

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد
(الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

Monitoring and Observing Fire Maps Using Remote Sensing

(A Case Study of the Sanitary Landfill in Tikrit City)

م.د. سعد ثامر ابراهيم * Dr. Saad Thamer Ibrahim

Saad.t.brahim@tu.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1391-0617>

الجغرافية التطبيقية / خرائط ونظم معلومات جغرافية / جامعة تكريت – كلية الآداب / العراق

DOI:10.46315/1714-015-002-021

الإرسال: 2026/04/02 القبول: 2026/04/21 النشر: 2026/06/10

**

ملخص:

تهدف الدراسة إلى رصد ومراقبة خرائط الحرائق الناتجة عن الأنشطة البشرية وبالتحديد حرق النفايات في موقع الطمر الصحي بمدينة تكريت ضمن نطاق (حي شيشين) وللمدة 2025-11-1 الى 2025-12-01، واعتمدت الدراسة على بيانات برنامج Firms لرصد البؤر الحرارية وباستخدام القمر الصناعي (VIIRS) وبدقة (375 متر)، ومن ثم مراقبة تلوث الهواء بالغازات مثل (CO₂, SO₂, NO₂, HCHO) في منطقة الدراسة ولنفس المدة الزمنية، وتوصلت الدراسة إلى أن صور الأقمار الصناعية سجلت تلوثاً في موقع الحرق وبالتالي تأثيرها على منطقة الدراسة، وأن أعمدة الدخان امتدت نحو الأحياء السكنية القريبة بفعل حركة الرياح، وأن موقع الطمر يمثل نقطة ضعف بيئية قابلة لتكرار الحوادث ما لم تعالج، وتقترح الدراسة اعتماد نظام مراقبة مستمر باستخدام الاستشعار عن بعد، وتطوير إجراءات إدارة النفايات، وتحديد بروتوكول إنذار مبكر للتعامل مع أي نشاط حراري غير طبيعي داخل موقع الطمر الصحي.

كلمات مفتاحية: 1 خرائط الحرائق ؛ 2 الطمر الصحي ؛ 3 تلوث الهواء ؛ 4 الاستشعار عن بعد ؛ 5 الغازات.

Abstract:

The study aims to monitor and observe fire maps resulting from human activities, specifically waste burning at the sanitary landfill site in Tikrit City within the Shishin neighborhood, for the period from **1 November 2025 to 1 December 2025**. The study relied on **FIRMS** data for detecting thermal hotspots using the **VIIRS** satellite sensor with a spatial resolution of **375 meters**. Air pollution was also monitored through gases such as **CO₂, SO₂, NO₂, and HCHO** within the study area for the same time period.

The findings indicate that the satellite images recorded noticeable pollution at the burning site, which consequently affected the surrounding area. Smoke plumes extended toward nearby residential neighborhoods due to wind movements. The landfill site represents an environmental weak point prone to recurring incidents if left untreated. The study proposes adopting a continuous monitoring system using remote sensing, enhancing waste-management procedures, and establishing an early-warning protocol to deal with any abnormal thermal activity within the landfill site.

* - الباحث المرسل: Saad.t.brahim@tu.edu.iq

Keywords : Fire maps ; sanitary landfill, Remote sensing ; air pollution; gases.

**

*- مقدمة :

تعد الخرائط الموضوعية للحرائق من أهم الأدوات الجغرافية التي تُستخدم في رصد وتحديد التوزيع المكاني والزمني لحرائق الغطاء الأرضي، إذ تسهم في تحليل مناطق انتشارها وكتافتها، وتحديد الأنماط المكانية لحدوثها، مما يساعد في دعم عمليات المراقبة والإنذار المبكر وإدارة المخاطر البيئية (ابراهيم، 2025، ص400)، كما يرتبط تأثير حرائق الطمر الصحي بصورة مباشرة بخصائص الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض في المنطقة المحيطة، إذ يؤدي انخفاض الغطاء النباتي إلى تقليل قدرة السطح على امتصاص الملوثات والتخفيف من آثار الحرارة والدخان، في حين تسهم المساحات العارية أو المتدهورة نباتياً في زيادة تراكم الحرارة وارتفاع درجة حرارة سطح الأرض. وتوفر تقنيات الاستشعار عن بعد إمكانية تحليل هذا الارتباط من خلال مؤشرات الغطاء النباتي مثل مؤشر NDVI وخرائط درجة حرارة سطح الأرض LST ، الأمر الذي يساعد على فهم التغيرات البيئية الناتجة عن الحرائق، وتحديد مدى تأثير البيئة الحضرية والمناطق الزراعية المجاورة في مدينة تكريت (Ibrahim, Sheet , Muhammed, 2025, p.104)، وتتعامل مدينة تكريت مع تحديات بيئية تتعلق بإدارة النفايات في موقع الطمر الصحي في وادي شيشين، إذ شهدت المنطقة بتاريخ 4 نوفمبر 2025 حادثة حرق واسعة داخل موقع الطمر، ما أدى إلى انبعاث كميات كبيرة من الدخان والغازات وتلوث الهواء داخل المدينة والمناطق المجاورة، إذ يعكس هذا الحدث مشكلة مستمرة في إدارة الطمر الصحي، ويطرح أسئلة حول مستوى الرقابة، وآثار هذه الحرائق على البيئة وصحة السكان، ودور تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة مثل هذه الحوادث، إذ توفر صور الأقمار الصناعية فرصة لتحليل التغيرات الحرارية ورصد أعمدة الدخان وتحديد امتداد الحرق، مما يساعد على فهم طبيعة الحدث وتأثيره، وتعتمد هذه الدراسة على تحليل بيانات حرارية ومرئية للأقمار الصناعية لرصد حادثة الحرق وتقييم مدى خطورتها على البيئة الحضرية في مدينة تكريت، مع تقديم قراءة واضحة لطبيعة المشكلة وسبل الحد منها في المستقبل، كما وتهدف الدراسة إلى بناء فهم عملي لفعالية الاستشعار عن بعد في مراقبة إدارة النفايات وعرض صورة دقيقة لتأثير الحوادث البيئية على سكان المدينة.

مشكلة الدراسة:

تعاني مدينة تكريت من مخاطر بيئية ناتجة عن حرق الطمر الصحي في وادي شيشين، ويثير هذا الحادث تساؤلات حول أسباب الحرق، ومدى تأثيره المكاني والزمني وقدرة الجهات المسؤولة على

رصد ومتابعة مثل هذه الظواهر باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ومن خلال هذه المشكلة الرئيسية يمكن طرح التساؤلات الآتية:

- 1- ما مدى التغير الحراري والمكاني الذي أحدثه حرق الطمر الصحي بتاريخ 4 نوفمبر 2025 في موقع وادي شيشين ؟
- 2- ما حجم انتشار الدخان وتأثيره على مدينة تكريت خلال فترة الحرق؟
- 3- ما مدى قدرة بيانات الاستشعار عن بعد على كشف الحريق وتحديد امتداده الزمني والمكاني بدقة ؟

فرضية الدراسة :

- 1- أن الحرق احدث ارتفاعا واضحا في الإشعاع الحراري في موقع الطمر مقارنة بالأيام السابقة واللاحقة .
- 2- أن آثار الدخان امتدت باتجاه مركز المدينة تبعا لحركة الرياح وتؤثر على جودة الهواء في الأحياء القريبة .
- 3- أن للاستشعار عن بعد القدرة على توفير مؤشرات حرارية وبصرية واضحة تمكن من تحديد موقع الحرق وامتداده بدقة مقبولة .

أهداف الدراسة :

- 1- رصد ومراقبة مواقع الحرق ومراقبة حوادث حرق مواقع الطمر الصحي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد RS في منطقة الدراسة.
- 2- اعداد خرائط تفاعلية لمواقع الحراق في منطقة الدراسة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS.
- 3- تحليل تلوث الهواء بالغازات ($co_2, so_2, no_2, HCHO$) وتأثيره على البيئة الحضرية في مدينة تكريت.
- 4- تقديم مجموعة من المعالجات والحلول العلمية لحماية البيئة والسكان في منطقة الدراسة.

أهمية الدراسة :

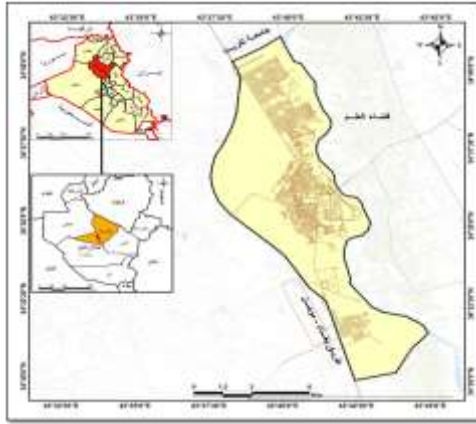
- 1- فهم أثر حرق النفايات في موقع الطمر الصحي على البيئة وتلوث الهواء وصحة السكان في مدينة تكريت
- 2- قدرة الاستشعار عن بعد على كشف الحوادث البيئية ومتابعتها بشكل موضوعي.
- 3- مساعدة المؤسسات المحلية في تطوير إجراءات الرقابة وإدارة النفايات وتقليل تكرار حوادث الحرق في المستقبل.

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

موقع منطقة الدراسة :

يمثل البعد المكاني للدراسة موقع مدينة تكريت داخل العراق وحدودها الإدارية المعتمدة من البلدية، كما يظهر في الخريطة (1)، أما موقعها الفلكي فيقع بين دائرتي العرض (34°34'42" – 34°40'12") شمالاً، وبين خطي الطول (43°37'52" – 43°43'11") شرقاً، مما يجعلها ضمن نطاق وسط العراق، ويتحدد نطاق الدراسة وفق تصميم الأساس للمدينة لعام 2010، حيث تمتد تكريت من وادي شيشين في الجنوب إلى جامعة تكريت في الشمال، ومن الطريق السريع غرباً إلى الضفة اليسرى لنهر دجلة شرقاً، وتنقسم المدينة إلى أربع عشرة وحدة بلدية، وتبلغ مساحتها الإجمالية نحو 4829 هكتار.

خريطة 1: موقع منطقة الدراسة بالنسبة للعراق ومحافظة صلاح الدين



المصدر : الاعتماد في إعداد البيانات على خريطة محافظة صلاح الدين لعام 2019 الصادرة عن وزارة التخطيط عبر الجهاز المركزي للإحصاء وقسم نظم المعلومات الجغرافية، إضافة إلى المخرجات التي وفرها برنامج ArcGIS.

2- منهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة على مجموعة من المناهج العلمية لتحقيق أهدافها، إذ تم استخدام المنهج الاستقرائي من خلال تحليل البيانات الجزئية الخاصة بالبور الحرارية وبيانات تلوث الهواء، ومن ثم تعميم النتائج للوصول إلى استنتاجات مكانية وبيئية تتعلق بظاهرة حرائق النفايات في موقع الطمر الصحي بمدينة تكريت. كما اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي المكاني من خلال تحليل التوزيع الجغرافي للبور الحرارية وارتباطها بموقع الطمر الصحي وتأثيرها في الأحياء السكنية المجاورة.

