جميع المشاهدات التي تمت في الدراسة الحالية في فترة واحدة عند الساعة الثانية عشر والنصف ظهراً للعينات العشر في 10 أيام بدءً من تاريخ يوم الأحد الموافق 2018.11.26 وحتى تاريخ يوم الثلاثاء الموافق 2018.12.04). كما تم استخدام في دراسة ناجي جهاز يدوي يعرف بمحلل غاز المدخنة IMR 7500 ألماني الصنع، ويمكن نقله والتحرك به من مكان إلى آخر. أما الدراسة الحالية فقد استخدمت جهاز محلل الغاز (Gas analyzer "URA-208) ياباني الصنع وهو جهاز حديث ذو دقة عالية متصل ضمن منظومة كهربائية كما تم توضيحها بالأشكال السابقة.

وتجدر الإشارة بأن الدراسة المقارنة أخذت جميع عيناتها بمسافة عن مصدر انبعاث الغاز تتراوح ما بين المتر وخمسة أمتار. بينما أخذت نتائج الدراسة الحالية من المشاهدات داخل غرفة التحكم بالمحطة عن طريق اجهزة التحليل والمراقبة الإلكترونية (Monitors).

أما دراسة النقيب (2009) [14]، فقد تم مقارنتها بجزئية تحديد اتجاه الريح وعلاقتها بتلوث انبعاث الغازات. فقد بينت أجهزة مراقبة تحديد اتجاه وسرعة الريح في الدراسة الحالية تشابه في اتجاهات الريح؛ حيث بينن أن حوالي 60% من الملوثات الغازية الناتجة عن المحطة تتجه نحو المناطق الزراعية والسكنية وأن 40% من الملوثات الغازية تتجه نحو البحر والمحور الشمالي الشرقي للمحطة. وفيما يتعلق بالدراسة المقارنة فاتضح أن حوالي 65% من الملوثات الغازية الصادرة عن المحطة تتجه إلى المناطق الزراعية والسكنية الواقعة جنوب غرب المحطة، وأن 35% من الملوثات الغازية الصادرة عن المحطة تتجه شمال شرق المحطة في اتجاه البحر.

خاتمة:

يهدف تقييم الآثار البيئية لانبعاثات احتراق الوقود في محطات توليد الكهرباء إلى فهم وتحليل التأثير البيئي لهذه العملية وتقدير الآثار السلبية التي قد تحدث. يعتبر هذا التقييم أداة هامة لتحقيق التنمية المستدامة واتخاذ القرارات الصحيحة في قطاع الطاقة.

أظهرت النتائج تراكيز غازات مختلفة في الهواء، بما في ذلك أول أكسيد الكربونCO ، ثاني أكسيد الكربون(CO2) ، ثاني أكسيد الكبريت(SO2) ، الميثان CH4 ، وكبريتيد الهيدروجين H2S . تباينت تلك التراكيز في النطاقات المحددة. وكشفت النتائج وجود منظومة إلكترونية في محطة توليد الكهرباء بالزاوية تم تركيبها مؤخراً لتسهيل مراقبة وتحليل الغازات المنبعثة. كما كشفت أجهزة مراقبة اتجاه وسرعة الرياح أن حوالي 60% من الملوثات الغازية المنبعثة من المحطة تتجه نحو المناطق الزراعية والسكنية، في حين تتجه 40% إلى البحر والمحور الشمالي الشرقي للمحطة.
توجد مؤشرات قابلة للقياس على وجود مشكلة بيئية تتعلق بزيادة تراكيز أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت، وإن كانت بالحدود المسموح بها إلا أنها تنبع أساساً من احتراق وقود محطات توليد الكهرباء ومصانع الإسمنت ومعامل البتروكيماويات في ليبيا.

المراجع:

1. السعدي، حسين علي (2019)، أساسيات علم البيئة والتلوث، الطبعة الثانية، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.
2. المقيلي، محمد عياد (2020)، التلوث البيئي، الطبعة الثالثة، دار شموع الثقافة للطباعة والنشر والتوزيع، عمان، الأردن.
3. جستنية، عبد الرحمن رشاد (2006)، إنتاج الطاقة الكهربائية وتلوث الهواء بدول الخليج العربي: دراسة بحثية مقدمة للمشاركة في جائزة مجلس التعاون لأفضل الأعمال البيئية"، الشركة السعودية للكهرباء.
4. United Nations Environment Programme. (2019). Global Environment Outlook - GEO-6: Healthy Planet, Healthy People.
5. United States Environmental Protection Agency. (2020). Power Sector Emissions
6. خليل، محمد أحمد (2018)، الهندسة البيئية والصحية، الطبعة الثانية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.
7. يونس، شفيق محمد، "تلوث البيئة"، عمان: دار الفرقان للنشر والتوزيع، 1999.
8. Nawaf S. Alhajer, et. al, (2019), Environmental and economic impacts of increased utilization of natural gas in the electric power generation sector: Evaluating the benefits and trade-offs of fuel switching, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 71.
9. لجنة التنمية المستدامة (2008)، الاستراتيجية الوطنية للتنمية المستدامة، منشورات الهيئة العامة للبيئة، شركة المستقبل للطباعة والدعاية والإعلان، طرابلس، ليبيا.
10. Vladimir Strezov and Hannah Hyunah Cho., (2020), Journal of Cleaner Production, Volume 270, 10 October 2020, 122515.
11. بن حكومة، مصطفى أحمد (2018)، مستقبل الطاقات المتجددة في ليبيا وأثرها في تحقيق التنمية المستدامة: دراسة استشرافية تحليلية، المجلة الأفريقية المتقدمة للعلوم البحثة والتطبيقية، المجلد [2]، العدد [4].
12. بن حكومة، مصطفى أحمد (2020)، مشاريع الطاقة في ليبيا: دراسة تحليلية على مشاريع قطاع النفط من ابريقة حتى مليتة، تقرير مقدم إلى المجلس الوطني للتخطيط الاقتصادي، ليبيا.
13. ناجي، موسى إبراهيم (2021)، قياس وتقييم الانبعاثات الغازية الملوثة لبيئة العمل في مصفاة الزاوية، مشروع تخرج المجلة الدولية للعلوم والتقنية، المجلد [3]، العدد [4].
14. النقيب، سالم محمد علي (2009)، التلوث الجوي بالغازات المنبعثة من محطات الطاقة بمدينتي الخمس وزليتن، رسالة ماجستير غير منشورة مقدمة إلى قسم علوم والهندسة البيئية، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، ليبيا.