Journal of Human and Social Sciences (JHSS) • Vol 9, Issue 2 (2025) • P: 89 - 63
https://journals.ajsrp.com/index.php/jhss
ISSN: 2522-3380 (Online) • ISSN: 2522-3380 (Print)

Spatial Analysis of Ambient Air Quality Variation in Dammam in Saudi Arabia

Dr. Hessa Mohammed Aloatibi*[1] ,Prof. Mohammed Ibrahim Al-Dagheiri[2]

[1] Ministry of Education | KSA

[2] College of Languages and Humanities | Qassim University | KSA

Received: 10/12/2024

Revised: 26/12/2024

Accepted: 28/01/2025

Published: 28/02/2025

* Corresponding author: Hm1-2016@hotmail.com

Citation: Aloatibi, H. M., & Al-Dagheiri, M. I. (2025). Spatial Analysis of Ambient Air Quality Variation in Dammam in Saudi Arabia. *Journal of Humanities & Social Sciences, 9*(2), 63 – 89. https://doi.org/10.26389/AJSRP.S121224

2025 © AISRP • Arab Institute of Sciences & Research Publishing (AISRP), Palestine, all rights reserved.

• **Open Access**

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license

Abstract: Climate change is one of the important issues facing the achievement of sustainable development in the whole world as a source of risk for human and environmental health, and in return for the multiplicity of sources of air pollution in the capital of Dammam, the study aimed to measure the spatial variation of urban air quality through the use of the descriptive and analytical approach, and within the framework of statistical methods, geographic information systems and remote sensing, and the study found that nitrogen dioxide gas No2 was exceeded., sulfur dioxide gas (SO) and carbon monoxide (CO) for the stipulated values for air quality in urban centers, while O3 records the compliance of all days with the measured data for 2021 against the values stipulated in the metropolis of Dammam.

Keywords: Urban air quality, Air pollution, Dammam Metropolis, Urban climate, Sustainable transport.

التَّحليل المكاني لتبايُن جودة الهواء المُحيط في حاضرة الدَّمَّام في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة

الدكتورة / حصة بنت محمد العتيبي*[1] ، الأستاذ الدكتور/ محمد إبراهيم الدغيري[2]

[1] وزارة التعليم | المملكة العربية السعودية

[2] كلية اللغات والعلوم الإنسانية | جامعة القصيم | المملكة العربية السعودية

المستخلص: يُشكِّل التَّغيُّر المناخي إحدى القضايا المهمَّة الَّتي تُواجهُ تحقيق التَّنمية المستدامة في العالم أجمع، باعتباره مصدرًا خطيرًا على الصِّحَّة الإنسانيَّة والبيئيَّة، ولتعدُّد مصادر التَّلوُّث الهوائي في حاضرة الدَّمَّام، فقد هدفت الدِّراسة إلى قياس التَّبايُن المكاني لجودة الهواء الحضري من خلال استخدام المنهج الوصفي والتَّحليلي، وفي إطار الأساليب الإحصائيَّة ونُظُم المعلومات الجغرافيَّة والاستشعار عن بُعدٍ، وقد توصَّلت الدراسة إلى تجاوُزِ كُلٍّ من: غاز ثاني أكسيد النيتروجين No2، وغاز ثاني أكسيد الكبريتSO، وغاز أوَّل أكسيد الكربون Co لِلقِيمِ المنصُوصُ عليها لجودة الهواء في المراكز الحضريَّة، في حِينِ يُسجِّلُ كُلٌّ من غاز الأوزون الأرضي O3 امتثال جميع الأيَّام للبيانات المقاسة لعام 2021م لِلقِيمِ المنصُوصُ عليها في حاضرة الدَّمَّام.

الكلماتُ المفتاحيَّة: جودة الهواء الحضري، تلوُّث الهواء، حاضرة الدَّمَّام، المناخ الحضري، النَّقل المستدام.

مقدِّمة:

يُواجِهُ العالم تصاعُد قضايا التَّغيُّر المناخي منذ منتصف القرن العشرين، وأهمِّيَّة المخاطر الأيكولوجية للبيئة، والتي أضحت هاجسًا مقلقًا يُنذر بمخاطر عديدةٍ لصحَّةِ الإنسان حاليًّا ومستقبلاً، وليس ذلك فحسب بل يتعدَّى الأمر إلى كافَّة المكوِّن البيئي، حيثُ برزت في الآونة الأخيرة مشكلات تدهور النِّظام البيئي، نظرًا للزيادة السُّكَّانيَّة وسباق المجتمعات نحو التنمية الاقتصادية باستنزاف مواردها الطَّبيعية، ولا سيَّما استهلاك المصادر الرَّئيسة للطَّاقة: (كالبترول– الفحم– الغاز الطبيعي)، وما تلاهُ من توسُّعٍ في إنشاء العديد من المصانع في المدن، وما يرتبط بها من صناعاتٍ ووسائل نقل متعدِّدة، والَّتي كان لها دورٌ جليٌّ في إحداث الخلل والتَّدهُور لعناصر المجال البيئي، لِتعاظُمِ خطرها ونُشوء العديد من الكوارث البيئيَّة الَّتي تجاوزت في حُدُودها النِّطاق المحلِّي، لتأخُذ صِفة العالميَّةِ كالاحتباس الحراري – ثُقب الأوزون على سبيل المثال، وهي ذاتُ المخاطر البيئيَّة الَّتي تطالُ دُول العالم جمعاء.