وفي الجانب التطبيقي اعتمدت الدراسة على المنهج التقني الجيومكاني باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، إذ تم الحصول على بيانات البور الحرارية من نظام FIRMS التابع لوكالة ناسا، اعتماداً على بيانات القمر الصناعي VIIRS بدقة مكانية تبلغ (375 متر) لرصد مواقع الحرائق خلال المدة من 2025-11-1 إلى 2025-12-1. كما تم استخدام

بيانات الأقمار الصناعية الخاصة برصد تلوث الهواء لمتابعة تراكيز الغازات الملوثة مثل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ، وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ، وثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) ، وغاز الفورمالدهيد (HCHO) في منطقة الدراسة خلال المدة نفسها.

وتتم معالجة البيانات وتحليلها باستخدام برمجيات Google Earth Engine و ArcGIS لإنتاج الخرائط الموضوعية التي توضح مواقع البؤر الحرارية واتجاه انتشار أعمدة الدخان وتأثيرها في البيئة الحضرية المحيطة، فضلاً عن تحليل العلاقة بين موقع الطمر الصحي وتكرار نشاط الحرائق فيه، بما يساهم في تقييم المخاطر البيئية واقتراح آليات للمراقبة المبكرة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد.

خطوات العمل المنهجي :

بدأت الدراسة بتحديد موقع الطمر الصحي في مدينة تكريت ضمن نطاق حي شيشين وتحديد حدوده المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وبعد ذلك تم تحميل بيانات البؤر الحرارية الخاصة بالقمر الصناعي VIIRS من نظام FIRMS خلال المدة الزمنية المحددة للدراسة، ومن ثم إدخالها إلى بيئة نظم المعلومات الجغرافية وتحويلها إلى طبقات مكانية قابلة للتحليل.

في المرحلة التالية تم تحليل التوزيع المكاني للبؤر الحرارية وتحديد أماكن تركيزها داخل موقع الطمر الصحي، مع مقارنة مواقعها بالصور الفضائية للتأكد من ارتباطها بعمليات حرق النفايات. كما تم تحليل بيانات تلوث الهواء المتعلقة بالغازات الرئيسية بهدف تحديد مستويات التلوث الجوي في منطقة الدراسة خلال فترة الرصد.

بعد ذلك تم إنتاج مجموعة من الخرائط الموضوعية التي توضح مواقع الحرائق واتجاه انتشار أعمدة الدخان نحو المناطق السكنية المجاورة، مع تحليل العلاقة بين نشاط الحرق واتجاهات الرياح وتأثيرها في انتشار الملوثات الهوائية.

وأخيراً تم تفسير النتائج وربطها بالواقع البيئي لمنطقة الدراسة بهدف تقييم خطورة موقع الطمر الصحي كمصدر محتمل للتلوث، واقتراح آليات للمراقبة المستمرة تعتمد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية للكشف المبكر عن أي نشاط حراري غير طبيعي داخل موقع الطمر الصحي.

3- النتائج ومناقشتها:

طرائق العمل :

1- تجميع البيانات

- تحميل بيانات البؤر الحرارية (Active Fire / Thermal Anomalies) من خدمة NASA FIRMS بصيغ CSV أو SHP لنطاق زمني يغطي المدة (2025-11-1) الى (12-1-2025).

• [firms.modaps.eosdis.nasa.gov+1](https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov)

2- معالجة مكانية وزمنية

- إسقاط البيانات إلى نظام الإحداثيات المستخدم في البحث.
- تجميع نقاط البؤر حسب الساعة واليوم، ثم تم إنشاء مؤشرات زمنية (time series) لعدد البؤر و SUM(FRP) يوميا.

3- ربط بيانات الحرائق بخرائط الأرض والموقع

- تراكب نقاط FIRMS مع خريطة حدود البلدية وموقع الطمر في وادي شيشين.
- حساب المسافات من بؤرة الحرق إلى الأحياء السكنية.

4- تحليل امتداد الدخان وانتشار الملوثات

- اعداد خرائط تلوث الهواء بالغازات (CO_2 , SO_2 , NO_2 , HCHO) من خلال الاعتماد على بيانات القمر الصناعي (sentinel-p5) لعرض تلوث الهواء في منطقة الدراسة بصريا .

5- قياس شدة الحريق باستخدام FRP

- استخدم حقل Fire Radiative Power (FRP) كمؤشر لكمية الطاقة المصدرة من البؤرة والتقدير التقريبي لاحتراق مادة. قارن FRP بين الأيام وقرب موقع الطمر .

[lpdaac.usgs.gov+1](https://lpdaac.usgs.gov)

6- التحقق الميداني والدقة

- تم التقاط صور لتأكيد حجم التلوث في الموقع، بتاريخ 2025-11-6.

7- برنامج FIRMS :

هو نظام رصد حرائق عالمي طورته وكالة ناسا ويعتمد على بيانات الأقمار الصناعية لتحديد البؤر الحرارية والنشاط الحراري على سطح الأرض بشكل لحظي أو شبه لحظي، ويهدف إلى توفير معلومات دقيقة ومستمرة حول مواقع الحرائق النشطة في جميع أنحاء العالم، وتكمن أهمية البرنامج داخل المدن في قدرته على الكشف المبكر للحرائق الصناعية أو النفايات أو المناطق الحضرية القريبة من مواقع الطمر، ما يتيح للسلطات اتخاذ إجراءات سريعة للحد من انتشار الدخان والتلوث والحفاظ على صحة السكان، وتعتمد آلية عمل البرنامج على تحليل البيانات

الطيفية الحرارية الملتقطة بواسطة أقمار MODIS وVIIRS، حيث يقارن البرنامج إشعاع البكسل في نطاق الأشعة تحت الحمراء متوسطة الموجة مع إشعاع الخلفية المحيطة لتحديد بؤرة حرارية غير طبيعية، وبعد ذلك يتم حساب Fire Radiative Power لكل بؤرة حرارية لتقدير شدة الحريق كما يعطي البرنامج مستوى الثقة في اكتشاف البؤرة الحرارية، ويصدر البيانات في صيغة ملفات قابلة للاستخدام في نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خرائط زمنية ومكانية دقيقة للحرائق داخل المدينة وخارجها، مما يدعم التخطيط الحضري وإدارة الطوارئ البيئية. (Giglio et al., 2016)

إذ تم رصد حالة حرق في وادي شيشين بتاريخ (4 - نوفمبر 2025)، وأدى الحريق إلى تصاعد الدخان وانتشار ملوثات مثل ثاني أكسيد الكربون CO₂ وثاني أكسيد الكبريت SO₂ داخل المدينة، والشكل ادناه يوضح ذلك.

الشكل 1 : موقع الحريق بتاريخ 4-11-2025



VIIRS / NOAA-21 [375m]											
☐ UTC ☒ Local Time GMT+0300 (Arabian Standard Time)											
LATITUDE	LONGITUDE	BRIGHT_T14	SCAN	TRACK	ACQUIRE_TIME	SATELLITE	INSTRUMENT	CONFIDENCE	VERSION	BRIGHT_T15	FRP
34.57711	43.65546	321.34	0.48	0.64	2025-11-05 02:45:00	N21	VIIRS	n	2.0NRT	281.89	2.6 N
FILTER BY: nothing All fields All dates											

المصدر : firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map

الجدول 1: بيانات رصد حراري من (VIIRS / NOAA-21) وبدقة 375 متر في منطقة الدراسة

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

خط العرض	خط الطول	السطوع TI4	زاوية المسح	زاوية التتبع	وقت الالتقاط	القمر	المستشعر
34.577	43.655	321.34	0.48	0.64	2025-11-05	N	VIIRS
11	46				02:45:00	21	

المصدر : firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map

يتبين من خلال تحليل الجدول (1) إذ تشير بيانات الاستشعار الحراري الصادرة عن مستشعر VIIRS على القمر الصناعي NOAA-21 إلى تسجيل نقطة حرارية في وادي شيشين خلال ساعات الليل من يوم 5 تشرين الثاني 2025، وقد أظهرت القيم المسجلة لسطوع الإشعاع الحراري في القناتين TI4 و TI5 ارتفاعاً نسبياً، وهو ما يعكس وجود مصدر حراري محدود داخل منطقة الرصد.

وتبلغ القدرة الإشعاعية المقدرة للنقطة $FRP = 2.6$ ميغاواط، وهي قيمة تصنف عادة ضمن نطاق الحرائق الصغيرة، ولا تشير إلى اشتعال واسع أو انتشار حراري كبير، كما صنف النظام مستوى الثقة في الرصد بأنه منخفض (n)، مما يعني أن الاستشعار التلقائي قد التقط حرارة ذات كثافة قليلة، يحتمل أن تكون ناجمة عن حرق نفايات خفيف ضمن موقع الطمر الصحي.

وبالنظر إلى أن النقطة تقع داخل موقع الطمر الصحي في وادي شيشين فإن التفسير الأكثر احتمالاً هو أنها ناتجة عن نشاط حراري منخفض الشدة مرتبط بانبعاثات أو تفاعلات داخل الخلايا الردمية، أو حرق نفايات محدود قد يحدث بشكل متكرر في هذه البيئات.

8- اعداد خريطة تفاعلية للحريق بتاريخ بتاريخ 4-11-2025 :

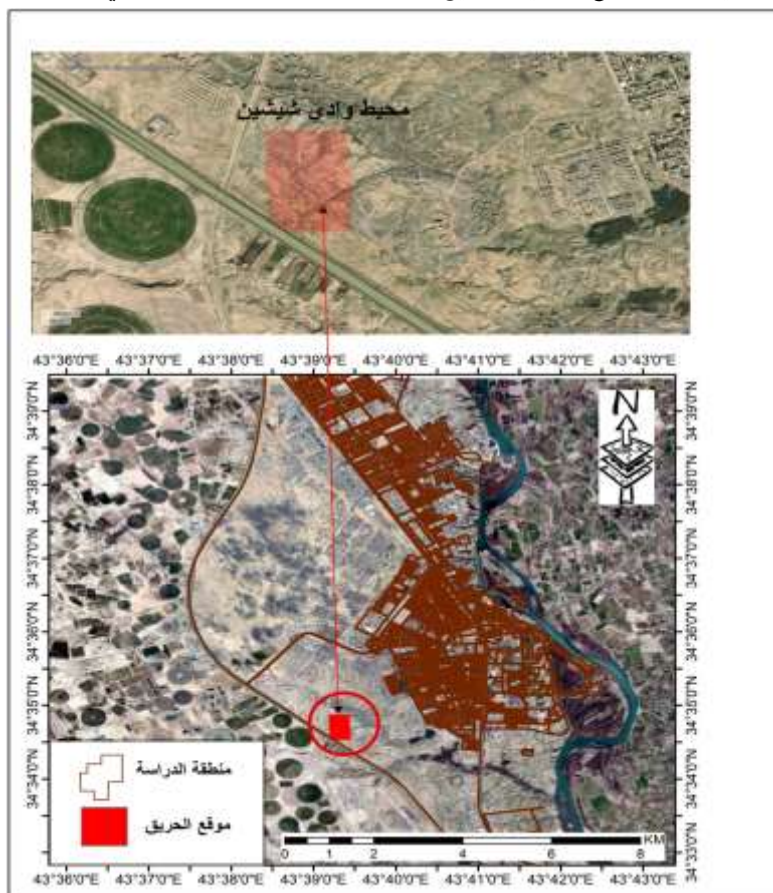
تعد الخريطة التفاعلية للحريق من موقع FIRMS أداة تساعد في متابعة مواقع الحرائق النشطة لحظة بلحظة، وتعتمد على بيانات الأقمار الصناعية مثل MODIS و VIIRS التي ترصد نقاط الحرارة العالية على سطح الأرض، وعندما يتم إنشاء خريطة تفاعلية نقوم بتحديد منطقة الدراسة داخل المنصة ثم تحديد نوع القمر مثل القمر الصناعي VIIRS الذي يوفر دقة تصل إلى ثلاثمائة وخمسة وسبعين متر، وتعتمد المنصة على معالجة تلقائية لبيانات الأشعة تحت الحمراء لحساب درجة حرارة البكسل ومقارنتها بالقيم الطبيعية في المنطقة، وعندما تتجاوز القيمة حداً معيناً يصنف النظام الموقع كنقطة حريق، وبعد ذلك تنقل المنصة البيانات إلى الخريطة التفاعلية مع خصائص كل نقطة مثل التاريخ والوقت والقمر الصناعي ومستوى الثقة، واختيار الفترة الزمنية مهم لأن النظام يحدث بياناته باستمرار.

