Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (1) (March, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) العدد 1 مارس 2026
ردمد: 3135-2359

تقييم مصدر انتشار ملوثات الهواء حول المنشأة النفطية الساحلية: دراسة هندسية تحليلية لصفاة الزاوية

سنية عبدالسلام اسماعيل التركي [1] عبير عون الهادي عون [2]

أميمة البشير الهادي الشائبي [1] فاطمة ابوبكر ابوجليدة الذيب [1]

جامعة الزاوية / كلية الهندسة /هندسة مدنية [1]

جامعة طرابلس / كلية الهندسة / هندسة مدنية [2]

[1] s.elturki@zu.edu.ly
[2] abiroun75@gmail.com

Assessment of the Source of Air Pollution Dispersion Around the Coastal Oil Facility: An Analytical Engineering Study of the Zawiya Oil Refinery

Suniya Abdelsalam Ismail Al-Turki [1], Abeer Aoun Al-Hadi Aoun [2]

Omaima Al-Bashir Al-Hadi Al-Shaibi [1], Fatima Abubakr Abujalida Al-Dheeb [1]

University of Zawiya / Faculty of Engineering / Civil Engineering [1]
University of Tripoli / Faculty of Engineering / Civil Engineering [2]

تاريخ الاستلام: 2026/6/29 تاريخ المراجعة 2026/7/20 تاريخ القبول:2026/7/28-
تاريخ النشر:2026/8/10

ملخص البحث:

تهدف الدراسة إلى تقييم مصادر المعلومات الخاصة بمؤشرات تلوث الهواء وإمكانية وصولها إلى الأفراد والجهات المعنية، وتم التركيز على مدينة الزاوية نظرًا لحساسيتها من الناحية البيئية، حيث إنها تحوي مصفاة الزاوية الساحلية، وللتحقق من كفاءة انسياب المعلومات تمت المقارنة مع منطقتين أخريتين لهما نفس الخصوصية تقريبًا, إتخذت الدراسة نمطًا استقصائيًا تحليلًا للمقارنة بين منصات البيانات العالمية سواء كانت منصات رصد أرضية أو فضائية, والمقارنة بينهما, كذلك توظيف البيانات في حسابات (AQI) وتم البحث عن المصادر الخاصة بمدينة الزاوية ودراسة فعالية النماذج الحاسوبية في دعم التنبؤات والتوقعات بمؤشرات تلوث الهواء في ظل غياب معلومات من محطات رصد أرضية.

أظهرت النتائج التفاوت المكاني في عدالة البيانات بين صقلية وبنزرت والزاوية للمواطن وصاحب القرار مما يؤكد إن التحدي الرئيسي يتمثل في محدودية البيانات التاريخية أكثر منه في محدودية كفاءة أدوات التحليل والنمذجة.

الكلمات المفتاحية:

Air Quality index (AQI), Particulate ,Matter $PM_{2.5}$, Climatology platform developed by national Aeronautics and space administration (NASA POWER), Random Forest Regressor (RER), Copernicus Atmosphere Monitoring services (CAMS).

المقدمة:

أن مشكلة غياب شبكات رصد ملوثات الجودة هي مشكلة موجودة في العديد من بلدان الدول ذات الصناعات النفطية في قارة أفريقيا، ومن بينها ليبيا.

ومن المعروف أن هذه الصناعات تؤثر بيئيًا على المناطق المجاورة لها من سكان ونبات ومع التطور والتقدم التكنولوجي أصبح حريًا بالمواطن وحتى وصولاً إلى صاحب القرار أن يكون ملما بالوضع البيئي للمحيط الذي يعيش فيه.