في ضوء ذلك يُشيرُ تلوُّث الهواء إلى إطلاق مُلوِّثاتِ الهواء الَّتي تُضِرُّ بصِحَّةِ الإنسان والكوكب ككل، واستنادًا لمنظَّمة الصِّحَّةِ العالميَّة (WHO) يتسبَّب تلوُّث الهواء في وفاةِ قُرابةِ سبعة ملايين شخص حول العالم كلَّ عام، كما تُظهِرُ بيانات منظَّمة الصِّحَّة العالميَّة أيضًا أنَّ تسعةً ـ من كُلِّ عشرةِ أشخاصٍ في جميع أنحاء العالم ـ يتنفَّسُون هواءً يتجاوزُ حدود إرشادات مُنظَّمةِ الصِّحَّةِ العالميَّة، حيثُ يحتوي على نِسَبٍ عالِيةٍ من المُلوِّثات. (منظَّمة الصِّحَّة العالميَّة، 2018م، ص1)، ومن هُنا تأتي دراسة التَّحليل المكاني لتباين جودة الهواء المُحيط لتحليل القياسات الأرضيَّة لمحطَّات جودة الهواء لحاضرة الدَّمَّام.

مُشكلة الدِّراسة:

يُعدُّ تدنِّي جودة البيئة الحضريَّة أحد مُعيقاتِ التنمية المستدامة، وذلك نتاج انخفاض مُراقبة البيئة الحضريَّة ومدى تأثيراتها المتعدِّدة لاسيَّما على الصِّحَّة السُّكَّانيَّة، ويُعدُّ التلوُّث الهوائي واحدًا من أهمِّ المُعضلاتِ في طريق الاستدامة ككُل، والَّذي بات مصدر قلقٍ إزاء السَّعي نحو تحقيق أهداف أجندة خُطَّة التنمية المستدامة، وبالنَّظر في حاضرة الدَّمَّام ـ والَّتي تشهد مصادر مُتعدِّدةٍ ـ يُسهمُ التَّلوُّث الهوائي فيها ـ حيثُ تحتضنُ منطقة الدِّراسة العديد من المناطق الصِّناعيَّة ومدافن حرقِ النُّفايات الصُّلبة، ومصادر الحرق للوقود، فضلاً عن المحطَّاتِ الكهربائيَّة، كما تُشكِّلُ وسائلُ النَّقل الحضري مخاطر أُخرى، لذا برزت الحاجة إلى استخدام أدوات الاستشعارِ عن بُعدٍ ونظم المعلومات الجغرافيَّة، علاوةً على القياسات الأرضيَّة لمعرفة مدى التَّغطية المكانيَّة لمحطَّات جودة الهواء في ظِلِّ حجم السُّكَّان لحاضرة الدَّمَّام إجمالًا.

تساؤُلات الدراسة:

- ما مدى تركيز مُلوِّثات الهواءِ في مدنِ حاضرة الدَّمَّام مُقارنةً بالمحدِّدات الوطنيَّة والعالميَّة؟
- ما التَّحليل المكاني للتَّغطية المكانيَّة لمحطَّات جودة مراقبة الهواء في حاضرة الدَّمَّام؟
- ما قياس مُلوِّثات الهواء المحيط في حاضرة الدَّمَّام ومدى تأثيرها على الاستدامة البيئية في حاضرة الدَّمَّام؟

أهداف الدراسة:

- الكشفُ عن تركيز مُلوِّثاتِ الهواءِ في مُدُنِ حاضِرة الدَّمَّام ومقارنتها بالمحدِّدات الوطنيَّة والعالميَّة.
- التَّحليل المكاني للتَّغطية المكانيَّة لمحطَّات جودة مُراقبة الهواء في حاضرة الدَّمَّام.
- قياس مُلوِّثات الهواء المُحيط في حاضرة الدَّمَّام ومدى تأثيرها على الاستدامة البيئية في حاضرة الدَّمَّام.

الدِّراسات السابقة:

دراسة ثاراني وآخرين Tharani, et. al, (2021م) Spatial Distribution Analysis of Air Pollutants and The Impact of Meteorological Factor:

ركَّزت الدِّراسة على رصدِ مُلوِّثات الهواء السِّتَّة في مناطق متعدِّدةٍ في مدينة كويمباتور لفترةٍ زمنيَّةٍ مقدارها سنة واحدة، وقاست مدى الارتباط بظروف الأرصاد الجوِّيَّة كعوامل: درجات الحرارة، والرُّطوبة النِّسبيَّة، وسُرعة الرِّياح، وهطول الأمطار، من خلال استخدام SPSS 23، ومن خلال تطبيق برنامج نُظُم المعلومات الجغرافيَّة Arc GIS10:5 للتَّوزيع المكاني، وقد استنتجت الدراسة أنَّ الجُسيمات الدَّقيقة العالِقة في الهواء PM10 بلغت (102-117) ميكروغرام/م3، في حين أظهرت الدِّراسة أنَّ الجُسيمات الدَّقيقة العالِقة في الهواء PM2.5 بلغت مُعدَّلاتها (16-75) ميكروغرام/م3، وتُبيِّن الدِّراسة تجاوُز القِيمِ المنصُوص عليها في ثلاثة مواقع، في حين يتجاوز غاز أوَّل أكسيد الكربون القيم المنصوص عليها في خمسة مواقع في منطقة الدِّراسة، كما يتراوحُ مُؤشِّر جودة الهواء AQLفي مناطق أخرى بين (77.04) إلى(151.01)، ممَّا يُشيرُ إلى الحالة غير الصِّحِّيَّة.

دراسة بورجوس واخرين,Burgos, et. al (2022م) Exploring the Spatial Distribution Air Pollution and Its Association with Socioeconomic Status indicators in Mexico City.