ويمكن استخدام الرابط والكود أدناه لتعرف على موقع الحريق بتاريخ 4-11-2025 :



https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2025-11-04;l:fires_all,country-outline,protected_areas,firefly;@43.683,34.599,12.612z

الخريطة 2 : موقع الحريق بتاريخ 4-11-2025 ضمن محيط وادي شيشين



المصدر : firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/

يتضح من خلال التحليل البصري لخريطة توزيع مواقع الحرق في الطمر الصحي لمدينة تكريت ضمن نطاق حي شيشين، وتوضح العلاقة المكانية بين موقع البؤرة الحرارية والبيئة الحضرية المحيطة، إذ يتبين من المشهد الفضائي العلوي أن منطقة وادي شيشين تقع بمحاذاة طريق واسع ومناطق زراعية تعتمد على الري المحوري، ما يجعل المنطقة حساسة للأنشطة الحرارية بسبب طبيعتها الجافة وتجمع المواد القابلة للاشتعال في موقع الطمر، وتوضح الخريطة دقة موقع الحريق داخل نطاق المدينة، حيث يبرز موقع البؤرة الحرارية باللون الأحمر داخل دائرة توضح الامتداد المباشر والتأثير المحتمل للحادث، ويلاحظ أن المنطقة الحضرية الممتدة نحو الشمال الشرقي للمدينة تقع على مسافة قريبة من موقع الحرق، مما يعزز احتمالية انتقال الدخان نحو الأحياء السكنية، خصوصاً مع افتقار الموقع لحواجز طبيعية يمكن أن تحد من حركة الملوثات. وأن موقع الحريق يقع في الجزء الجنوبي الغربي من تكريت وهو الاتجاه الذي غالباً ما يكون تحت تأثير الرياح الشمالية والشمالية الغربية السائدة في هذا الوقت من السنة مما يؤدي إلى دفع أعمدة الدخان باتجاه مركز المدينة كما توضح الإشارة الخطية الممتدة من موقع الحرق، ويوضح التوزيع المكاني للمناطق الحضرية أن عدة أحياء سكنية تقع مباشرة ضمن مسار الحركة المحتملة للدخان مما يزيد من مستوى التعرض للتلوث.

ومن خلال مقارنة الصورة الفضائية مع حدود منطقة الدراسة يتضح أن الطمر الصحي يشكل نقطة حساسة عند أطراف المدينة ما يجعل أي نشاط حراري داخله ذا أثر مباشر على المحيط الحضري، كما يلاحظ أن الموقع يخلو من بنى حماية بيئية تمنع انتشار الحريق أو تحد من انتشاره، إذ يبدو محاطاً بمساحات مفتوحة جافة قد تزيد من احتمالات اشتداد الحريق أو تجدد نشاطه، وتؤكد الخريطة كذلك أن موقع الطمر قريب من مسارات النقل الرئيسية، ما يجعل الحادث مرئياً ومؤثراً على الحركة العامة في المدينة.

ويعزز التمثيل الخرائطي فكرة أن الاستشعار عن بعد قادر على تحديد الإحداثيات بدقة ورصد مواقع الحرائق حتى في المناطق المفتوحة، ويتيح تتبع التغيرات المكانية والزمانية للحادث، خصوصاً عندما تدمج هذه البيانات مع معلومات الرياح وجودة الهواء، مما يوفر قراءة بيئية متكاملة، ويعكس التصميم cartographic للخريطة قدرة نظم المعلومات الجغرافية على إبراز العلاقات المكانية وإظهار مستوى التداخل بين البيئة الطبيعية والبيئة الحضرية، وتحديد مناطق الخطر وتوضيح الامتداد المحتمل للمخاطر البيئية نحو السكان.

9- حساب المسافة من بؤرة الحرق الى اقرب تجمع سكاني ضمن منطقة الدراسة:



يتبين من تحليل الشكل أن أقرب تجمع سكاني إلى موقع الحرق يقع على مسافة 1.50 كم، وهذه المسافة تشير إلى أن مصدر الحرق قريب من حدود التأثير على المدينة، وكلما قلت المسافة بين نقطة الحرق والتجمعات السكنية زادت احتمالية انتقال الدخان والغازات الملوثة نحو المدينة، وأن قرب المسافة يجعل أي نشاط حراري حتى لو كان ضعيف قابلاً للتأثير على الأطراف القريبة من المدينة، بينما يتراجع تأثيره كلما ابتعد عن مراكز الكثافة السكانية.

بلغت نسبة درجة السطوع الحراري مرتفعة نسبياً في قناتي T14 و T15 وهذا يعزز وجود نشاط حراري فعلي حتى لو كان محدوداً FRP يساوي 2.6 ميغاواط وهو دليل على حريق صغير أو نشاط حراري ضعيف.

10 - رصد ومراقبة تلوث الهواء بالغازات في منطقة الدراسة باستخدام الاستشعار عن بعد :

يعد الاستشعار عن بعد أحد أهم الأدوات الحديثة في مراقبة تلوث الهواء، إذ يوفر بيانات مكانية وزمانية دقيقة حول تراكيز الغازات الملوثة دون الحاجة لمحطات رصد أرضية كثيرة، وتعتمد الأقمار الصناعية مثل Sentinel-5P (TROPOMI) و MODIS على قياس الانعكاسات الطيفية للأعمدة الغازية في الغلاف الجوي، مما يسمح برصد غازات مثل CO ، SO_2 ، NO_2 ، HCHO بشكل يومي وبدقة مكانية جيدة.

وتساهم هذه البيانات في تحديد أماكن الانبعاث ومراقبة تطور التلوث خلال فترات قصيرة، إضافة إلى الكشف عن مصادره الطبيعية والبشرية مثل حرائق الغطاء النباتي، الحركة المرورية، الأنشطة الصناعية، وحرق النفايات، ويمكن هذه التقنية من تحليل التغيرات الزمنية للملوثات وربطها بالأحداث البيئية، مثل الحرائق الخفيفة التي تظهر عادة بارتفاع تركيز كل من CO و HCHO نتيجة الاحتراق غير الكامل، وتم دراسة أهم ملوثات الهواء وكالاتي :

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

غاز أول أكسيد الكربون (CO) :

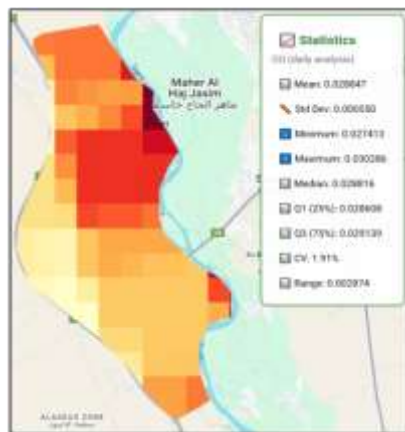
يعد CO أحد أهم نواتج الاحتراق غير الكامل، ويكون مرتفعاً جداً في الحرائق الخفيفة بسبب انخفاض أكسجة عملية الاحتراق، لذلك يعد CO أفضل مؤشر على وجود احتراق بطيء أو مكبوت (Smoldering fire) وان ارتفاع قيم CO بشكل متزامن مع ارتفاع HCHO يدل على حرائق نباتية خفيفة ذات درجة حرارة منخفضة (Ward, D. E., & Hardy, C. C., 1991)، والجدول (2) والنماذج توضح ذلك .

الجدول 2: نسبة التلوث بغاز CO في منطقة الدراسة

تاريخ الرصد	المتوسط	الانحراف المعياري	أعلى قيمة	أقل قيمة	الوسيط	معامل الاختلاف	المدى
(2025-11-4 الى 2025-11-6)	0.028	0.0005	0.030	0.0	0.028	%1.91	0.0 02
(2025-11-7 الى 2025-11-9)	0.028	0.0003	0.029	0.0	0.028	%1.37	0.0 01
(2025-11-10 الى 2025-11-15)	0.030	0.0009	0.032	0.0	0.030	%3.17	0.0 04
(2025-11-16 الى 2025-11-20)	0.029	0.0002	0.029	0.0	0.029	%0.97	0.0 01
(2025-11-21 الى 2025-11-25)	0.028	0.0001	0.028	0.0	0.028	%0.54	0.0 008

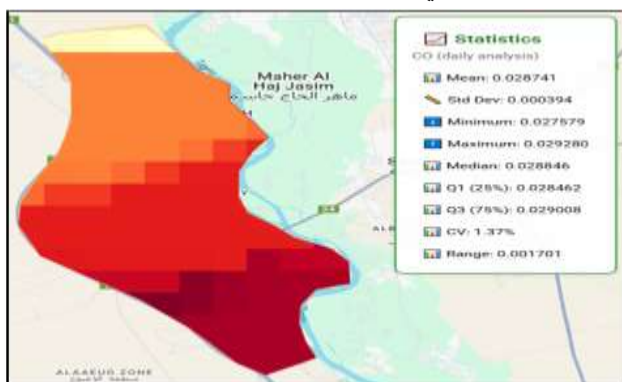
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

نموذج 1: نسبة التلوث بغاز CO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-4 الى 2025-11-6)



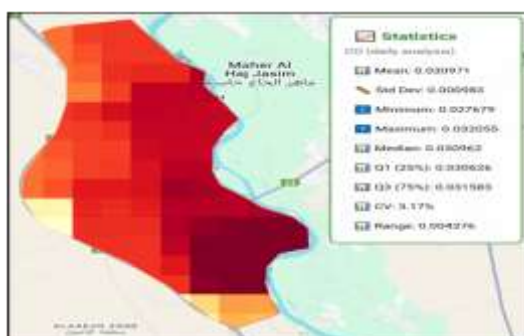
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

نموذج 2: نسبة التلوث بغاز CO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-7 الى 2025-11-9)