أن الاعتماد الأساسي في ليبيا وبالكامل قائمًا على أخذ المؤشرات لجودة الهواء من المعروض في التطبيقات والمنصات العالمية مثل Google مع إن هذه المنصة بنفسها توضح أن مؤشراتها تعتمد وتُبنى على التجميع من الأقمار الاصطناعية والطقس والمحطات الأرضية إن وجدت، وفي حال غيابها فإنها تدمج في نماذج تنبؤية متعددة المصادر كل ذلك يولد في النفس السؤال الأهم:

هل هذه القياسات دقيقة في المناطق الحساسة بيئيًا.

ولعل مدينة الزاوية من هذه المناطق الحساسة لما لها من خصائص بيئية وصناعية تتمثل في كونها تجمع بين شريط ساحلي مكتظ بالسكان ونشاط صناعي نمطي (مصفاة الزاوية لتكرير النفط) وبين مناطق زراعية وصناعية متداخلة مما يعرضها لتأثير ظاهرة نسيم البحر والبر (Land and sea Breeze).

الأمر الذي يوفر ديناميكية قوية في نقل الملوثات من الشاطئ أو المصنع إلى عمق الاحياء السكنية في غياب آلية الرصد الأرضية فإنه من الأهمية أن ندرس تأثير الملوثات وأثر الغياب للمعلومات اليومية في تقييم الأثر البيئي.

عند المقارنة بمناطق صناعية ذات ظروف ساحلية مشابهة مثل (بنزرت في تونس واوغوستا في سيشيليا في إيطاليا) نجد إن الرصد يعتمد على شبكة فيزيائية تقيس الانبعاثات الغازية بدقة وبشكل مباشر من محطات رصد أرضية ويظهر ذلك واضحًا في خرائط عالمية مثل Open AQ والتي تظهر فيها مدينة الزاوية كبقعة بيضاء فارغة من البيانات. هذا الغياب يجعل التطبيقات العالمية تعتمد على المحاكاة العدية (Numerical Models). التي تستمد المعلومات من الأقمار الاصطناعية (Sentinel- SP) لمعالجة بيانات سماء الزاوية.

من الطبيعي أن الأقمار تدور في مدارات قطبية متزامنة مع الشمس مما يحدث فجوة في المعلومات تحرم المواطن أو صاحب القرار من أخذ التحوطات اللازمة عند حدوث تسريبات غازية فجرًا أو منتصف الليل؛ في حين أن المحطات الأرضية تعمل بكفاءة تحت كل الظروف على مدار الساعة وتقيس مستوى التلوث على ارتفاع (1.5 – 2.0م) وهو المستوى الذي يتنفس فيه الإنسان مما يعطيها ميزة تدارك الأخطاء في رصد التركيزات العالية بفعل الرياح الحاملة للسحب والغبار فتحجب الصورة عن الأقمار الاصطناعية.

وفي هذا السياق أجريت دراسات في مدينة بنغازي لتقييم مستوى التلوث الغازي والجسيمات العالقة لقياس الأثر البيئي الناتج عن محطة شمال بنغازي الكهربائية ومصانع الاسمنت هناك, حيث أظهرت النتائج أن حركة الرياح وسرعتها تلعب دورًا حاسمًا في توجيه مسارات تشتت غازات اكاسيد النيتروجين (No_2) وثاني أكسيد الكبريت (So_2) بالجسيمات الدقيقة وزيادة تركيزها في نطاقات معينة بشكلًا سيء بناءًا على المعطيات المحلية ونسيم البحر(1).

وفي الجانب الغربي من البلاد خُلصت دراسات معهد النفط الليبي وبعض الرسائل الجامعية بجامعة الزاوية عند تقييم الأثر البيئي لمصفاة الزاوية النفطية إلى وجود ارتباط وثيق بين عمليات التكرير وانبعاث المركبات العضوية والمتطايرة والغازات الحامضية (2).

هذه الدراسات المحلية تشترك في اعتمادها على القياسات الميدانية المتقطعة والمحدودة زمنيًا بسبب غياب محطات الرصد الأرضية.

