دراسة تلوث الهواء بغازات كبريتيد الهيدروجين والأوزون في بيئة العمل داخل مجمع مليته

أسماء عياد مخيبش[1]

[1]المركز الليبي لدراسات وبحوث علوم وتكنولوجيا البيئة.

asmaayadmk95@gmail.com

https://orcid.org/0009-0006-4842-7822

رويدة مفتاح حسن[1]

[1]المركز الليبي لدراسات وبحوث علوم وتكنولوجيا البيئة.

rouidamoftah@gmail.com

https://orcid.org/0009-0002-7149-8988

نبيل صلاح ميلاد [2]

[2]المعهد القومي لعلاج الأورام –صبراتة

تاريخ الارسال 2026/8/31 تاريخ القبول 2026/9/11

المستخلص:

أُجريت هذه الدراسة في بيئة العمل داخل مجمع مليته, وقد شملت منطقة الدراسة عدد عشر نقاط داخل المجمع لمدة 7 أيام متواصلة تم قياس نسبة انبعاث غاز (O_3 , H_2S). وهدفت هذه الدراسة إلى دراسة أخطار الغازات الناتجة من المجمعات البترولية في بيئة العمل ومقارنتها بمواصفات الهواء الجوي الطبيعي حسب منظمة الصحة العالمية (WHO). إن القيم المقاسة للغازات كانت ضمن الحدود المسموح به وليس لها تأثير مع مرور الوقت. وكان الحد الأقصي لتركيز الأوزون هو 0.06 جزء في المليون لمدة 8 ساعات .

الكلمات المفتاحية: تلوث, غاز, كبريتيد الهيدروجين, الأوزون, هواء.

Abstract:

This study was conducted in the workplace environment within the Mellitah complex. The study area encompassed ten points within the complex over a period of seven consecutive days, during which the emission of hydrogen sulfide (O3) and hydrogen sulfide (H2S) gases was measured. The study aimed to investigate the hazards posed by gases emitted from petroleum complexes in the workplace and compare

them to the specifications of natural atmospheric air as defined by the World Health Organization (WHO). The measured gas values were within permissible limits and showed no effect over time. The maximum ozone concentration was 0.06 parts per million (ppm) for an 8-hour period.

Keywords: Pollution, Gas, Hydrogen Sulfide, Ozone, Air.

المقدمة:-

يعد قطاع النفط والغاز الركيزة الأساسية للاقتصاد الليبي, ويعتبر مجمع مليته للنفط والغاز أحد أضخم المنشآت الصناعية في هذا القطاع. إذ يقع علي مساحة تقارب 355 هكتار علي الساحل المتوسطي, علي بعد نحو 22 كيلومتر شرق مدينة زواره (Okasha, & Alhuweemdi, 2019). ويتولي المجمع معالجة النفط الخام والمكثفات الواردة من حقل الوفاء البري, إضافة إلي الغاز الطبيعي والمكثفات الواردة من منصة صبراتة البحرية, عبر منظومتين متكاملتين للفصل والمعالجة والتصدير (Danna et . al.,2024) .

وفي العقود الأخيرة شهد العالم توسعا في الأنشطة الصناعية المرتبطة بإنتاج النفط والغاز الطبيعي, مما ساهم في زيادة الإنبعاثات الغازية وتأثيرها علي جودة الهواء والصحة العامة. تعد المناطق الصناعية من أكثر البيئات تعرضا للملوثات الهوائية نتيجة الإنبعاثات المستمرة من وحدات التشغيل ومشاعل حرق الغاز وعمليات التخزين والنقل, مما يجعل مراقبة جودة الهواء أحد أهم عناصر الإدارة البيئية المستدامة (WHO, 2021) .