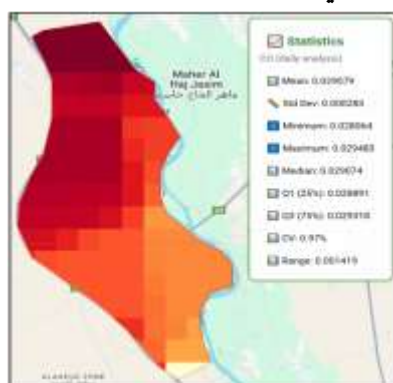
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

نموذج 3: نسبة التلوث بغاز CO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-10 الى 2025-11-15)
 (2025)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

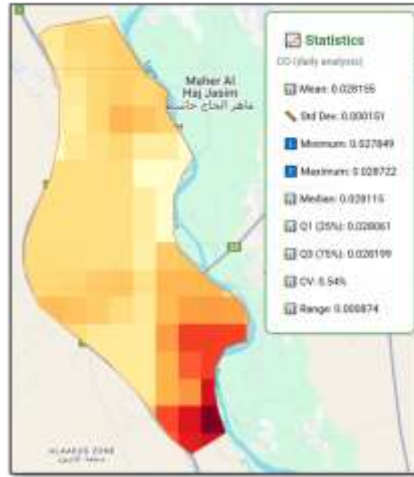
نموذج 4: نسبة التلوث بغاز CO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-16 الى 2025-11-20)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

نموذج 5: نسبة التلوث بغاز CO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-21 الى 2025-11-25)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

يتبين من الجدول (2) والنماذج (1،2،3،4،5) الخاصة ببيانات تلوث الهواء بغاز أول أكسيد الكربون CO في منطقة الدراسة إلى وجود تغيرات مكانية وزمانية ارتبطت بوضوح بفترة حدوث الحريق المسجل في موقع الطمر الصحي بوادي شيشين بتاريخ 4 تشرين الثاني 2025، إذ تظهر المدة الممتدة من 4-6 تشرين الثاني ارتفاعا نسبيا في المتوسط بلغ 0.028847 مقارنة بالقيم اللاحقة، مع انحراف معياري أكبر من الفترات المجاورة بلغ 0.000550، وهو ما يعكس اضطرابا في تركيزات الغاز ناتجا عن بداية الحريق وعدم استقرار الانبعاثات خلال تلك الفترة، و أن أعلى قيمة بلغت 0.030 وأقل قيمة 0.027 ومدى مقداره 0.002 وتشير جميعها إلى وجود تذبذب حراري وكيميائي ناتج عن تغير شدة الحرق وطبيعة المواد المشتعلة، ويعزز ذلك معامل الاختلاف البالغ 1.91%، والذي يمثل مستوى تشتت أعلى نسبيا عن الفترات اللاحقة، ما يدل على أن بداية الحريق كانت في مرحلة ذروة انبعاثات وعدم تجانس مكاني واضح.

أما الفترة الممتدة من 7-9 تشرين الثاني فقد أظهرت انخفاضا طفيفا في المتوسط إلى 0.028741 مع تراجع الانحراف المعياري إلى 0.000349، ما يشير إلى بدء استقرار نسبي في تركيزات الغاز مع تضائل شدة الانبعاثات مقارنة بأيام الحريق المباشرة، ويأتي معامل الاختلاف البالغ 1.37% ليؤكد أن التذبذب أصبح أقل، وأن التداخل بين حركة الرياح وتوزيع الدخان بدأ يتراجع تدريجيا، ومع ذلك فإن استمرار وجود أعلى قيمة عند 0.029 يعكس بقاء أثر الحريق حاضرا في الجو وإن كان بمستوى أقل.

وتعد الفترة 10-15 تشرين الثاني هي الأعلى من حيث تركيزات الغاز خلال كامل المدة، إذ يرتفع المتوسط إلى 0.030971 وهو أعلى معدل مسجل مع أكبر انحراف معياري مقداره 0.000983 ومدى يبلغ 0.004، مما يشير إلى حدوث زيادة جديدة في انبعاثات الغاز أو نشاط حراري متجدد

داخل موقع الطمر الصحي، وقد يكون هذا الارتفاع مرتبطا بإعادة اشتعال مواد غير مكتملة الاحتراق أو انتشار الدخان بفعل تغيرات الرياح، كما يسجل معامل الاختلاف أعلى قيمة له خلال المدة ككل (3.17%) وهو دليل واضح على أن المنطقة خلال هذه الأيام شهدت أكبر حالة عدم انتظام في تركيز التلوث، مما يعكس وجود تباين كبير بين ساعات اليوم وأيام الفترة نفسها. وخلال المدة 16-20 تشرين الثاني يظهر انخفاض ملحوظ في المتوسط إلى 0.029079 مع تراجع الانحراف المعياري إلى 0.000283 ومعامل الاختلاف إلى 0.97% وهي قيم تشير إلى أن المنطقة دخلت مرحلة استقرار بيئي نسبي بعد تراجع تأثيرات الحريق، كما أن المدى البالغ 0.001 يدل على أن تركيزات الغاز أصبحت أكثر تجانسا، وأن أي أثر ناتج عن الدخان أصبح ضعيفا أو محدود النطاق.

أما الفترة الأخيرة من 21-25 تشرين الثاني فتظهر أقل مستوى للتلوث خلال شهر الدراسة، إذ ينخفض المتوسط إلى 0.028155 وينخفض الانحراف المعياري إلى 0.000151، وهو الأدنى بين جميع الفترات، مما يعكس حالة هدوء شبه كامل في تركيزات الغاز وتلاشي آثار الحريق، كما أن معامل الاختلاف البالغ 0.54% يمثل أدنى قيمة ما يدل على تجانس شبه تام في تركيز CO، وأن الانبعاثات عادت إلى مستوياتها الطبيعية، ويشير المدى البالغ 0.0008 إلى أن التغيرات اليومية أصبحت محدودة جدا وغير ذات تأثير بيئي واضح.

وبشكل عام تؤكد السلسلة الزمنية للبيانات أن يوم الحريق وما تلاه مباشرة يمثلان فترة ارتفاع غير طبيعي في تركيزات CO، وأن المنطقة شهدت مرحلة اضطراب ثانية في منتصف الشهر بسبب تجدد النشاط الحراري أو تغيرات الرياح، قبل أن تعود إلى حالة الاستقرار التدريجي، وتدل القيم الإحصائية على أن الاستشعار عن بعد قادر على رصد هذه المتغيرات بدقة، وأن التغيرات المسجلة ترتبط زمنيا ومكانيا مع موقع الحريق المسجل في الطمر الصحي لمدينة تكريت.

غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO₂):

ينتج SO₂ في الحرائق عندما تحتوي المواد المحترقة على مركبات كبريتية مثل بعض أنواع الوقود الأحفوري أو المخلفات الصناعية أو التربة التي تحتوي على كبريت، وفي الحرائق الخفيفة يظهر SO₂ غالبا بمستويات منخفضة لكنه يرتفع إذا كانت المواد المحترقة غنية بالكبريت، ووجوده يشير غالبا إلى احتراق نفايات أو مواد صناعية (Smith, S. J., van Aardenne, J., Klimont, Z., Andres, R. J., Volke, A., & Delgado Arias, S., 2011)، والجدول (3) والنماذج ادناه توضح ذلك.

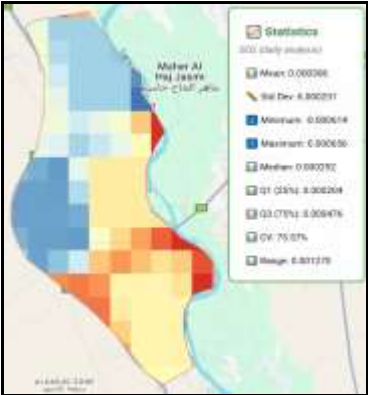
رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

الجدول 3: نسبة التلوث بغازSO2 في منطقة الدراسة

المدى	معامل الاختلاف	الوسيط	اقل قيمة	اعلى قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط	تاريخ الرصد
0.001	75.5 %	0.0002	0.00006	0.0006	0.000231	0.000306	(2025-11-4 الى 2025-11-6)
0.0007	112.5 %	0.0001	0.00005	0.0002	0.000248	0.000220	(2025-11-7 الى 2025-11-9)
0.0006	84.4 %	0.0001	0.00001	0.0004	0.000126	0.000149	(2025-11-10 الى 2025-11-15)
0.0009	90.9 %	0.0002	0.00002	0.0007	0.000247	0.000272	(2025-11-16 الى 2025-11-20)
0.0016	122.4 %	0.0003	0.00006	0.0010	0.000448	0.000366	(2025-11-21 الى 2025-11-25)

المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

النموذج 6 : نسبة التلوث بغازSO2 في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-4 الى 2025-11-6)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

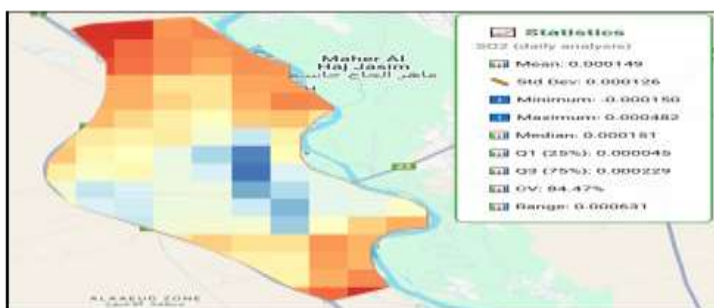
النموذج 7 : نسبة التلوث بغازSO2 في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-7 الى 2025-11-9)

(2025



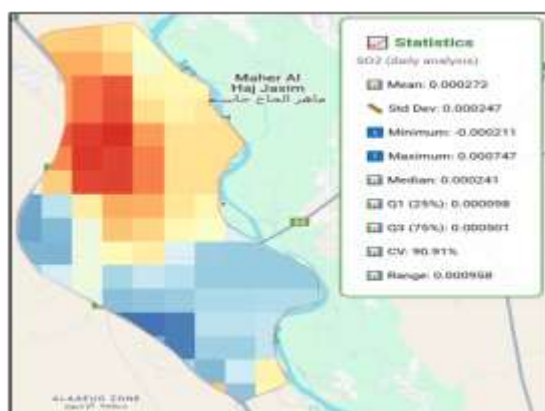
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

النموذج 8 : نسبة التلوث بغاز SO₂ في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-10 الى 2025-11-15 -
 (2025



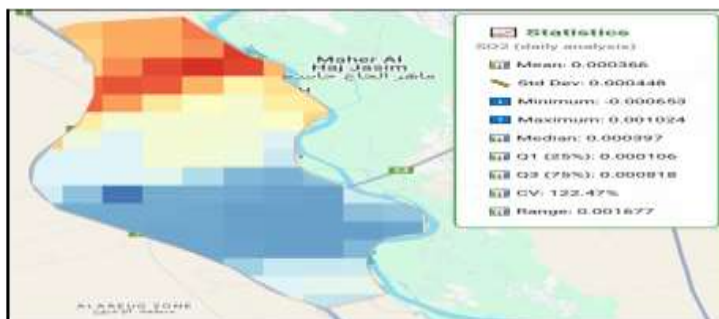
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 9 : نسبة التلوث بغاز SO₂ في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-16 الى 2025-11-20 -
 (2025



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 10 : نسبة التلوث بغاز SO₂ في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-21 الى 2025-11-25 -
 (2025



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

يتبين من الجدول (3) والنماذج (6،7،8،9،10) الخاصة بتركيز غاز SO_2 خلال فترة الدراسة وجود تذبذب واضح وارتفاعات غير مستقرة تعزى إلى نشاط الحريق المسجل في موقع الطمر الصحي لمدينة تكريت، إذ تعكس فترة 4-6 تشرين الثاني، وهي الأيام الأولى للحريق متوسطا مقداره 0.000306 وانحرافا معياريا مرتفعا نسبيا بلغ 0.000231، ما يشير إلى أن المنطقة شهدت انبعاثات غير منتظمة من هذا الغاز، وهي سمة متوقعة عند احتراق نفايات تحتوي على مركبات كبريتية، كما يكشف المدى البالغ 0.001 ومعامل الاختلاف المرتفع جدًا (75.57%) عن حالة تذبذب كبيرة في تركيز الغاز، ما يؤكد عدم استقرار الانبعاثات خلال الأيام الأولى من الحادث واتساع نطاق تأثير الدخان بشكل متقطع وفق تغير الرياح.