وعلى نطاق إقليم البحر المتوسط فإن دراسات أجريت على منشآت نفطية في مناطق ساحلية مشابهة (مصفاة بنزرت في تونس ومصفاة أوغوستا في سيشيليا في إيطاليا) استخدمت النمذجة لدراسة تأثير الملوثات على النظم البحرية والبرية المجاورة لها أكدت فيها تأُثير السلوك الديناميكي للتفاعل بين الغلاف الجوي والسطح المائي في إعادة توزيع الملوثات بشكل غير خطي مما يستلزم استخدام أدوات متطورة لرصد السلوكيات المعقدة (3).

في مسار التوجهات الحديثة في النمذجة الرقمية والذكاء الاصطناعي اتجهت الأبحاث الهندسية البيئية العالمية نحو إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي في معالجة البيانات الأرضية الشحيحة، حيث إنها اثبتت أن دمج خوارزميات Random Forest مع شبكة الذاكرة طويلة قصيرة المدى LSTM والتي تستقي البيانات المناخية من NASA POWER تمتلك كفاءة عالية جدًا في التنبؤ بنسب الجسيمات الدقيقة $PM_{2.5}$, حيث إن هذه الطريقة تفوقت على المعادلات الخطية MLR في تفسير التراكم والتشتت (4).

وسعيًا للوقوف على أهمية رصد التلوث الجوي تمت الاستعانة بالنمذجة في محاولة للوصول لبعض المقارنات في قراءة المؤشر AQI في نقطتين منفصلتين وكتابة كود بسيط يساعد في التنبؤ.

منهجية البحث:

اعتمدت الدراسة على الجمع بين المنهج التجريبي والتحليلي معًا لمعالجة مشكلة غياب محطات الأرصاد الأرضية Air Quality montring Gap

واستخدمت في هذا الإطار البيانات المتاحة من المنصات العالمية والنمذجة الحاسوبية المبنية على المتغيرات الهندسية بعد ومعالجتها خوارزميات التعلم لتقييم ومحاكاة $AQI - PM_{2.5}$

مجتمع الدراسة:

الطبقة الجوية المتاخمة للغلاف الجوي.

أدوات جمع البيانات:

1. منصة ناسا الفضائية (NASA POWer API) ودمجها مع وكالة حماية البيئة الأمريكية (US. EpA).
2. منصة الهواء المفتوح العالمية (Open air).
3. المنصة السويسرية (IQ Air) عبر تطبيق (Air Visual).
4. خدمة مراقبة الغلاف الجوي لكوبرنيكوس (CAMS) وهي منصة تابعة للاتحاد الأوروبي تقدم بيانات وتحاليل شبه فورية حول جودة الهواء.

مكان الدراسة:

مدينة الزاوية – منطقة المصفاة، باعتبارها نقطة انبعاث غازات صناعية في الهواء، والتي تسجل بالإحداثيات الاتية:

°32.79370 شمالًا، °12.7320 شرقًا على الخريطة العالمية.

الأساليب الإحصائية والتحليلية المستخدمة:

1- Random For st Regression:

وهو عبارة عن خوارزمية لا تتطلب تحضـــيرات معقدة وتعمل بشـــكل جيد مع البيانات الغير خطية وتبنى على التجميع، ثم بناء المقارنات (Trees)، ثم عقد المقاربات للتنبؤ بعد دمج تنبؤاتها بين حالة الطقس وتأثير الانبعاث حسب ما توصي به (EPA) للوصول إلى النتيجة النهائية.

2 – المعادلات الحركية: Deterministic Fluid – Dynamics Por xy.

وهي نماذج رياضية تعمل على تسريع التنبؤات المتعلقة بحركة الموائع الجوية من أجل ربط قدرة استيعاب الطبقة الجوية لمعدلات الحرارة والرطوبة تحت تأثير الرياح (معالجة شح البيانات الأرضية).