وتشير منظمة الصحة العالمية إلي أن تلوث الهواء يعد من أهم عوامل الخطر البيئي. إذ يؤدي إلي ملايين الوفيات المبكرة سنويا. ويرتبط بزيادة الإصابة بأمراض الجهاز التنفسي والقلب والأوعية الدموية, وتأثيراته أيضا في الأنظمة البيئية والإنتاج الزراعي. وتزداد هذه الخطورة في المناطق الصناعية التي تضم منشآت النفط والغاز, حيث تنبعث غازات عديدة تختلف في خصائصها الكيميائية ودرجه سميتها(WHO,2021). ويعتبر غاز كبريتيد الهيدروجين غاز سام قابل للاشتعال, ينشأ طبيعيا في المكامن النفطية والغازية الحامضية نتيجة وجود مركبات الكبريت واختزال الكبريتات, وقد يتحرر أثناء عمليات الإنتاج والفصل

ونزع الغازات الحامضية ومعالجة النفط الخام. وتشمل مصادره التشغيلية المحتملة التسريبات من المعدات والأنابيب, وعمليات التنفيس, ووحدات معالجة الغاز, والحرق الغير كامل للغازات المحتوية علي الكبريت. وتكمن خطورته في أن تأثيراته لا تقتصر علي التعرضات المهنية ذات التراكيز المرتفعة, بل تمتد إلي التعرضات البيئية المزمنة و المنخفضة, فقد ربطت المراجعات العلمية التعرض له بتهيج العينين والأنف والجهاز التنفسي, وآثار عصبية محتمله, كما أن قدرته علي إضعاف حاسة الشم عند تراكيز مرتفعه تحد من الاعتماد علي الرائحة بوصفها وسيلة إنذار, الأمر الذي يعزز ضرورة الرصد الآلي المستمر(Batterman et. Al., 2024) . .أما الأوزون الأرضي فلا يعد في الغالب انبعاث أولي من العمليات النفطية بقدر ماهو ملوث ثانوي يتشكل في الغلاف الجوي من تفاعلات ضوئية بين أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايره, وهي ملوثات ترتبط بأنشطة استخراج النفط والغاز وتكريره وتخزينه ونقله, وبعمليات الاحتراق والحرق الشعلي (Tavella, et. Al., 2025) (Helmig, D. (2020). وتزداد احتمالية تراكمه في الأجواء الحارة المشمسة, حين تسمح شدة الإشعاع وسكون الغلاف الجوي باستمرار التفاعلات الكيميائية وانتقال الملوثات من نطاق المنشأة إلي المناطق المجاورة. من الناحية الصحية يعد الأوزون مؤكسدا قويا يهيج الممرات الهوائية. ويسبب السعال وضيق التنفس والتهاب النسيج التنفسي, ويزيد قابلية الرئة للعدوى ويفاقم الربو والتهاب القصبات وانتفاخ الرئة, مع تعرض الأطفال ومرضي الجهاز التنفسي لمخاطر أعلي (U.S. Environmental Protection Agency. (2026) . وبيئيا يمكن أن يسهم ارتفاعه في اضعاف الغطاء النباتي والحد من الإنتاجية الحيوية, بالإضافة إلي كونه مؤشرا علي تعقيد التفاعلات الكيميائية لجودة الهواء . رغم وجود العديد من الدراسات التي تناولت انبعاث ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة من مجمع مليته وتشتتها في الغلاف الجوي (Hasan et al., 2008؛ Okasha & Alhuweemdi, 2019؛ Danna et al., 2019, 2024) فإن الربط المباشر بين هذه الإنبعاثات وتكون الأوزون في محيط المجمع لم يدرس حتى الآن.

ولذلك تركز مشكلة البحث في كيفية التحكم في تلوث وكذلك الحد من أضراره علي صحة الإنسان.

تهدف هذه الدراسة إلي دراسة أخطار الغازات الناتجة من المجمعات البترولية في بيئة العمل ومقارنتها بمواصفات الهواء الجوي الطبيعي حسب منظمة الصحة العالمية .