وفي فترة 7-9 تشرين الثاني سجل SO_2 متوسطا أقل مقداره 0.000220، إلا أن الانحراف المعياري يرتفع إلى 0.000248 مصحوبا بأعلى نسبة معامل اختلاف ضمن المدة البالغة 112.5%، وهي نسبة شديدة الارتفاع تدل على أن المنطقة شهدت تفاوتات حادا في تراكيز الغاز رغم انخفاض المتوسط العام، ويفسر هذا التباين بأن الدخان في تلك الأيام كان يتجه نحو مناطق مختلفة على نحو متقطع، ما أدى إلى تفاوت مكاني وزماني كبير، كما أن أعلى قيمة (0.0005) وأقل قيمة (0.0001) تدلان على وجود فترات قصيرة ارتفع فيها التلوث بشكل ملحوظ ثم انخفض سريعا، وهو نمط يشير إلى أن الحريق كان مستمرا ولكن بتقلب في شدة الاشتعال.

أما الفترة 10-15 تشرين الثاني فتشهد انخفاضا إضافيا في المتوسط إلى 0.000149 مع انحراف معياري 0.000126 ومعامل اختلاف 84.4%، ما يشير إلى بقاء التذبذب موجودا لكن ضمن مستوى أقل من الفترة السابقة، ويبدو أن آثار الحريق بدأت تتراجع تدريجيا، إلا أن المدى (0.0006) يكشف استمرار وجود ارتفاعات مفاجئة لتراكيز الغاز، ربما مرتبطة بإعادة اشتعال جيوب من النفايات أو تغير مفاجئ في اتجاه الرياح أدى إلى نقل الدخان بشكل متقطع نحو منطقة الدراسة.

وتعود التراكيز للارتفاع نسبيا خلال الفترة 16-20 تشرين الثاني، إذ يسجل المتوسط 0.000272 مع انحراف معياري كبير بلغ 0.000247 ومعامل اختلاف 90.9%، مما يدل على أن المنطقة شهدت موجة جديدة من عدم الانتظام في انبعاثات SO_2 ويشير ارتفاع أعلى قيمة إلى 0.0007 مقارنة بالفترات السابقة إلى احتمال حدوث نشاط حراري متجدد داخل الطمر، أو تعرض المنطقة لتيارات هوائية حملت كميات جديدة من الغازات الكبريتية، كما أن المدى البالغ 0.0009 يعزز فكرة استمرار التأثير البيئي للحريق حتى منتصف الشهر وإن تراجعت شدته الظاهرية.

أما في الفترة الأخيرة 21-25 تشرين الثاني فتظهر أعلى مستويات عدم الاستقرار خلال شهر الدراسة، إذ يرتفع المتوسط إلى 0.000366 وهو أعلى متوسط مسجل، ويرتفع الانحراف المعياري

بشكل كبير إلى 0.000448، بينما يصل معامل الاختلاف إلى 122.4% وهو الأعلى بين جميع الفترات، مما يعكس حالة اضطراب كاملة في التلوث الكبريتي، كما يكشف المدى البالغ 0.0016 عن أكبر فجوة بين أعلى وأدنى قيمة، مما يدل على حدوث تقلبات شديدة في تركيز الغاز ربما بفعل تغيرات الرياح أو ازدياد حساسية المنطقة بعد تراكمات سابقة، ويشير ذلك إلى أن آثار الحريق لم تتلاش تماما، وأن البيئة الحضرية بقيت معرضة لاندفاعات متقطعة من الهواء الملوث حتى نهاية المدة الزمنية.

وبصورة عامة تكشف السلسلة الزمنية الخاصة بغاز SO₂ عن أن منطقة الدراسة تأثرت بشكل مباشر ومستمر، ليس فقط خلال الأيام الأولى للحريق بل أيضا عبر تذبذبات لاحقة مرتبطة بطبيعة المواد المحترقة وتغيرات حركة الرياح واستمرارية الاشتعال داخل موقع الطمر، وتدل المستويات العالية لمعاملات الاختلاف والانحرافات المعيارية على أن انبعاثات هذا الغاز لم تكن ثابتة، وأن الاستشعار عن بعد كشف بدقة عن سلوك غير منتظم لتلوث الهواء استمر حتى ما بعد الحادث، ما يؤكد أن موقع الطمر يمثل نقطة ضعف بيئية تتطلب مراقبة مستمرة.

غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO₂) :

ينبعث NO₂ من عمليات الاحتراق عند درجات حرارة متوسطة إلى عالية. في الحرائق الخفيفة، تكون نسبة NO₂ أقل مقارنةً بالحرائق الشديدة، لكنها تظهر عادةً بالقرب من مصادر احتراق الهيدروكربونات أو عندما تحتوي المادة المحترقة على نيتروجين. ارتفاع NO₂ قرب موقع حريق خفيف يدل على وجود احتراق غير كامل ومسار أكسدة جزئي للغازات النيتروجينية Andreae, M. (2001, O., & Merlet, P. (2001)، والجدول (4) والنماذج ادناه توضح ذلك .

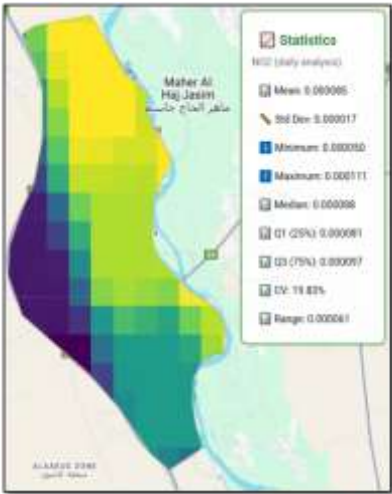
الجدول 4: نسبة التلوث بغاز NO₂ في منطقة الدراسة

تاريخ الرصد	المتوسط	الانحراف المعياري	أعلى قيمة	أقل قيمة	الوسيط	معامل الاختلاف	المدى
(2025-11-4 الى 2025-11-6)	0.0000	0.00001	0.0001	0.000	0.0000	19.8 %	0.000 06
(2025-11-7 الى 2025-11-9)	0.0000	0.00000	0.0000	0.000	0.0000	10.06 %	0.000 01
(2025-11-10 الى 2025-11-15)	0.0000	0.00000	0.0000	0.000	0.0000	7.31 %	0.000 01
(2025-11-16 الى 2025-11-20)	0.0000	0.00000	0.0000	0.000	0.0000	10.83 %	0.000 02
(2025-11-21 الى 2025-11-25)	0.0001	0.00000	0.0001	0.000	0.0001	5.05 %	0.000 02

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

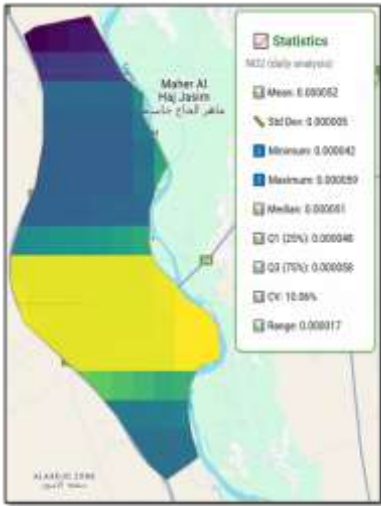
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

النموذج 11 : نسبة التلوث بغاز NO2 في منطقة الدراسة للمدة (4-11-2025 الى 6-11-2025)



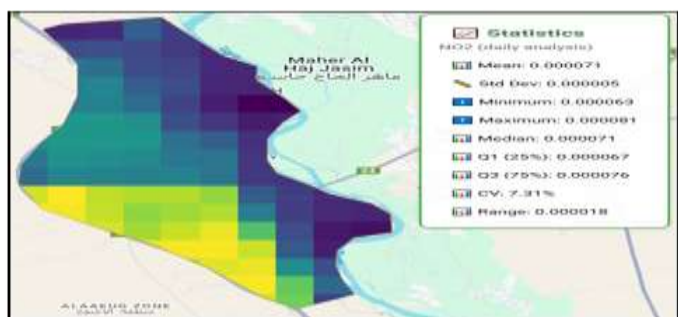
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

النموذج 12 : نسبة التلوث بغاز NO2 في منطقة الدراسة للمدة (7-11-2025 الى 9-11-2025)



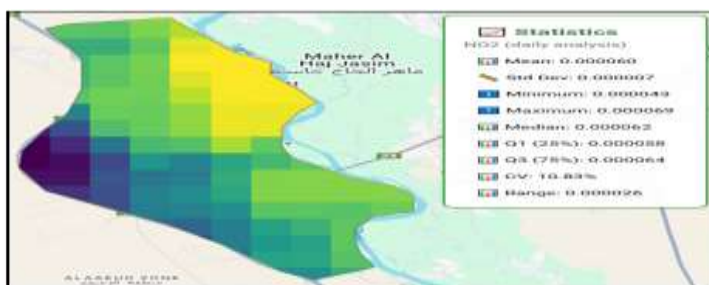
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P .