هدفت الدراسة إلى إبراز عدم المساواة البيئية في مكسيكو من خلال فحص علاقة الارتباط المكاني بين مُلوِّثات الهواء والمؤشِّرات الاجتماعيَّة والاقتصاديَّة SES للفترة الممتدَّة من عام 2017م وحتَّى عام 2019م بالاعتماد على السِّجِلَّات الحكوميَّة، وبتطبيق نُظُم المعلُومات الجغرافيَّة لأداة الاستيفاء المكاني، وسعتِ الدِّراسة إلى استخراج التَّوزيع المكاني لملوِّثات الهواء ومؤشِّرات SES، وإلى تطبيق مُعامِل موران Morans I لمتغيِّرين، وقد توصَّلت الدِّراسة إلى عدم التَّجانُس المكاني لملوِّثات الهواء، وأوضحت الدِّراسة تعرُّض سُكَّان المناطق الجنوبيَّة لتركيز غاز الأوزون، على عكس المناطق الأكثر ثراءً في وسط المدينة الَّتي تعرَّضت لتركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين وغاز أوَّل أكسيد الكربون.

دراسة بوغدايسي وآخرين Bugdayci, et. al (2023م) Spatial Analysis of So2, Pm10, Co, No2, and o3 Pollutants: The Case of Konya province, Turkey.

هدفت الدراسة إلى استخدام نُظُمِ المعلومات الجغرافيَّة لتحليل جودة الهواء وفق عامِلِي الموقع والزمن، بُغية إنشاء خرائط لتوزيع مُلوِّثات الهواء، حيثُ تستنِدُ الدِّراسة على تحليل غاز ثاني أكسيد الكبريت، والجُسيمات العالقة في الهواء PM10، وغاز ثاني أكسيد النيتروجين، والَّتي تُحدثُ تلويث البيئة في السِّياق الحضري لمحافظة "قونية"، للفترة الممتدَّة من عام 2019م وحتَّى عام 2020م، وقد سعتِ الدِّراسةُ إلى إنشاءِ خرائط لِلتَّلَوُّثِ الهوائي وفق قِياساتِ محطَّاتِ جودة مُراقبة الهواء بتطبيق طريقة الاستِيفاءِ المكاني IDW في محافظة "قونية"، كما أوضحت الدراسة أنَّ مُلوِّثات الهواء تتجاوزُ القِيمَ المحدَّدة، وأنَّ تجاوُز مُلوِّثات الهواء في فترة جائِحة كوفيد19 لم تختلف كثيرًا عن القِيَمِ الحدِّيَّةِ لجودة الهواء.

دراسة دومينغيز Dominguez (2023م) Detecting Air Pollution Clusters in Japan: A Spatial Analysis Approach.

هدفتِ الدِّراسة إلى استخدامِ بيانات الأقمار الصِّناعيَّة في دراسة التَّوزيع المكاني لملوِّثات الهواء، إضافةً إلى الأنشطة الاقتصاديَّة لنحو (1650) بلديَّةٍ في جُزُرِ اليابان الأربع الرَّئيسة، مُمثَّلةً في: هونشو-كيوشو -هوكايدو -شيكوكو، واستندت الدراسة إلى تحليل الجُسيمات العالقة في الهواء، علاوةً على تركيزات غاز الأوزون بالإضافة إلى الكثافة السُّكَّانيَّة وإمكانيَّة الوصول لِلجُزُر السَّابق ذِكْرُها، وبتطبيق نُظُم المعلُومات الجُغرافيَّة لأداة النِّقاط السَّاخنة والباردة أظهرت الدِّراسة وُجُود علاقةٍ إيجابيَّةٍ بين النشاط الاقتصادي ومُلوِّثات الهواء، وقد سعت الدراسة إلى إجراء تحليلٍ إقليميٍّ للمُتغيِّرات قيد الدراسة بتقسيم الجزر الأربع إلى ستٍّ أو تسع مناطق، لإبراز علاقة النشاط الاقتصادي ومُلوِّثات الهواء.

دراسة الدغيري(2023م)، بعنوان:" التَّحليل المكاني لجودة الهواء في زمام محمِيَّة الإمام تركي بن عبد الله الملكيَّة في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة".

هدفت الدراسة إلى تسليط الضُّوءِ على جودة الهواء في المحمِيَّةِ خِلال فترةِ الذروة بدءًا من الساعة الحادية عشرة لعام 1442هـ، بُغية إنجاز قاعدة بياناتٍ رقميَّةٍ لجودة الهواء في المحمِيَّة من خِلال أدوات التَّحليل المكاني في بيئة نُظُم المعلُومات الجُغرافيَّة، وخلصت الدِّراسة إلى قِيَمٍ مِثاليَّةٍ في جودة الهواء، كما أوضحت الدراسة وجود تأثيرٍ نِسبِيٍّ للهباء الجوي في شرقي وشمالي المحمية.

دراسة العلياني (2016م) بعنوان:" تقييم جودة الهواء في مدينة الجبيل الصناعية بالمملكة العربية السعودية"

هدفت الدراسةُ إلى تقييم جودة الهواء في مدينة الجبيل الصِّناعيَّة، من خلال التَّحليل الإحصائي لِلبياناتِ الساعية لسبع مُلوِّثاتٍ للهواء هي: SO2 ، H2s ، Co -PM10-PM2.5-NO2-O3 لسبع محطَّات رصدٍ ثابتةٍ للفترة الزَّمنيَّة المُمتدَّة من عام 2006 وحتَّى 2013م، ومُقارنتها بمعايير جودة الهواء لِلهيئةِ العامَّة للأرصادِ وحِماية البِيئة في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة، وأوضحت الدِّراسة أنَّ مُعظم تجاوُز مُلوِّثات الهواء للمعايير القِياسيَّة سُجِّلت أثناء الرياح الهادئة أو قليلة السُّرعة.