منطقة الدراسة والإطار الجغرافي للمنطقة:-

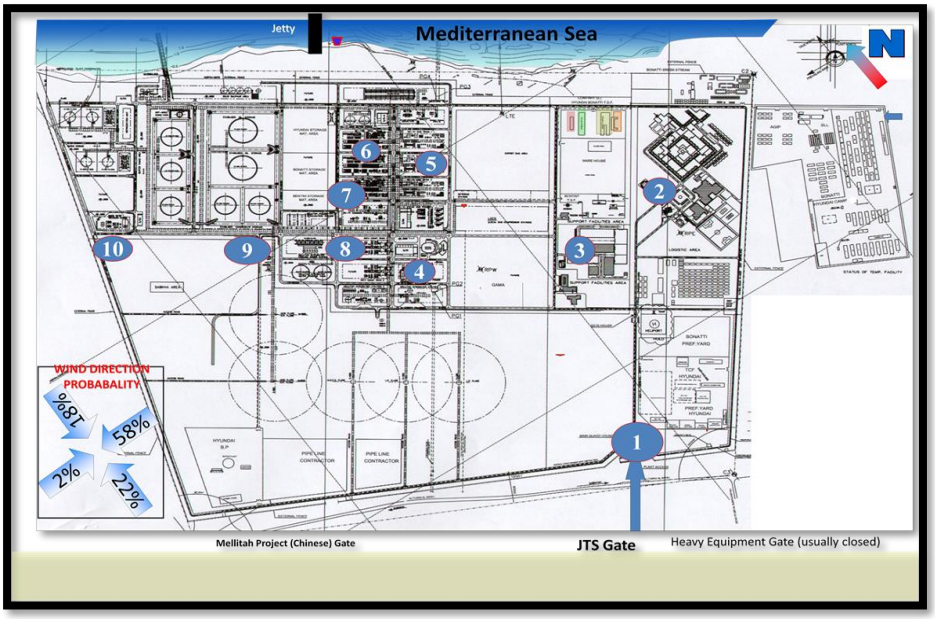
يقع مجمع مليته للنفط والغاز على الساحل الليبي للبحر الأبيض المتوسط، شرق مدينة زواره بنحو22 كم، ويمتد على مساحة تقدَّر بنحو 355 هكتاراً تضم توربينات بخارية وغازية لتوليد الطاقة اللازمة لتشغيل وحدات المعالجة (2019, Okasha & Alhuweemdi). ويتكوّن المجمع أساساً من منشأتين: الأولى مخصصة لمعالجة النفط والمكثفات الواردة من حقل الوفاء البري، والثانية لمعالجة الغاز والمكثفات الواردة من منصة صبراتة البحرية (Danna et al., 2024). ويضم المجمع خمسة خزانات لتخزين النفط، منها ثلاثة بسعة تقارب (100.162)متراً مكعباً لكل خزان، وخزانا موازنة بسعة (45.152) متراً مكعباً لكل منهما، إضافة إلى ثلاثة خزانات لتخزين المكثفات بسعة تقارب (44.516) متراً مكعباً لكل خزان (Danna et al., 2024). ويُصرَّف الغاز الفائض عن المعالجة عبر ثلاث مداخن حرق مشتعل (Flares) بارتفاع 80 متراً لكل منها. وتشير الدراسات المناخية للمنطقة إلى أن الرياح السائدة فوق موقع المجمع تهب غالباً باتجاه شرقي بسرعات تتراوح بين (5 و11 م/ث)، مع فترات أقل تكراراً لسرعات منخفضة تتراوح بين 0.5 و5 م/ث (Danna et al.,2024)، وهي ظروف مناخية تزيد من احتمال تراكم الملوثات قرب سطح الأرض في فترات الرياح الخفيفة والاستقرار الجوي، وتزامنها مع الإشعاع الشمسي القوي في فصل الصيف يخلق بيئة مواتية لتسريع التفاعلات الكيميائية الضوئية المسؤولة عن تكوّن الأوزون.



شكل 1 موقع محطة مليته

جدول (1) موقع أخذ العينات من منطقة الدراسة

رقم العينة	الموقع
1	البوابة الرئيسية
2	المنطقة السكنية
3	مبني الإدارة
4	غرفة التحكم
5	مصنع الغاز
6	وحدة استخلاص الكبريت H2
7	وحدة استخلاص الكبريت K2
8	منطقة انتزاع المياه الحامضية
9	وحدة المرافق
10	وحدة معالجة المياه الملوثة