النموذج 13 : نسبة التلوث بغاز NO₂ في منطقة الدراسة للمدة (10-11-2025 الى 15-11-2025)



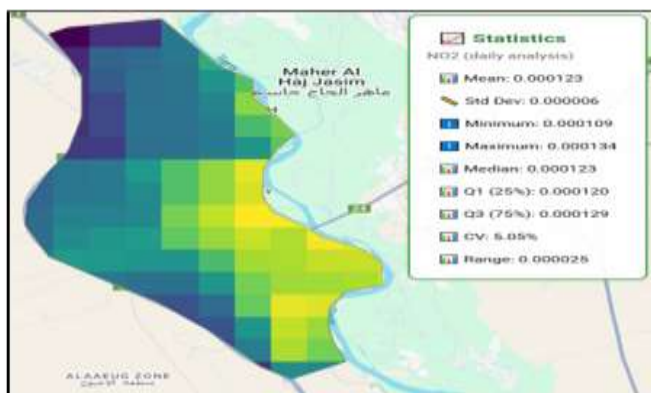
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 14 : نسبة التلوث بغاز NO₂ في منطقة الدراسة للمدة (16-11-2025 الى 20-11-2025)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 15 : نسبة التلوث بغاز NO₂ في منطقة الدراسة للمدة (21-11-2025 الى 25-11-2025)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

يتبين من الجدول (3) والنماذج (11،12،13،14،15) الخاصة بتركيز غاز NO_2 خلال مدة الدراسة نمطا أكثر استقرارا مقارنة بالغازات الأخرى، إلا أنها تعكس بشكل واضح تأثير الحريق خلال الأيام الأولى، إذ بلغ المتوسط خلال الفترة 4-6 تشرين الثاني وهي فترة الاشتعال الأولي 0.000085 مع انحراف معياري 0.000017 ومعامل اختلاف 19.8%، ما يشير إلى وجود تقلبات معتدلة ناتجة عن تدفق الدخان نحو المنطقة وتأثرها المباشر بالاحتراق، كما يظهر المدى البالغ 0.00006 أن التباين بين أعلى وأدنى قيمة كان واضحا، وهو ما يتناسب مع طبيعة NO_2 الذي يرتفع عادة نتيجة احتراق المواد العضوية والمطاط والبلاستيك، وهي مكونات شائعة في مواقع الطمر الصحي، ويكشف هذا السلوك أن المنطقة تعرضت لزيادة طفيفة ولكن محسوسة في تركيز الغاز خلال الأيام الأولى للحريق، مما يعكس التأثير الأولي لانبعاثات الدخان.

ويلاحظ انخفاضاً في المتوسط خلال الفترة 7-9 تشرين الثاني إلى 0.000052 مع انحراف معياري منخفض جداً (0.000002) ومعامل اختلاف 10.06%، ما يدل على استقرار أكبر في القيم، ويُفهم منه أن تأثير الدخان بدأ يضعف أو يبتعد جزئياً عن منطقة الدراسة تبعاً لتغير اتجاه الرياح. كما يكشف المدى المحدود (0.00001) أن الانبعاثات أصبحت أكثر انتظاماً وانخفاضاً، مما يعكس تراجع شدة الحريق أو ابتعاد الدخان عن المسار المباشر للمدينة.

غير أن الفترة 10-15 تشرين الثاني تشهد عودة خفيفة للارتفاع في المتوسط إلى 0.000071 مع انخفاض أكبر في معامل الاختلاف إلى 7.31%، ما يشير إلى استقرار التراكيز رغم الزيادة الطفيفة، وقد يعود السبب إلى تحركات بسيطة للدخان أو تجدد محدود للاشتعال داخل الطمر، إلا أن النمط العام يدل على أن التلوث أصبح أقل تقلباً وأكثر استقراراً مقارنة بالأيام الأولى، ويؤكد المدى المنخفض (0.00001) استمرار هذا الانتظام، وهو ما يعكس أن الانبعاثات أصبحت تنتشر بشكل ثابت دون تغيرات حادة.

أما الفترة 16-20 تشرين الثاني فتظهر انخفاضاً في المتوسط إلى 0.000060 مع ارتفاع بسيط في الانحراف المعياري إلى 0.000007 ومعامل اختلاف 10.83%، مما يشير إلى تذبذب خفيف في تركيز الغاز لكنه يبقى ضمن المعدلات المنخفضة، ويعني ذلك أن المنطقة ما تزال تتعرض لبقايا انبعاثات أو تأثيرات متأخرة من الحادث، إلا أن شدتها لا تقارن بالمرحلة الأولى للحريق، كما أن المدى البالغ 0.00002 يؤكد وجود تغيرات يومية محدودة لكنها غير مؤثرة بشكل كبير.

وتظهر الفترة الأخيرة 21-25 تشرين الثاني أعلى المتوسطات المسجلة خلال كامل المدة بواقع 0.000123، مع انحراف معياري منخفض (0.000006) ومعامل اختلاف هو الأدنى بين جميع الفترات (5.05%)، ما يدل على ارتفاع ثابت ومنتظم في تركيز NO_2 ويكشف هذا السلوك عن احتمال تأثر المنطقة بمزيج من العوامل منها بقايا الاحتراق والظروف الجوية التي قد تكون ساعدت على تراكم الغاز، أو وجود مصادر إضافية مثل حركة المرور أو الأنشطة البشرية المتزايدة بعد

انتهاء الحريق، كما أن ارتفاع أعلى قيمة إلى 0.000134 يؤكد وجود تراكم مستقر وليس ارتفاعا عشوائيا، مما يعكس استمرارية طفيفة لتلوث الهواء حتى نهاية الفترة.

وبشكل عام تشير البيانات إلى أن NO_2 أظهر استجابة سريعة للحريق في الأيام الأولى، ثم انخفض تدريجيا مع مرور الوقت، قبل أن يعاود الارتفاع بشكل منتظم في نهاية فترة الدراسة، ويدل ذلك على أن تأثير الحريق لم يكن لحظيا بل امتد على شكل تغيرات متراكمة أثرت على جودة الهواء، وأن بيانات الاستشعار عن بعد كانت قادرة على التقاط الفروق الدقيقة في تركيز هذا الغاز حتى عند المستويات المنخفضة، كما يعكس انتظام القيم في بعض الفترات وأهمية الظروف المناخية خاصة حركة الرياح في التحكم بانتقال الغازات، مما يؤكد دور النماذج الفضائية في تفسير السلوك الزمني والمكاني لمثل هذه الحوادث البيئية.

غاز الفورمالدهيد (HCHO) :

يعد من المركبات العضوية المتطايرة (VOC)، وينتج بكميات ملحوظة من الاحتراق غير الكامل للمواد النباتية والعضوية. في الحرائق الخفيفة، يكون إنتاج HCHO واضحا لأن انخفاض شدة النار يؤدي إلى احتراق ناقص ينتج عنه مركبات كربونية مؤكسدة جزئيا. ارتفاع HCHO يُعد مؤشرا على الكبسة الحرارية والانبعثات الأولية للدخان في بدايات الحريق أو أثناء احتراق بطيء (Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M. J., Reid, J. S., Karl, T., & Wennberg, P. O., 2011).

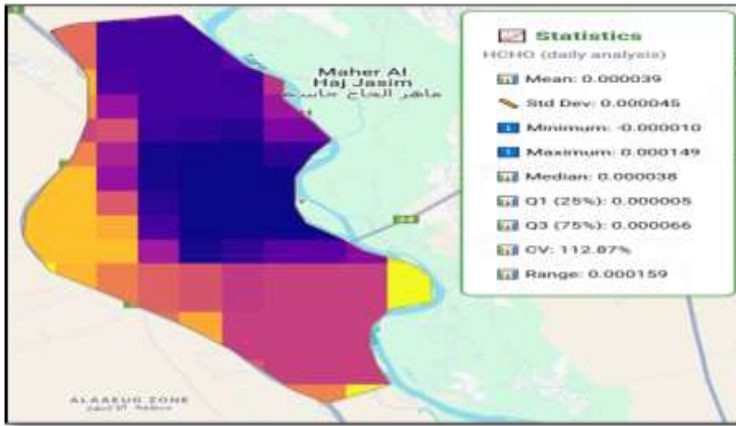
الجدول 5: نسبة التلوث بغاز HCHO في منطقة الدراسة

تاريخ الرصد	المتوسط	الانحراف المعياري	أعلى قيمة	أقل قيمة	الوسيط	معامل الاختلاف	المدى
(2025-11-4 الى 2025-11-6)	0.0000	0.00004	0.000	0.0000	0.000	112.8 %	0.000 1
(2025-11-7 الى 2025-11-9)	0.0000	0.00004	0.000	0.0000	0.000	152.5 %	0.000 2
(2025-11-10 الى 2025-11-15)	0.0000	0.00003	0.000	0.0000	0.000	69.22 %	0.000 1
(2025-11-16 الى 2025-11-20)	0.0001	0.00006	0.000	0.0000	0.000	50.56 %	0.000 2
(2025-11-21 الى 2025-11-25)	0.0002	0.00005	0.000	0.0000	0.000	26.74 %	0.000 2

المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

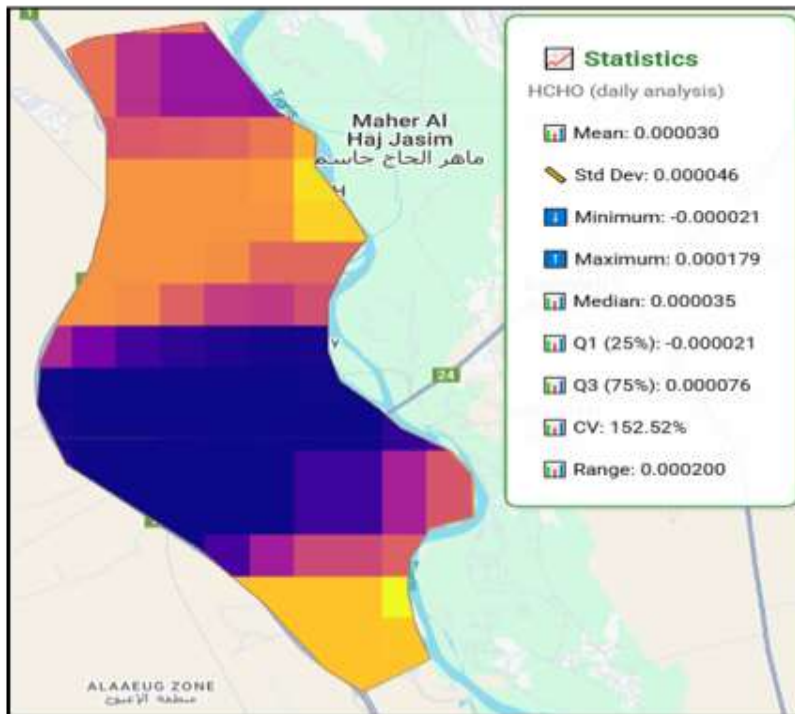
رصد ومراقبة خرائط الجرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

النموذج 16 : نسبة التلوث بغاز HCHO في منطقة الدراسة للمدة (4-11-2025 إلى 6-11-2025)



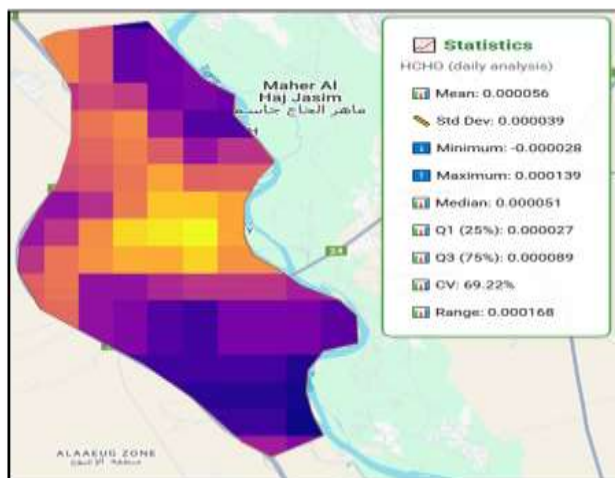
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 17 : نسبة التلوث بغاز HCHO في منطقة الدراسة للمدة (7-11-2025 إلى 9-11-2025)