3 – تحويل تركيز الملوثات المتنبأ بها إلى قيم (AQI):

باعتبار ($PM_{2.5}$) مؤشر أساسي للتلوث وبحسب معايير (US – EPA) لسنة 2026

فإن مؤشر التلوث يحسب بالمعادلة الآتية وبإعتماد القيم المدرجة في الجدول اللاحق

$$\text{AQI} = \frac{AQI_{high} - AQI_{Low}}{BP_{high} - BP_{Low}} \times (c - BP_{Low}) + AQI_{Low}$$

حيث:

C : تركيز $pm_{2.5}$ الحالي.

Bp_{High} : الحد الأعلى لفئة التلوث التي يقع فيها التركيز الحالي.

Bp_{Low} : الحد الأدنى لفئة التلوث التي يقع فيها التركيز الحالي.

AQI_{High}: الحد الأعلى لقيمة AQI المقابل لتلك الفئة.

AQI_{Low}: الحد الأدنى لقيمة AQI المقابل لتلك الفئة.

جدول (1) : المعايير الوطنية لجودة الهواء والمحيط NAAQS 2026 (US-EPA)

AQI High	AQI Low	Bp High	Bp Low	فئة جودة الهواء	C $PM_{2.5}$
50	12.0	12.0	0.0	جيد	12.00
100	35.4	35.4	12.1	معتدل	35.4-12.1
150	55.4	55.4	35.5	غير صحي للفئات	55.4-35.5
200	150.4	150.4	55.5	غير صحي للجميع	55.3-150.4

الحدود الرياضـــية هي مؤشـــرات تمثل عامل التركيز ونقاط التوقف للانحدار الخطي المســـتخدم في الحساب، وهي معايير لتحديد حدود تعرض صحة الإنسان للملوثات.

النتائج:

كانت خطوات العمل قد بدأت بالبحث في الارشيفات العامة والمفتوحة للبيانات اليومية الخاصة بملوثات الهواء بين المدن المختلفة التي تتشـابه في الخصـائص البيئية والصـناعية، وتحديد مصـادرها (محطات رصـد أرضـية أو الأقمار الاصـطناعية مدمجة مع نماذج رياضـية)، وكذلك تحديد ما إذا كانت متاحة للجمهور أو غير متاحة والبحث في تاريخ البيانات المتوفر لهذه المناطق (يومية أو شهرية أو موسمية).

بعد البحث في أهم المنصات توصلنا إلى النتائج المجدولة أدناه في مقارنة بين هذه المناطق.

جدول (2) مقارنة للمعايير البحثية

المعيار	Augusta	Bezerte	Zawia
طبيعة النشاط	مجمع تكرير نفط وصناعة بتروكيميائية	مصفاة نفط ساحلية	مصفاة ومرفأ على الساحل
البنية التحتية للنشاط الصناعي	شبكة محطات أرضية ثابتة ومستمرة	محلة رصد أرضية تابعة للوكالة الوطنية لحماية المحيط	عدم توفر محطات رصد أرضية ثابتة
إمكانية الوصول والشفافية	منصات رقمية وتطبيقات الهواتف	تقارير دورية ومؤشرات مدمجة جزئيًا في المنصات الدولية	تتيح البيانات المحلية واعتماد المناطق على تقديرات برمجية افتراضية
الربط مع مخططات windrose	مدمج كليًا للتنبؤ بمسار سحابة التلوث وتوجيه التحذيرات	يستخدم في دراسة الأثر البيئي وتخطيط التوسع العمراني.	غائب مما يزيد من تعرض السكان لخطر الملوثات
كيفية فرض المعلومات	مزيج بين القياسات المباشرة والنماذج الحاسوبية الخاصة بالهواء	مزيج بين محطات أرضية محدودة ونماذج خوارزمية إقليمية أو عالمية	اعتماد كلي على النمذجة المبنية على مصادر المعلومات من الأقمار الاصطناعية.

يظهر من هذا الجدول التدرج في إمكانية الوصول إلى المعلومات الخاصة بمؤشر تلوث الهواء الجوي مما يعكس الفروقات في ألية إدارة الرصد.