صورة مناطق أخذ العينات

أجهزة الكشف عن الغاز:-

توجد هذه الأجهزة مثبته ومتصلة بالأماكن المحتمل وجود الغاز بها مثل أجهزة الرصد والإنذار الموجودة بالمعامل الجيولوجية أثناء عمليات حفر الآبار في المناطق المعروفة بوجود غاز كبريتيد الهيدروجين والآبار الاستكشافية وكذلك الأجهزة المتصلة بغرف مراقبة حقول الإنتاج والمصافي ومعامل الغاز وغيرها من المواقع النفطية وهي أجهزة تعمل بواسطة التيار الكهربائي، وهذه الأجهزة مهمة جدا، حيث تقوم برصد والكشف عن أي تسرب للغاز في أي منطقة، وهذه الأجهزة تصدر صافرات إنذار عند وصول نسبة الغاز إلي مقدار الخطر وهو في العادة (10 أجزاء من المليون) هذه الأجهزة تحتوي علي أجهزة قياس وتسجيل نسبة الغاز المكشوف عنه ومن المهم صيانة ومراقبة هذه الأجهزة ومعايرتها بانتظام لضمان استمرارية عملها ودقتها.

أجهزه القياس:-

تقوم سلسلة الأجهزة 500 بقياس غازات(H_2S,O_3) ومعايرتها بانتظام لضمان استمرارية عملها ودقتها يتم تغيير نوع المستشعر للغاز الذي نحتاج لقياسه. اضغط مع الاستمرار علي زر تشغيل جهاز العرض، AEROQUAL 500 تعمل عملية الطاقة حيث يتم تنشيط الشاشة، وستعمل وتعرض شاشة الجهاز المراقب وإصدار سلسلة البرامج الثابتة وبعد 5 ثواني ستتغير الشاشة لتشير إلي نوع رأس المستشعر. بمجرد اكتمال الإحماء ستظهر الشاشة الرئيسية وتظهر عليها عدد القراءات للعينة.



قياس غاز كبريتيد الهيدروجين :-

قياس تركيز H_2S باستخدام مراقبة الغاز المحمولة 500 ويبدأ القياس (0-10)جزء في المليون مع نوع المؤشر(H_2S 0.01).

قياس غاز الأوزون :-

قياس تركيز O_3 باستخدام مراقبة الغاز المحمولة 500 لرصد الغاز من (0-0.15جزء في المليون مع نوع المؤشر (O_3 0.15).

الجدول (2) الحد الأقصى لإنبعاثات تلوث الهواء :-

تسلسل	الملوث	الوحدة	الحد الأقصى
1	H_2S	(mg/m^3)	5-10
2	O_3	(mg/m^3)	-

النتائج :-

جمعت العينات من عشر نقاط في مجمع مليته لمعرفة حدود التلوث في الهواء حول مكان العمل خلال 7 أيام باستخدام أجهزة لقياس (O_3,H_2S) .

جدول (3) يعرض الحد المسموح به لبعض الملوثات في الهواء

(WHO 2005) (Gaur2008)

الملوث	المنطقة الصناعية	
	mg/m^3	Ppm
O_3	- -	0.06 0.08
H_2S	- -	10

جدول (4) تركيز الغازات في مناطق أخذ العينات

المنطقة / الأيام	البوابة الرئيسية			منطقة السكن			مبني الإدارة			حجرة التحكم		
	Tem C^o	H_2S Ppm	O_3 ppm	Tem C^0	H_2S	O_3	Tem C^o	H_2S ppm	O_3 ppm	Tem C^o	H_2S Ppm	O_3 Ppm
اليوم الأول	28	0.14	0.002	28	0.03	0.009	28	0.35	0.006	28	0.04	0.002
اليوم الثاني	31	0.03	0.01	31	0.02	0.007	31	0.05	0.008	31	0.01	0
اليوم الثالث	35	0.12	0.018	35	0.01	0.002	35	0	0.009	35	0	0.005
اليوم الرابع	34	0.07	0	34	0.12	0.005	34	0.08	0.002	34	0	0.014