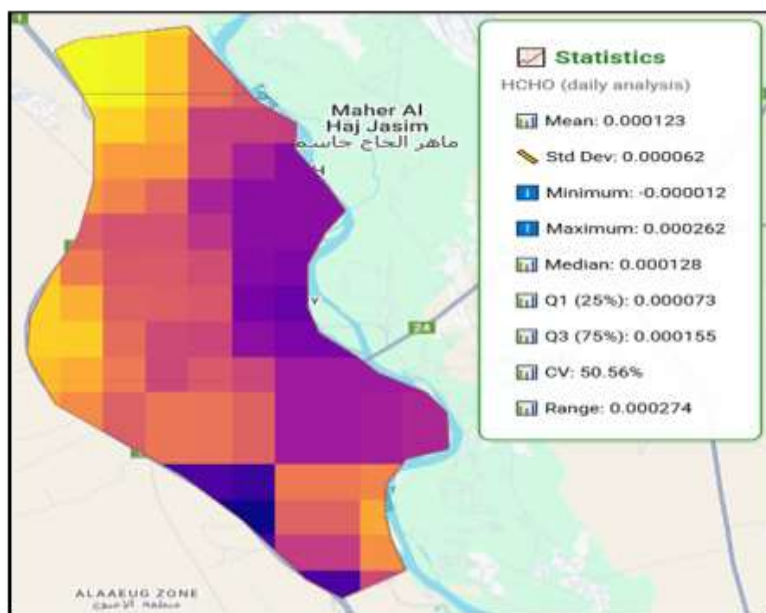
المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 18 : نسبة التلوث بغاز HCHO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-10 الى 2025-11-15)
 (2025-11)



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

النموذج 19 : نسبة التلوث بغاز HCHO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-16 الى 2025-11-20)
 (2025-11)

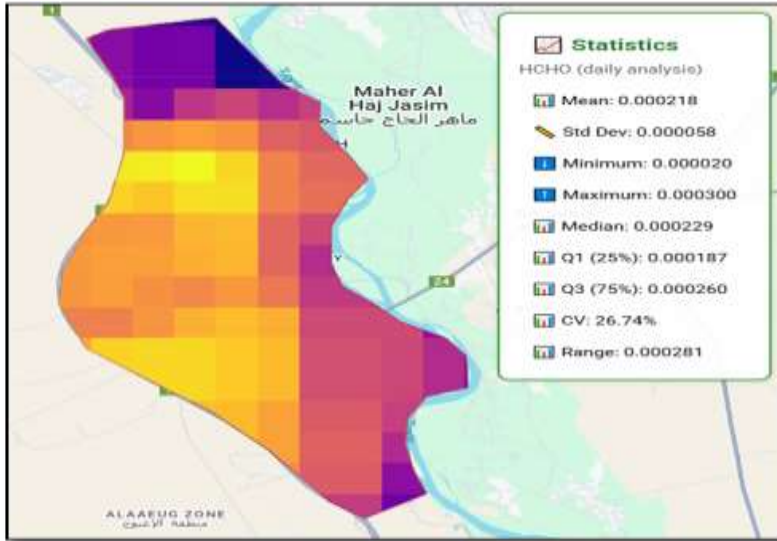


المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

النموذج 20 : نسبة التلوث بغاز HCHO في منطقة الدراسة للمدة (2025-11-21 الى 25-

(2025-11



المصدر: بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P.

يتبين من الجدول (5) والنماذج (16،17،18،19،20) الخاص بتركيز غاز الفورمالديهايد HCHO خلال مدة الدراسة استجابة قوية وواضحة لحدث الحريق، إذ يعد هذا الغاز من أبرز النواتج الثانوية لاحتراق النفايات المنزلية والبلاستيكية، وهو مؤشر حساس لأي نشاط احتراقي داخل مواقع الطمر الصحي، وتشير البيانات في الفترة الأولى من 4 إلى 6 تشرين الثاني وهي فترة الاشتعال الأولى إلى تسجيل متوسط قدره 0.000039 مع انحراف معياري مرتفع نسبياً يبلغ 0.000045، ومعامل اختلاف كبير جداً وصل إلى 112.8%، ما يعكس تذبذباً حاداً في تركيز هذا الغاز بسبب التقلب في شدة الحرق وتغير اتجاه الرياح، كما يظهر المدى 0.0001 وجود فرق واضح بين أعلى قيمة (0.00014) وأدنى قيمة (0.00001)، وهو ما يؤكد أن منطقة الدراسة تعرضت إلى تركيز الفورمالديهايد نتيجة انبعاثات غير مستقرة خلال الساعات الأولى للحريق.

وخلال الفترة 7-9 تشرين الثاني ينخفض المتوسط قليلاً إلى 0.000030، إلا أن الانحراف المعياري يرتفع إلى 0.000046، ومعامل الاختلاف يصل إلى أعلى قيمة مسجلة (152.5%)، وهو ما يشير إلى أن الغاز أصبح شديد التذبذب رغم انخفاض متوسط تركيزه، مما يدل على أن دخان الحريق لم يعد مستمراً باتجاه ثابت نحو المدينة، بل أصبح يتحرك بشكل متقطع تبعاً لتغير الرياح والمناخ الدقيق المحلي، كما يعكس المدى الأكبر (0.0002) استمرار ظهور قمم مرتفعة للغاز، ربما نتيجة اشتعال متجدد داخل خلايا الطمر، إذ يعد الفورمالديهايد أحد أوائل الغازات التي ترتفع بشدة عند تجدد الاحتراق.

وتشهد الفترة 10-15 تشرين الثاني ارتفاعا في المتوسط إلى 0.000056، مع انخفاض ملحوظ في معامل الاختلاف إلى 69.22%، وهو ما يشير إلى تحسن استقرار القيم مقارنة بالأيام السابقة، مع استمرار تسجيل أعلى القيم (0.00013) التي تعكس بقايا غازات الاحتراق داخل المجال الجوي المحيط بمنطقة الدراسة، ويكشف المدى البالغ 0.0001 أن انتشار الفورمالدهيد أصبح منتظما نسبيا رغم ارتفاعه، وهو ما يمكن تفسيره باستمرار انبعاثات منخفضة الشدة ولكن ثابتة نسبيا داخل موقع الطمر.

أما الفترة 16-20 تشرين الثاني فتشهد ارتفاعا كبيرا في المتوسط إلى 0.000123، وهو ما يمثل تغيرا واضحا في سلوك الغاز، إذ يعكس انتقال المنطقة إلى مرحلة تراكم تدريجي للفورمالدهيد، ربما نتيجة هدوء سرعة الرياح مما سمح للغاز بالبقاء مدة أطول في الغلاف الجوي، ورغم زيادة المتوسط ينخفض معامل الاختلاف إلى 50.56% مما يدل على أن التراكيز أصبحت أكثر انتظاما، كما أن أعلى قيمة خلال هذه الفترة (0.00026) تعكس استمرار وجود مصادر احتراق ضعيفة أو انحباس الغازات في طبقات جوية منخفضة.

وتأتي الفترة الأخيرة بين 21-25 تشرين الثاني لتسجل أعلى متوسط خلال مدة الدراسة بواقع 0.000218، مع أدنى معامل اختلاف (26.74%)، وهو ما يدل على تراكم مستقر وواضح لغاز الفورمالدهيد في منطقة الدراسة، كما يشير المدى 0.0002 وارتفاع أعلى قيمة إلى 0.00030 إلى وجود تأثير حقيقي ومستمر على جودة الهواء حتى بعد مرور أكثر من 20 يوما على الحريق، وهذا يعكس قدرة الغاز على البقاء لفترات طويلة في الجو، إضافة إلى احتمال تجدد بعض الأنشطة الاحتراقية داخل خلايا الطمر أو ارتفاع القابلية الكيميائية للغاز في ظل ظروف جوية معينة.

وبصورة عامة تكشف البيانات أن الفورمالدهيد كان الغاز الأكثر حساسية ودلالة على تأثير الحريق، إذ ارتفعت تراكيزه مباشرة بعد الحدث ثم تذبذبت بشكل كبير نتيجة تغير اتجاه الدخان، قبل أن تدخل مرحلة تراكم تدريجي ومستقر خلال الأسابيع اللاحقة، وتؤكد هذه الأنماط أن تأثير الحريق لم يكن قصير المدى بل امتد زمنيا، وأن بيانات الاستشعار عن بعد كانت قادرة على رصد التحولات الدقيقة في تراكيز الغاز حتى عند المستويات المنخفضة جدا، مما يدعم إمكانية استخدامها كأداة فعالة لرصد التلوث الناتج عن مواقع الطمر الصحي وإدارة المخاطر البيئية المرتبطة بها.

13- الأثار البيئية على صحة الإنسان :

- غاز أول أكسيد الكربون CO :

يشير ارتفاع تركيز غاز أول أكسيد الكربون خلال فترات الرصد ولاسيما بلوغه 0.030-0.032 ppm إلى زيادة نواتج الاحتراق في مواقع الطمر الصحي، ويؤدي هذا الارتفاع إلى تقليل قدرة الدم

رصد ومراقبة خرائط الحرائق باستخدام الاستشعار عن بعد (الطمر الصحي لمدينة تكريت دراسة حالة)

على حمل الأوكسجين مما يسبب شعور السكان بالدوخة والصداع والإرهاق المستمر، كما يسهم النقص المزمن في الأوكسجين في إضعاف وظائف القلب والجهاز العصبي، ويؤثر بشكل خاص على المرضى وكبار السن والأطفال، وكذلك يؤدي التذبذب في التراكيز بين الفترات المختلفة إلى فترات إجهاد تنفسي مفاجئ قد يفاقم أعراض الربو، ويؤدي التعرض المتكرر له إلى تراجع الأداء الجسدي والذهني للسكان القريبين من موقع الحرق (مصطفى، 2020، ص 161-180).

- غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 :

تظهر مستويات SO_2 المسجلة والتي اتسمت بارتفاع كبير في معامل الاختلاف (75-122%) أن الانبعاثات ناتجة عن احتراق مواد كبريتية داخل موقع الطمر الصحي، وهذا الغاز يسبب تهيجا مباشرا لمجرى التنفس، كما يؤدي إلى التهاب القصبات ونوبات الربو، خاصة عند ارتفاع التركيز إلى حدود 0.0007-0.001 ppm. (منظمة الصحة العالمية، WHO/EMRO، 2016).

- غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 :

توضح بيانات NO_2 أن التراكيز وإن كانت منخفضة نسبيا إلا أنها ترتفع تدريجيا حتى تصل إلى 0.000123-0.000134 ppm ، وهذا الارتفاع يؤدي إلى تهيج الأغشية المخاطية للعينين والجهاز التنفسي، ويسبب الغاز التهاب الحنجرة والقصبات ويزيد من احتمالية الإصابة بنوبات الربو بسبب تأثيره المؤكسد على الخلايا، كما يؤدي التعرض المتكرر له إلى انخفاض وظائف الرئة مما يظهر على شكل صعوبة في التنفس لدى الأطفال وكبار السن، وتساهم زيادة NO_2 في تكوين الأوزون الأرضي الضار وبالتالي تعزيز الشعور بالحرقان في العين والجلد وتفاقم الأعراض التنفسية خاصة في ساعات الصباح. (فريق التحرير، القسم العلمي في الجزيرة نت، 2018).