وعند الانتقال إلى البحث في مصادر المعلومات والاستناد إلى ما تقدمه المنصات العالمية الموثوقة والمهمة فإنها كانت تعرض بهذا التقييم.

جدول (3) تقييم عام لمصادر المعلومات المتاحة

مصدر المعلومات	نوع المعلومات	الوصول المجاني	مدى ملائمة المعلومات الواقع البيئي في ليبيا
NASA MERR- 2	التحليل الاسترجاعي (الإصدار الثاني)	نعم	عالية
CAMS	نماذج جوية / غلافية	نعم	عالية
Open AQ	نماذج تجميعية زمانية ومكانية	نعم	محدودة
IQ Air	الشبكة الهجينة	نعم	معتدلة

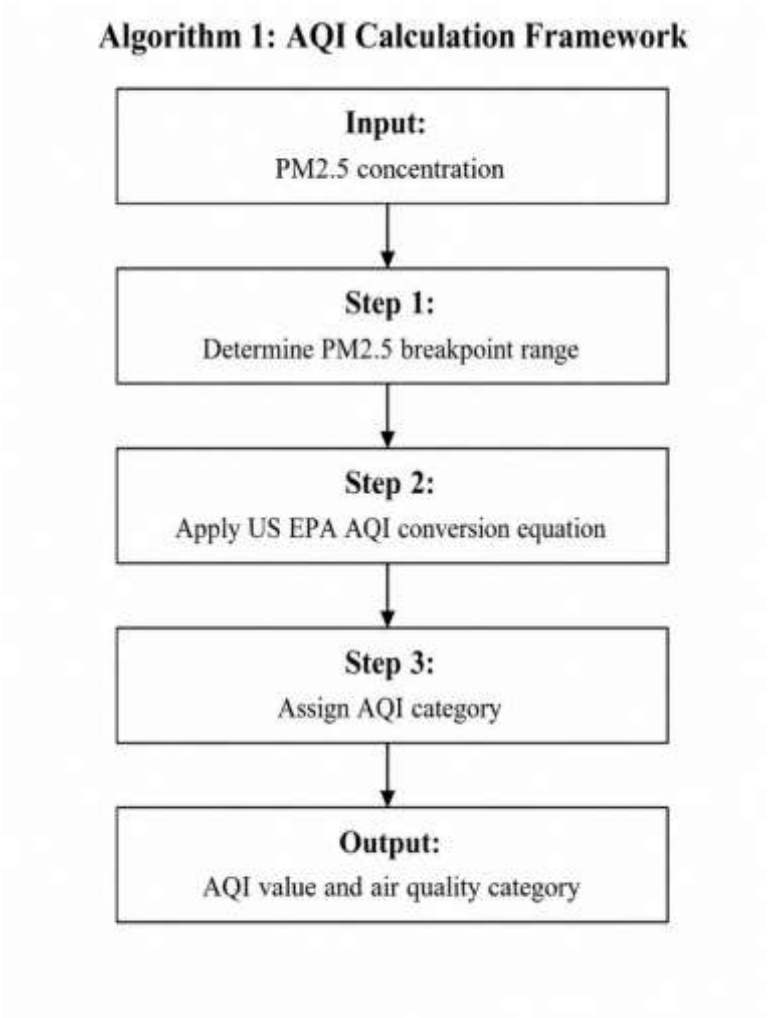
عند العمل لأجل البحث والوصول إلى معلومات تاريخية من هذه المصادر كانت النتائج كالآتي:

1. انعدام المعلومات على منصة (Open AQ) لمدينة الزاوية تحديدًا وليبيا بصفة عامة.
2. لم تعطي منصة (IQ Air) إلا معلومات خاصة بمدينة طرابلس فقط ولا توجد أي نتائج عند البحث عن مدينة الزاوية.
3. كل ملفات [CAMS] و[NASA] تعطي معلومات يومية فقط ولا يمكن الوصول إلى تاريخ بيانات شهري أو سنوي.