منهج الدِّراسة:

المنهج التَّاريخي Historical Approach:

دراسة الظَّاهرة في الماضي خلال فترةٍ مُحدَّدة، وذلك بجمع الحقائق والتَّأكُّد منها، لتحديد الحقائق التاريخية، ومن ثمَّ تصنيف الحقائق والتأليف بينها، وكشف عواملها وتصنيفها مكانيًّا. (محمد، 2015م، ص65)، ويُركِّز المنهج على تفسير العوامل المؤثِّرة في مُلوِّثات الهواء المعياريَّة في حاضرة الدَّمام لأشهُر عام 2022م.

منهج تحليل النُّظُم Systems Analysis Approach:

يُستخدمُ المنهج في المعالجة والتَّحليل والاستنتاج في ظِلِّ التَّعامُل الرَّقمي مع المُعطيات والبيانات الجُغرافيَّة، حيثُ يتألَّف النِّظام من مجموعةٍ من العناصر والَّتي ترتبط مع بعضها بعلاقاتٍ تبادُليَّة. (المرجع السابق، 2015م، ص72)، ويُركِّز المنهج على تحليل خصائص التَّبايُن المكاني لجودة الهواء في المراكز الحضريَّة والَّتي تُؤثِّر على استدامة النَّقل الحضري.

المنهج الوصفي التَّحليلي Analytic Approach:

يصف الظَّاهرة وصفًا دقيقًا، ويُعبِّرُ عنها كيفيًّا أو كمِّيًّا، فالتَّعبير الكيفي يصف الظَّاهرة ويوضِّحُ خصائصها، أمَّا التَّعبير الكمِّي فيُعطيها وصفًا رقميًّا يُوضِّحُ مقدار الظَّاهرة أو حجمها أو درجة ارتباطها مع الظَّواهر الأُخرى. (المشوخي،2002م، ص2)، ويُركِّز المنهج على استعراض خصائص التَّوزيع المكاني لِمُلوِّثات الهواء المُحيط في حاضرة الدَّمَّام.

مصادر بيانات الدِّراسة:

تعتمد الدِّراسة على مصادِر إحصائيَّةٍ وتقارير محلِّيَّةٍ منشورة وغير منشورة، ويأتي في طليعة تلك المصادر الَّتي تستقي منها الدِّراسة بياناتها: هيئة الأُمم المتَّحدة، ووزارة الاقتصاد والتَّخطيط، وأمانة المنطقة الشرقيَّة، والمركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، والمركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، ووزارة الشُّئون البلديَّة والقرويَّة ـ وكالة التعمير والمشاريع، والإدارة العامَّة للتَّخطيط العمراني بمدينة الدَّمَّام. كما تمَّت الاستعانة بخريطة الأساس لحاضرة الدَّمَّام Base Map، استنادًا لخريطةٍ رقميَّةٍ غير منشورة لأمانة المنطقة الشرقية، الإدارة العامَّة للتَّخطيط العمراني بالدَّمَّام لعام2022م.

أساليب الدِّراسة:

في سِياق تقدير جودة الهواء وفق متوسِّط التَّركيز السَّنوي لِمُلوِّثات الهواء المحيط في حاضرة الدَّمَّام، يُمكنُ تقدير مُلوِّثات الهواء المحيط وفقًا لأجهزة الرَّصد لقياسات المحطَّات الأرضيَّة، علاوةً على مُراقبة الأقمار الصناعيَّة لملوِّثات الهواء، ولقياس مُتوسِّط التَّركيز السَّنوي لِمُلوِّثاتِ الهواء في المُدُن الحضريَّة وفقًا لقياسات المحطَّات الأرضيَّة الدَّائمة والبالغ عددها (4) محطَّاتٍ، حيثُ تمَّ استبعاد المحطَّة الخامسة في منطقة الدِّراسة لعدم توافُر بياناتٍ لملوِّثات الهواء للفترة الزمنية لعام 2021م، لاستخراج تراكيز ملوِّثات الهواء المحيط في مدن حاضرة الدَّمَّام لكُلٍّ من:(غاز الأوزون O3– أول أكسيد الكربون Co- ثاني أكسيد الكربونCo2- ثاني أكسيد النيتروجين No2– ثاني أكسيد الكبريت So2) وفقًا لأشهُر عام 2021م، وقد تمَّ استرجاع تراكيز مُلوِّثات الهواء المِعياريَّة والمُقاسة بِشكلٍ يوميٍّ لِكُلٍّ من محطَّات المراقبة الثَّابتة لجودة الهواء في منطقة الدراسة للفترة الزَّمنية الممتدَّة من 2020/11/22م وحتى 2021/12/31م، ولعدم استكمال البيانات المقاسة للوقت الفعلي لمحطَّات أنظمة مراقبة ملوِّثات الهواء تمَّ استبعاد شهري (11-12) لعام 2020م، وقصر تحليل مؤشِّر جودة الهواء وفقًا لِأشهُر عام 2021م، وفي ضوء ذلك تمَّت مُعالجة البيانات الأوَّليَّة لتركيز مُلوِّثات الهواء باختيار المحطَّات الَّتي لا تقِلُّ قيمتها عن (75%) من أصل 365 يومًا، ومن ثَمَّ جمع البيانات اليوميَّة لكُلِّ شهرٍ لاستخراج المُتوسِّطات الشَّهريَّة، ومن ثَمَّ تجميع البيانات الشهرية في متوسِّطٍ سنويٍّ لحاضرة الدَّمَّام لكافَّة محطَّات الرصد الأرضيَّة، بُغية مقارنتها بالمبادئ التَّوجيهيَّة لمُنظَّمة الصِّحَّة العالميَّة (WHO) في القيم الاسترشاديَّة المسموح بها لتعرُّض سُكَّان المدن الحضرية لملوِّثات البيئة الخارجيَّة وتأثيراتها على الصِّحَّة السُّكَّانيَّة، علاوةً على معايير اللَّوائح الوطنيَّة لجودة الهواء المحيط في المملكة العربية السعودية. وتتلخَّص أبرز المُؤشِّرات وفق تحديد القيمة العُليا لِمُلوِّث الهواء المحيط في حاضرة الدَّمَّام، وهي تُمثِّل أعلى قِيمةٍ تمَّ قِياسُها لِمؤشِّرات تركيز ملوِّثات الهواء اليوميَّة المُقاسة لِمُلوِّثات الهواء المُحيط لِكُلِّ محطَّةٍ، وعدد أيَّام تجاوُز مُلوِّثات الهواء المُحيط لِلحُدُود القُصوى المسموح بها في حاضرة الدَّمَّام، وعدد أيَّام امتثال تراكيز مُلوِّث الهواء المحيط للحدود المسموح بها، علاوةً على استخراج تركيز ملوِّث الهواء المحيط لحاضرة الدَّمَّام لمجموع قياسات مُؤشِّرات تركيز مُلوِّثات الهواء اليوميَّة مقسومةً على عدد أيَّام فترة البيانات المقاسة.