- غاز الفورمالدهايد $HCHO$:

يشير ارتفاع الفورمالدهايد وتذبذبه الكبير (50-152%) إلى انبعاثات ناتجة عن احتراق نفايات عضوية وبلاستيكية، ويعد هذا الغاز من أكثر الملوثات خطورة لأنه مصنف كمسرطن يؤثر على الجهاز التنفسي العلوي، ويسبب $HCHO$ تهيجا شديدا في العينين والأنف والحلق حتى عند تركيزات منخفضة مثل 0.0001-0.0003 ppm ، ويؤدي التعرض له خلال فترات الذروة إلى صعوبة في التنفس وسعال مستمر، كما يظهر لدى السكان صداع ودوار نتيجة امتصاص الغاز عبر الرئتين وتأثيره على الجهاز العصبي، وتصبح الأعراض أكثر حدة بالقرب من مصدر الحرق حيث ترتفع تراكيزه في الهواء وتزداد احتمالات الإصابة بالتهابات حادة للجهاز التنفسي (Utah, I. A., & Ugwoha, E., 2021).

14- المعالجات والحلول العلمية لحماية البيئة والسكان في منطقة الدراسة :

1- إنشاء نظام مراقبة يومي للملوثات الجوية باستخدام بيانات الأقمار الصناعية تقوم الدائرة المعنية بإنشاء وحدة مختصة تعتمد على بيانات Sentinel-5P و modis لرصد تراكيز

الغازات (HCHO ، CO ، SO_2 ، NO_2) وبشكل يومي، ويتم تحليل البيانات وتحديد أيام الخطر العالي وإصدار إنذارات مبكرة للسكان والدوائر الخدمية، وذلك من أجل تقليل التعرض الصحي، ورفع جاهزية مؤسسات الدولة عند ارتفاع نسب التلوث.

2- إعداد خطة لإدارة الحرائق الصغيرة والسيطرة على مصادرها تشمل الخطة حظر الحرق العشوائي للمخلفات الزراعية أو المنزلية، وتحديد نقاط مراقبة حرارية لرصد أي ارتفاع في البقع الساخنة باستخدام تقنية Thermal Anomalies من أجل تقليل ارتفاع غاز CO و HCHO الناتجين عن الاحتراق غير الكامل.

3- إنشاء ممرات خضراء حول التجمعات السكنية تقوم الدائرة بتنفيذ مشروع تشجير باستخدام أنواع محلية تتحمل الجفاف وتمتاز بقدرتها على امتصاص الغازات الملوثة مثل SO_2 و NO_2 من أجل خفض مستويات التلوث وتحسين جودة الهواء وتقليل الآثار الصحية.

4- مراقبة عمليات الحرق داخل مواقع الطمر الصحي تتضمن المعالجة إلزام إدارة الطمر الصحي بتركيب مستشعرات لثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النتروجين، ومنع أي احتراق داخلي ومعالجته فوراً بطرق الدفن الصحي والضغط الطبقي، وذلك للحد من الانبعاثات السامة وحماية المناطق المجاورة.

5- فرض رقابة بيئية وضريبية على المصانع ومحطات الخدمة تشمل المراقبة إجراء قياس شهري لتركيز SO_2 و NO_2 في مداخن المنشآت الصناعية، ومنح فترة زمنية محددة لتركيب فلاتر ومعالجات للانبعاثات، من أجل العمل على ضبط الانبعاثات الصناعية ومنع تراكم الملوثات في الهواء.

6- إنشاء خط ساخن بيئي لاستقبال بلاغات الحرق يتم تخصيص رقم مجاني للمواطنين للإبلاغ عن أي حرق للمخلفات أو ظهور دخان كثيف، وترسل فرق ميدانية خلال ساعة لمعالجة المشكلة، للحد والتقليل من الانتشار السريع للحرائق والسيطرة عليه قبل تفاقمه.

7- إنشاء محطات أرضية لقياس جودة الهواء توزيع محطات قياس (AQ Stations) في المواقع القريبة من مصادر التلوث: محيط الطمر الصحي، الطريق السريع، قرب الأحياء السكنية)، من أجل الحصول على بيانات دقيقة محلياً لتحديد ساعات الذروة ومصادر التلوث.

8- وضع خطة لإعادة تدوير المخلفات بدل حرقها تشجيع إنشاء معامل صغيرة للتدوير (بلاستيك – ورق – نفايات عضوية) للحد من الحرق، وذلك لتقليل من انبعاثات CO و HCHO بشكل كبير وتحسين جودة الهواء.

الاستنتاجات :

- 1- أظهرت بيانات الاستشعار عن بعد باستخدام VIIRS / NOAA-21 وجود نقطة حرارية في وادي شيشين بتاريخ 5-11-2025، بمستوى إشعاع حراري $TI4 = 321.34$ و $FRP = 2.6$ ميغاواط، وهو مؤشر على حريق صغير أو نشاط حراري ضعيف، وأن موقع الحريق قريب من الأحياء السكنية وعلى بعد 1.50 كم، مما يعزز احتمالية انتقال الدخان والملوثات إلى المدينة.
- 2- اثبتت المعطيات أن تزايد تراكيز غازات CO و HCHO و NO₂ و SO₂ يرتبط بشكل وثيق بحدوث حرائق خفيفة سواء في المخلفات الزراعية أو مواقع الطمر الصحي.
- 3- أن السلوك البشري مثل حرق النفايات، والحطب، والمخلفات الزراعية، يمثل العامل الأكثر تأثيراً على تراكيز الغازات الملوثة.
- 4- اثبتت بيانات Sentinel-5P و MODIS قدرة عالية على كشف تركيز الغازات وتحديد بؤر الانبعاث والحرائق، حتى في المناطق التي لا تتوفر فيها أجهزة قياس أرضية.
- 5- اوجدت الدراسة ان المناطق القريبة من الطرق الرئيسية ومواقع الطمر تسجل أعلى مستويات للملوثات بسبب انبعاث الغازات من عوادم السيارات وحرق مواقع الطمر الصحي.
- 6- واثبتت الدراسة ان أعلى تركيز لغاز CO خلال الحريق بلغ (0.030 ppm) وانخفض تدريجياً بعد انتهاء الحريق (0.028155 ppm)، مما يدل على ارتباطه المباشر بالنشاط الحراري، أما SO₂ فانبعثاته متقلبة مع زيادة التذبذب بعد الحريق ومعامل اختلاف 122.4%، مما يعكس طبيعة المواد المحترقة والنشاط الحراري المتجدد، وبلغ تركيز NO₂ واضح لكنه أقل تقلباً، مع تراكم لاحق بسبب العوامل الجوية والنشاط البشري، أما HCHO فارتفعه بعد الحريق (0.000218 ppm) يشير إلى تراكم الغازات العضوية المتطايرة وحساسية هذا الغاز للحرائق الخفيفة والنشاط الحراري المتقطع.

المقترحات :

- 1- تركيب نظام مراقبة حرارية مستمر (VIIRS, Sentinel-2/5P) لرصد النشاط الحراري المبكر على مدار الساعة، مع إنذار فوري عند تجاوز مستويات TI و FRP المحددة.
- 2- إعادة هيكلة الطمر الصحي من خلال تصميم المكب بطريقة تقلل تراكم الغازات العضوية القابلة للاشتعال (مثل HCHO و CH₄) باستخدام طبقات مانعة للتسرب وتغطية يومية للنفايات.
- 3- تقدير الانبعاثات الكلية من خلال استخدام قيم FRP والانبعاثات اليومية لتحديد مقدار الغازات المنبعثة وتراكمها، وبالتالي تقييم المخاطر طويلة المدى على الهواء والتربة والمياه الجوفية.
- 4- تطوير نماذج تنبؤ بالحرائق من خلال استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (مثل Random Forest أو Deep Learning) لتوقع مواقع الحريق المحتملة قبل حدوثها بناءً على بيانات المناخ والنفايات.

5-نقل موقع المكبات القريبة من المناطق السكنية لتقليل التأثيرات البيئية والصحية الناتجة عن المكبات، خصوصا الحرائق وانبعث الغازات (HCHO، CO، NO₂، SO₂) والدخان على السكان، واستنادا إلى إرشادات الوكالة الأمريكية لحماية البيئة (EPA) و منظمة الصحة العالمية (WHO)، فإن المسافة المثلى بين مكب النفايات والمنشآت السكنية تتراوح بين 500متر إلى 1000 متر على الأقل، وتزيد هذه المسافة إذا كان المكب يحتوي على نفايات عالية القابلية للاشتعال أو إذا كانت الرياح غالبا باتجاه المدينة.

6-العمل على اقامة حواجز نباتية (Green Buffer Zones) بارتفاع 3–5 متر حول المكب الجديد لتقليل انتشار الغبار والدخان الى المدينة.

**

المصادر والمراجع :

- سعد ثامر ابراهيم. (2025). مشكلات التمثيل الخرائطي لخطوط الكنتور في قضاء بلد وطرائق معالجتها *Jordan Journal of Earth & Environmental Sciences*, 16(4).
- سها وليد مصطفى. (2020). الأثر البيئي لتلوث هواء مدينة البصرة بغاز أحادي أكسيد الكربون. (CO) مجلة الخليج العربي، (3)، 180-161. <https://iasj.rdd.edu.iq/journals/uploads/2024/12/18/ec6b30125576a854ef37d56530433c63.pdf>
- فريق التحرير، القسم العلمي في الجزيرة نت. (2018). أضرار غاز ثاني أكسيد النيتروجين. تم الاسترجاع من الرابط <https://www.aljazeera.net/encyclopedia/2018>
- منظمة الصحة العالمية — مكتب شرق المتوسط. (2016). الآثار الصحية لحرائق النفط والكبريت. تم الاسترجاع من الرابط https://www.emro.who.int/images/stories/eha/health_advice_oil_and_sulphur_fires_ar.pdf
- Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M. J., Reid, J. S., Karl, T., & Wennberg, P. O. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(9), 4039–4072.
- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955–966.
- Giglio, L., Schroeder, W., & Justice, C. O. (2016). The Collection 6 MODIS Active Fire Detection Algorithm and Fire Products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41.
- Ibrahim, S. T., Sheet, H. H., & Muhammed, F. H. (2025). Modeling Vegetation Cover Maps Affecting Land Surface Temperature in Erbil City Using Remote Sensing. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 25(4), 101–116.
- Smith, S. J., van Aardenne, J., Klimont, Z., Andres, R. J., Volke, A., & Delgado Arias, S. (2011). Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(3), 1101–1116.

Utuh, I. A., & Ugwoha, E. (2021). Effects of Formaldehyde Exposure on Human Body – A Review Article. *Asian Journal of Medicine and Health*, 19(12), 131–142.
<https://doi.org/10.9734/ajmah/2021/v19i1230425>

Ward, D. E., & Hardy, C. C. (1991). Smoke emissions from wildland fires. *Environment International*, 17(2–3), 117–134.