اليوم الخامس	30	0.09	0.07	30	0.09	0	30	0.1	0.005	30	0.01	0.002
اليوم السادس	25	0.14	0.042	25	0.02	0.018	25	0.22	0.006	25	0.04	0.004
اليوم السابع	23	0.24	0.02	23	0.03	0.008	23	0.05	0.01	23	0.02	0.005

جدول (5) تركيز الغازات في مناطق أخذ العينات

المنطقة / الأيام	مصنع الغاز			وحدة استخلاص الكبريت بمنطقة (H_2)			وحدة استخلاص الكبريت بمنطقة (K_2)			منطقة انتزاع الحامضية		
	Tem C^o	H_2S Ppm	O_3 ppm	Tem C^0	H_2S	O3	Tem C^o	H_2S ppm	O_3 ppm	Tem C^o	H_2S Ppm	O_3 Ppm
اليوم الأول	28	0.02	0.002	28	0.05	0.004	28	0.09	0.011	28	0.05	0.015
اليوم الثاني	31	0.05	0	31	0	0.002	31	0.07	0.005	31	0.01	0.011
اليوم الثالث	35	0.01	0.001	35	0.05	0.001	35	0	0.003	35	0	0.007
اليوم الرابع	34	0	0.004	34	0.05	0.003	34	0.11	0.007	34	0.21	0.009
اليوم الخامس	30	0.03	0.015	30	0.05	0	30	0.19	0.001	30	0.05	0.001
اليوم السادس	25	0	0.008	25	0.05	0.012	25	0.05	0.002	25	0.06	0
اليوم السابع	23	0.07	0.001	23	0.05	0.004	23	0.02	0.004	23	0.01	0.015

جدول (6) تركيز الغازات في مناطق أخذ العينات

المنطقة / الأيام	وحدة المرافق			وحدة معالجة المياه الملوثة		
	Tem C^o	H_2S Ppm	O_3 ppm	Tem C^0	H_2S ppm	O_3 ppm
اليوم الأول	28	0.38	0.018	28	0.45	0.01
اليوم الثاني	31	0.02	0.002	31	0.05	0
اليوم الثالث	35	0	0.005	35	0.15	0.015
اليوم الرابع	34	0.04	0.01	34	0.09	0.008
اليوم الخامس	30	0.1	0.009	30	0.1	0.01
اليوم السادس	25	0.021	0.018	25	0.22	0.011
اليوم السابع	23	0	0.04	23	0.35	0.02

جدول (7) تأثير تركيز كبريتيد الهيدروجين في نقاط أخذ العينات

المنطقة / الأيام	البوابة الرئيسية	منطقة السكن	مبني الإدارة	غرفة التحكم	مصنع الغاز	وحدة استخلاص الكبريت H_2	وحدة استخلاص الكبريت K_2	منطقة انتزاع الحامضية	وحدة المرافق	وحدة معالجة المياه الملوثة
اليوم الأول	0.014	0.03	0.35	0.04	0.02	0.05	0.09	0.04	0.38	0.45
اليوم الثاني	0.03	0.02	0.05	0.01	0.05	0	0.07	0.01	0.02	0.05
اليوم الثالث	0.12	0.01	0	0	0.01	0.05	0	0	0	0.15
اليوم الرابع	0.07	0.12	0.08	0	0	0.05	0.11	0.21	0.04	0.09
اليوم الخامس	0.09	0.09	0.1	0.01	0.03	0.05	0.19	0.05	0.1	0.1
اليوم السادس	0.14	0.02	0.22	0.04	0	0.05	0.05	0.06	0.021	0.22
اليوم السابع	0.24	0.03	0.05	0.02	0.07	0.05	0.02	0.01	0	0.35

يوضح هذا الجدول اختلاف تركيز H_2S في نقاط أخذ العينات ولوحظ أنه لا يوجد تأثير كبير علي تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين مع مرور الوقت تكون جميع النتائج ضمن الحدود المسموح بها .