وتجدُرُ الإشارة إلى أنَّهُ تمَّ تنزيل بيانات المرئيَّات الفضائيَّة من مِنصَّةٍ Copernicus Open Access Hub استنادًا للقمر الصِّناعي Copernicus Sentinel-5p لمراقبة الغلاف الجوي، وفقًا لِلدِّقَّة المكانيَّة(5,5×3,5) كم، علاوةً على الدِّقَّة الزَّمنيَّة اليوميَّة حيثُ تُوفِّر في إمكانيَّة اشتقاق مُلوِّثات الهواء ممثَّلةً لكلٍّ من: الأوزون الأرضي وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وغيرها من ملوثات الهواء الاخرى، استنادًا لخصائص الهباء الجوِّي علاوةً على الظُّروف المتعلِّقة بالأرصاد الجوِّية ممثَّلة في:(سُرعة الرِّياح- درجة الحرارة– ارتفاع الطَّبقة الحدوديَّة– الإشعاع الشَّمسي) بمرورٍ مُتزامنٍ مع الشمس بمراقبةٍ يوميَّةٍ من الساعة العاشرة صباحًا وحتى الواحدة مساء

كما يُوضِّح الجدول رقم(1) أدناه الخصائص الطَّيفيَّة، وقد تمَّ استرجاع صُور TROPS PRERIC MONITOING لِكُلِّ WGS 84 المرئيَّات الفضائيَّة لمنطقة الدِّراسة لعام 2022م، وللمُطابقة المكانيَّة تمَّ العملُ على توحيد المرجِع الإحداثي القياسي من بيانات مُلوِّثات الهواء في الموقع، وبيانات الأرصاد الجوِّيَّة المشتقَّ من القمر الصِّناعي لنظام الإحداثيَّات، واحتساب القِيمة العُليا لتقدير مُلوِّثات الهواء إلى جانب قيمة العُمق البصري للهباء الجوِّي.

الجدول رقم (1): الخصائص الطَّيفيَّة TROPO

Spectrometer	UV	UVIS	NIR	SWIR
Band ID	1-2	3-4	5-6	7-8
Main Level 2 Products	O3	O3, so2, CH2o, aerosols NO2, Ciouds	Aerosols Ciouds	Co, CH2
Full Spectral range (nm)	270-320 300-332	305-400 400-499	661-725 725-786	2300-2343 2343-2389
Performance range(nm)	320-270	490-320	775-710	2389-2305
Spectral resolution(nm)	0,5-0,45	0,65-0,45	0,35-0,34	0,225 0,227
Spectral Sampling (nm)	0,065	0.195	1,125	0,094
Nominal SSD (km)2	5,5×3,5 5,5×3,5	5,5×3,5 5,5×3,5	5,5×3,5 5,5×3,5	5,5×7 5,5×7
Row-binning factor	2 16	2 2	2 2	a/n a/n