تقييم إمكانية استخدام خوارزمية الغابات الاستوائية Random Forest في تقدير مؤشر جودة الهواء.

في إطار استكشاف إمكانية توظيف تقنيات التعلم الآلي الدائم في دعم تقييم جودة الهواء اهتمت الدراسة بمحاولة تطوير كود يعتمد على خوارزمية الغابات العشوائية وباستخدام مجموعة من المتغيرات المتاحة مثل درجة الحرارة وسرعة الرياح والرطوبة والضغط الجوي.

ومن ثم ربط هذه المتغيرات بالنتائج الحسابية لمؤشر جودة الهواء وفق المعايير الأميركية، وقد كانت المحاولة كالآتي باختصار:



تمكن هذه النموذج من حساب [AQI] ولكن ليوم واحد فقط.

كانت هذه الخوارزمية هي أداة التقييم لإمكانية تقدير مؤشـــر جودة الهواء والتنبؤ في منطقة المصـــفاة (الزاوية) والتي من خلالها تم الكشــف عن الصـــعوبات التي تواجه بناء نماذج حاســوبية موثوقة في ظل شــح البيانات التاريخية.

الاستنتاجات:

1. أظهرت الدراسة وجود تفاوت في المعلومات المتاحة عن جودة الهواء بين المدن الساحلية محل الدراسة.
2. إن الحصـول على سـجلات تاريخيه منظمة ومفتوحة للاسـتخدام العام التي تخص مدينة الزاوية هو من الأمور الصعبة.
3. في المناطق التي تفتقر إلى شـبكات رصـد أرضـية فإن بيانات الأقمار الاصـطناعية المسـتخدمة في التحليل المناخي والنمذجة البيئية يوفر دعمًا للدراسات البيئية.
4. استخدام خوارزمية الغابات الاستوائية random forest في دعم التقييم البيئي يكون فعالًا بشرط توفر البيانات الجوية واستمراريتها.
5. التحدي الرئيسي يكمن في محدودية البيانات البيئية للمواطنين والباحثين وصناع القرار بصورة منظمة.

التوصيات:

1. التوسع التدريجي في شبكات الرصد بالمناطق الصناعية الساحلية ذات الحساسية البيئية المرتفعة. مثل (مصفاة الزاوية) خصوصًا بعد التقصي من مديرية الاصحاح البيئي (الزاوية) التي أوضحت أن آلية الرصد تشتغل عند الطلب أو الضرورة فقط وليس بشكل مستمر.
2. تعزيز التكامل بين البيانات المحلية والبيانات العالمية وتحديثها بشكل دوري على مستوى المدن والمناطق المختلفة.
3. التأكيد على مفهوم (عدالة البيانات البيئية) ضمن سياسات الإدارة البيئية ضمانا لحق الفرد في الوصول إلى معلومات موثوقة في المنطقة التي يعيش فيها.

المراجع:

1. Bedoui et al. (2016). A - prediction distribution of atmospheric pollutants using support vector machines and mapping tools (case study: Tunisia).
2. Mohamoud et' al. (2023), Forecalting Air Quality in Tripoli: An Evaluation of Deep learning Models for hourly PM 2.5 Surface Mass.
3. Alnnale, T. (2026). From Reactive to Proactive Governance: A Hybrid LSTM–Gradient Boosting Architecture for Real-Time Anomaly Signal Detection in Multi-Store Retail Supply Chain Decision Systems. *Al-Farooq Journal of Sciences*, *2*(1), 987-1005.
4. NASA (2026) Prediction of worldwide Energy resources (powel) Project: Methodology and data verification for atmospheric and solar parameters national aeronautics and space administration.
5. Breiman, L (2001) Random Forest. Machine Learning 45(1), 5-32.
6. U.S EPA. (2024) National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) For Particulate Matter. 40 CFR Part 50.
7. W.H.O Air Quality.