جدول (8) تأثير تركيز غاز الأوزون في نقاط أخذ العينات

المنطقة / الأيام	البوابة الرئيسية	منطقة السكن	مبني الإدارة	غرفة التحكم	مصنع الغاز	وحدة استخلاص الكبريت H_2	وحدة استخلاص الكبريت K_2	منطقة انتزاع الحامضية	وحدة المرافق	وحدة معالجة المياه الملوثة
اليوم الأول	0.002	0.009	0.006	0.07	0.005	0.001	0.01	0.005	0.015	0.005
اليوم الثاني	0.01	0.007	0.008	0.03	0.006	0.006	0.001	0.009	0.005	0.03
اليوم الثالث	0.018	0.002	0.009	0.11	0	0.009	0.051	0.006	0.01	0
اليوم الرابع	0	0.005	0.002	0	0.009	0.01	0.023	0.01	0.02	0.045
اليوم الخامس	0.07	0	0.005	0.027	0.022	0.021	0.04	0.005	0.530	0.017
اليوم السادس	0.042	0.018	0.006	0.004	0.015	0.005	0.01	0	0.012	0.02
اليوم السابع	0.02	0.008	0.01	0.005	0	0.001	0.02	0.004	0.015	0.019

يوضح الجدول اختلاف تركيز غاز الأوزون في نقاط اخذ العينات ومن الأرقام التي لوحظت انه لا يوجد تأثير كبير غاز الأوزون وان جميع النتائج كانت ضمن الحدود والحد الأقصي هو 0.06 جزء في المليون لمده 8 ساعات.

الاستنتاج:-

شملت الدراسة الحالية تقدير غازات كبريتيد الهيدروجين والأوزون في مجمع مليته, ثم قياس الغازات ومقارنتها بالمعيار ومن النتائج التي تم الحصول عليها استنتج ما يلي:-

- كان تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين ضمن الحد المسموح به.

- كان تركيز غاز الأوزون ضمن الحدود في جميع نقاط أخذ العينات.

من المفترض بأن يقلل العاملين في مصنع الكبريت من ساعات العمل في المصنع أثناء تغير اتجاه الرياح ولكن بشكل عام كانت جميع النتائج في الحد المسموح به.

التوصيات:-

للحد من مستويات التلوث بهاذين الغازين داخل المجمعات النفطية يمكن اتباع ما يلي :-

- تحديث وحدات استخلاص الكبريت (SRU) لرفع كفاءة التقاط (H_2S).

- استخدام تقنيات استرجاع الأبخرة(VRU) لمنع تسرب المركبات العضوية المتطايرة المسببة للأوزون.

- تركيب شبكات مستشعرات ذكية ومستمرة لقياس تراكيز كبريتيد الهيدروجين والأوزون في مواقع العمل الحساسة.

- توفير معدات الوقاية الشخصية (PPE) وأجهزة التنفس المخصصة للعاملين في المناطق الحرجة.

المراجع :-

- Okasha, A. Y., & Alhuweemdi, S. O. (2019). Effect of sulfur dioxide emissions from Mellitah Oil and Gas Complex on air quality in neighboring cities. Journal of Marine Sciences and Environmental Technologies, 5(1), A44–A54. https://doi.org/10.59743/jmset.v5i1.74 .

- Danna, A. B. M., Haddar, M., Djemel, H., Kallel, A., & Baccar, M. (2024). Preliminary assessment of volatile organic compounds and hazardous gases dispersion at low winds: case study of Mellitah Gas

Complex, Libya. Discover Applied Sciences, 6, 84. https://doi.org/10.1007/s42452-024-05730-7

- worled Health Organization (2021) WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva: WHO.

- Batterman, S., Grant-Alfieri, A., & Seo, S.-H. (2023). Low level exposure to hydrogen sulfide: a review of emissions, community exposure, health effects, and exposure

guidelines. Critical Reviews in Toxicology, 53(4), 244–295.

- Tavella, R. A., da Silva J̊nior, F. M. R., Santos, M. A., et al. (2025). A Review of Air Pollution from Petroleum Refining and Petrochemical Industrial Complexes: Sources, Key Pollutants,

Health Impacts, and Challenges. ChemEngineering, 9(1), 13

- Helmig, D. (2020). Air quality impacts from oil and natural gas development in Colorado.

Elementa: Science of the Anthropocene, 8, 4.

- U.S. Environmental Protection Agency. (2026). Health Effects of Ozone Pollution.