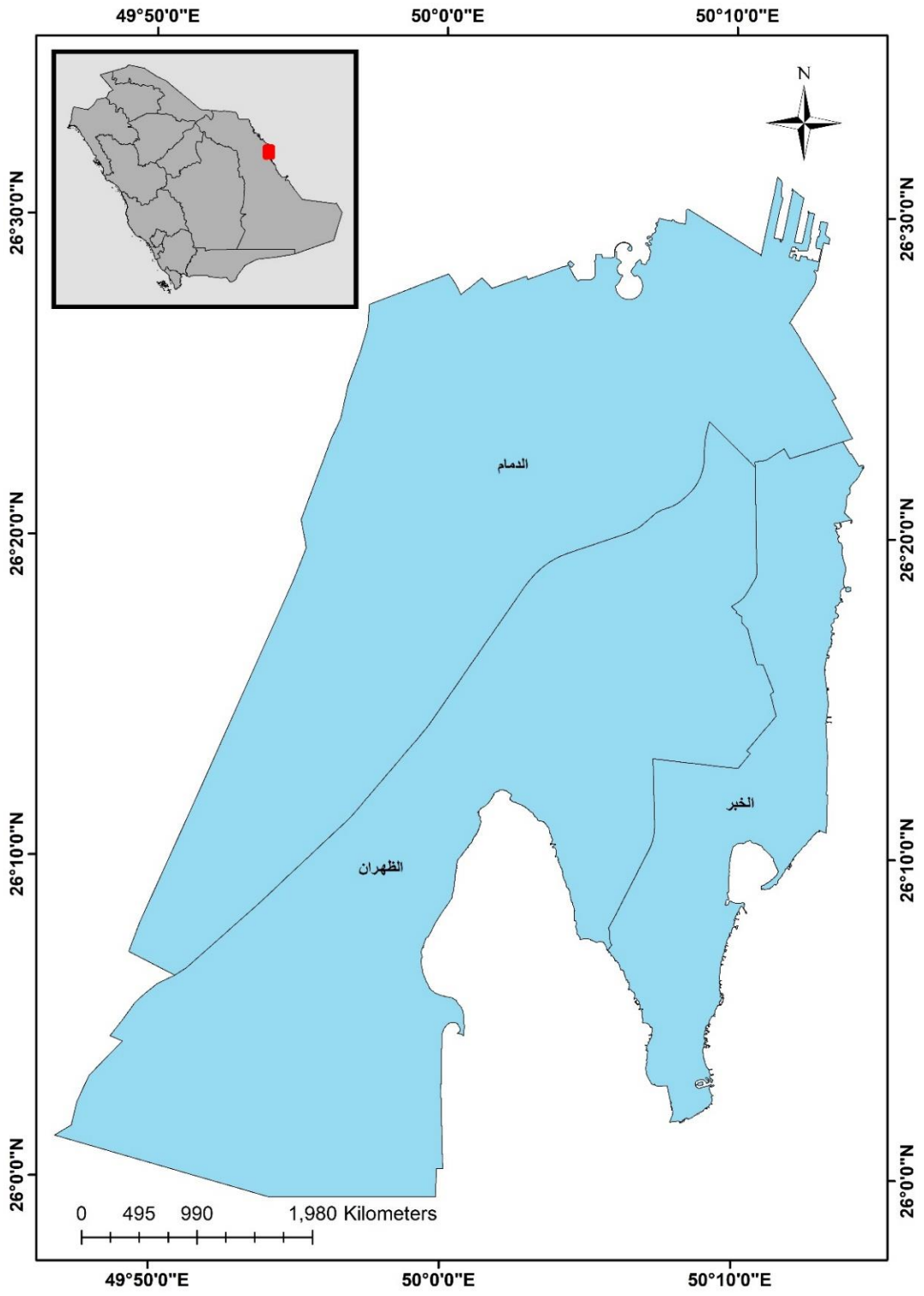
المصدر: (Ludewig, et. al,2020, p 2)

التَّحليل والمناقشة:

تقعُ حاضرة الدَّمَّام شرق المملكة العربيَّة السعوديَّة ـ الشَّكل رقم (1) ـ وتحُدُّها من الشمال محافظة القطيف والخليج العربي، ويحُدُّها شرقًا الخليج العربي، كما تحُدُّها جنوبًا وغربًا محافظة أبقيق، وتمتدُّ فلكيًّا بين دائرتي عرض (03 ′26 °26 و30 ′26°) شمالًا، وخطَّي طول (45 ′49°و15 ′50°) شرقًا.

من ناحيةٍ أخرى تبلغ المساحة الإجماليَّة لحاضرة الدَّمَّام نحو (1486,533) كيلومتر مربَّعٍ تقريبًا، في حين تبلغ مساحة مدينة الدَّمَّام نحو (648,92) كم2، كما تبلغ مساحة مدينة الظَّهران نحو (632,086) كم2، أمَّا مدينة الخُبر فتبلغ مساحتها نحو (205,52) كم2 وتمثِّل ما نسبته (43,65%) لمدينة الدَّمَّام، في حين تستأثر مدينة الظَّهران بنسبةٍ تبلغ (42,52%)، بينما حظِيت مدينة الخُبر بنسبةٍ تُقدَّر بنحو (13,82%) من إجمالي مساحة حاضرة الدَّمَّام ككل.

في ضوء عدد السُّكَّان تعتمد الدِّراسة الرَّاهنة على نتائج الإسقاطات السُّكَّانيَّة لعام 2019م، حيثُ يُقدَّر عدد سكَّان مدن حاضرة الدَّمَّام بـ(1890274) نسمة، ويتَّضح بجلاءٍ تطوُّر النُّمو السُّكَّاني لحاضرة الدَّمَّام، حيث بلغ عدد السكان لمدينة الدَّمَّام نحو (1149597) نسمة، كما تستأثر مدينة الخُبر بنحو (586307) نسمة، في حِينِ يُقدَّرُ عدد السكان لمدينة الظهران بـ(154370) نسمة، ويتبيَّن ممَّا سبق النُّمو السُّكَّاني الهائل الَّذي تشهدُهُ حاضرة الدمام.



الشَّكل رقم 1: مدن حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

المصدر: إعداد الباحثينِ استنادًا إلى أمانة المنطقة الشرقية، الإدارة العامة للتخطيط العمراني، خريطة الأساس لحاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

الجدير بالذِّكر أنَّه يُقصدُ بمستوى تركيز مُلوِّثات الهواء كمِّيَّة الغازات وعوالق الهواء الصُّلبة والسَّائلة في وحدات حجم الهواء المحيط، وهو يعني ذلك الجزء من الغلاف الجوّي وأماكن العمل، وعادةً ما يُعبَّرُ عنها بجزءٍ في المليون (PPMV)، أو جزءٍ في البليون (PPBV)، أو مليجرام لِكُلِّ مترٍ مُكعَّبٍ من الهواء (M3 /Mg)، وتُحسبُ مرجعيَّة الكمِّيَّات إلى وحدات الحجم عند درجة حرارة (25) مئوية، وضغط جوي (760) مليمتر زئبق. (الأمانة العامة، 2008م، ص5-6).

لِذا يُعدُّ تلوُّث الهواء أكثر قضايا البيئة شيوعًا في الوقت الحاضر، لمالهُ من أبعادٍ ضارَّةٍ على صِحَّةِ المجتمع الإنساني، علاوةً على تدهُور البيئة الحضريَّة، وينجُمُ تلوُّث الهواء من مصادر متعدِّدةٍ يُمكنُ تقسيمها إلى قسمين رئيسين هما:

- المصادر الطبيعية: كالبراكين والأتربة وغيرها.
- المصادر ذات المنشأ البشري: وتتلخَّص في مصادر ثابتةٍ، والَّتي تنطلق على سبيل المثال من مصانع الأسمنت ومحطَّات توليد الطاقة الكهربائية، وأُخرى متحرِّكة كالغازات الَّتي تبعثها وسائل النَّقل على وجه العموم.

ويُقصدُ بملوِّثاتِ الهواء أي مادَّةٍ يؤدِّي تصريفها في الهواء بطريقةٍ مباشرةٍ أو غير مباشرةٍ إراديَّةٍ أو غير إراديَّةٍ إلى تجاوُز المقاييس، وقد تتسبَّب بالإضرار بالإنسان أو بالكائنات الحيَّة الأُخرى أو بالموارد الطَّبيعيَّة، في حينِ يُقصدُ بجودة الهواء خصائص حالة الهواء وفق المقاييس والمعايير الوطنيَّة لجودة الهواء لحماية البيئة وصحَّة الإنسان. (وزارة البيئة والمياه الزراعة، 2020م، ص5).

في سِياقِ ذلك تتعدَّد مُلوِّثات الهواء، ويُقصدُ بها مُلوِّثاتُ الهواء الخارجي. أمَّا فيما يتعلَّق بتلوُّث الهواء الدَّاخلي فهو ما يقتصر داخل المسكن من مُلوِّثاتٍ للهواء. الَّتي تؤدِّي إلى زيادة نسبة الغازات والمركبات، والتي يمكن إجمالها وفقًا لما يلي:

1- الملوِّثات الصُّلبة: وتتمثَّل في: (الغبار والجُسيمات العالقة في الهواء).
2- الملوِّثات الغازيَّة وتتمثَّل في: أكاسيد الكربون (غاز أول أكسيد الكربون (co)، وغاز ثاني أسيد الكربون (Co2) - أكاسيد النيتروجين (Nox) - أكاسيد الكبريت (sox)- المؤكسدات وأهمُّها غاز الأوزون الأرضي (O3) - الغازات الهيدروكربونية (HC). (عبد الحفيظ،2014م، ص 49).

في سِياقِ ذلك تُدركُ دولُ العالم ـ في سبيل تحقيقها لأهداف التنمية المستدامة ـ ضرورة مُواجهة التَّحديات النَّاشئة عن تلوُّثِ الهواءِ لتأثيرها على ركائز استدامة الاقتصاد والبيئة والمجتمع، نظير ما تتكبَّده من تكاليف اقتصاديَّة جرَّاء الوفيَّات أو الإصابة بأمراضٍ ناجمةٍ عن التَّعرُّض للتلوُّثِ الهوائي، والَّتي انعكست تجلِّياتها في النَّظر في أهداف الاستدامة للحدِّ من مخاطر التلوُّث الهوائي بحلول 2030 ممثَّلةً في الهدف الثالث: (الصِّحَّة الجيِّدةُ والرَّفاه)، بُغية الحدِّ من الأمراض والوفيَّات نتاج التَّعرُّض لتلوُّثِ الهواء، كما يتضمَّن الهدف السَّابع: (طاقةً نظيفةً وبأسعارٍ مقبُولة) نسبة السُّكَّان الَّذين يعتمدون على الوقود والتكنلوجيا النَّظيفة، والهدف الحادي عشر المعني بمُدُنٍ ومجتمعاتٍ مُستدامةٍ فيما يختصُّ بالمتوسِّطِ السَّنوي لمستويات التَّركيز المقبول للجُسيمات الدَّقيقة، علاوةً على الهدف الثالث عشر: (العمل المناخي).

ومن هذا المبدأ تعاني البيئة الحضريَّة في المملكة من تنامي المشكلات البيئيَّة ولا سيَّما المدن الكبرى، فهي تُعدُّ الأكثر تعرُّضًا للتَّلوُّث البيئي نتاج ازدياد الأنشطة البشريَّة والحاجة الماسَّة للحصول على المواد الخام لتحقيق أكبر العوائد الاقتصاديَّة في فترةٍ زمنيةٍ وجيزة، لتحقيق النُّمو والرَّفاه الاقتصادي، ومع الاستمرار المتزايد في استنزاف تلك الموارد وعدم توافُقها مع قُدرةِ النُّظم البيئيَّة، ممَّا أدَّى إلى الإخلال بالتَّوازن البيئي كمًّا وكيفًا، ممَّا ينذر بمرحلة الخطر وضرورة وأهمِّيَّة حماية البيئة ومكتسباتها، لذا أولت المملكةُ في خُطَطِها التَّنمويَّة أهمِّيَّةً للتَّخطيطِ بتكامُل وتناسُق المقدرة البشريَّة والموارد البيئيَّة المتاحة، على ألَّا يكون التَّخطيط مُنصبًّا على الجدوى الاقتصادية وعدم الاكتراث بالتَّقييم البيئي، لذا وإدراكًا من المملكة بمسؤوليَّتها التامَّة تجاه قضيَّة تغيُّر المناخ وحماية كوكب الأرض والالتزام بالاتِّفاقيَّات الدوليَّة ـ ولاسيَّما كونها أحد مصدِّري النِّفط ـ فقد وضعت العديد من المبادرات والتشريعات لحماية البيئة من التَّلوُّث البيئي، فقد أصدرت وزارة البيئة والمياه والزراعة مشروع اللَّائحةِ التَّنفيذيَّة لجودة الهواء في المملكة في عام 1441/11/16هـ، وتجدُر الإشارة إلى أنَّ قوانين حماية البيئة تتكوَّن من جزأين: أحدهما يتعلَّق بحماية الهواء من الملوِّثات، أمَّا الجزء الآخر فيتعلَّق بقوانين تختص بالصِّحَّة العامَّة، سعيًا في تحقيق التَّنمية المستدامة، وتأكيدًا لدورها في الجهود الدَّوليَّة بانتهاج قانون حماية الهواء من الملوِّثات البيئيَّة، وتعزيز دور كُلٍّ من الأفراد والمجتمع ككل في رفع مستوى الوعي البيئي، انطلاقًا من واجبها في المقام الأول دينيًّا وإنسانيًّا بأنَّ حماية البيئة هي حماية البشريَّة ذاتها.

وفقًا لتقرير مؤشِّر الأداء البيئي Environment Performance Index (EPI) لتقييم السياسات البيئية العالميَّة ومدى فعاليَّتها في تحقيق الاستدامة العالميَّة، تحتل المملكة المرتبة التِّسعين من بين مائةٍ وثمانين دولة عالميًّا استنادًا لعام 2020م، حيثُ خضعت لاثنين وثلاثين مؤشِّر أداءٍ ضمن الفئة الحادية عشرة تشملُ: الصِّحَّة البيئية، والتَّنوُّع البيولوجي للنِّظام البيئي. Wendling, et al, Environment Performance Index (EPI)2019.

من هذا المنطلق يُجسِّد تلوُّثُ الهواء ـ (المعنيُّ به في الدِّراسة هنا) الصَّادر من وسائل النقل الحضري على وجه الخصوص ـ خطرًا يُهدِّد كافَّة الأنظمة البيئيَّة في السِّياقِ الحضري جرَّاء ما تلفِظُهُ وسائلُ النَّقل عبر عوادمها من غازاتٍ خطرةٍ، وتآكل إطارات كُلٍّ من المركبات والشاحنات، فضلًا عن خزَّانات محطَّات وقود البنزين وخزَّانات صهاريج الشاحنات المتنقِّلة في السِّياقِ الحضري، لِتُؤثِّرَ جميعُها بتفاعُلِها في الغلاف الجوي، وتتسبَّب في حدوثِ الدُّخان المتصاعد، ومن ثمَّ تدنِّي مُستويات الرُّؤية على الطُّرقِ الحضريَّة ووقوع الحوادث المروريَّة.

في ضوء ذلك تساهم وسائل النقل بما نِسبتُهُ (82.4%) من غاز أول أكسيد الكربون (Co) في الهواء الجوِّي، وينتج هذا الغاز عن عمليَّة الاحتراق غير الكامل للوقود المستخدم في وسائل النقل، كما تُساهمُ وسائل النَّقل بما نِسبتُهُ(55.5%) من أكاسيد النيتروجين في الهواء الجوِّي، ومن أهمِّ هذه الأكاسيد: أول أكسيد النيتروجين (No)، وثاني أكسيد النيتروجين (No2)، وأكسيد النيتروز(N2o)، وتُسبِّبُ أكاسيد

النيتروجين بالإضافة إلى (أكاسيد الكربون وغيرها من الغازات) بِحُدُوثِ ظاهرة الضَّباب الدُّخاني (Smog) الَّتي تنتج من اتِّحاد الضَّباب (Fog) مع الدُّخان (Smoke)، وتحدُثُ هذه الظَّاهرةُ فوق المدن الصِّناعيَّة الكبرى المزدحمة بوسائل النَّقل، كما تتفاعل أكاسيد النيتروجين مع بخار الماء فينتج حمض النيتريك (HN3) الَّذي يتسبَّبُ بتشكُّلِ المطر الحمضي. (الطراونة، 2015م، ص59).

كما أنَّ من مُلوِّثاتِ الهواء الأُخرى تلوُّث الهواء بمركَّبات الرُّصاص الَّذي ينتج من شدَّة ازدحام المدن بالسُّكَّان بكافَّة وسائل النقل، وما تُحدِثُهُ من أضرارٍ خطيرةٍ بالبيئة نتيجة انبعاث كميَّاتٍ هائلةٍ من الغازات الَّتي تمتدُّ مع الأشعة فوق البنفسجيَّة لِتُكوِّن الضَّباب المدخن القاتم اللَّون، وينتج عنهُ اللَّون الأسود الذي يكسو مباني المدن الصناعية. (الريفي،2015م، ص132) لِيُشكِّل خطرًا على صحَّةِ الإنسان، وسببًا للتَّدهُورِ البيئي، ولاسيَّما أنَّ تلوُّث الهواءِ لا يقتصرُ فقط على مدى تركيز الملوِّثات في الهواء، وإنَّما على حالة الجوِّ وقُدرتها في امتصاص تلك الملوِّثات وانبعاثها بعيدًا عن مصادرها.

في سياق ذلك تبرُزُ حاضرة الدَّمَّام كواحدةٍ من المراكز الحضريَّةِ الَّتي تشهد تلوُّثًا في المملكة، بسببِ موقعها على الخليج العربي ونموِّها الحضري المتسارع، والتَّقدُّم الاقتصادي بكونها مقرًّا للنِّفط والغاز الطَّبيعي، وما يُرافِقُهُ من نموٍّ لشبكاتِ النَّقل الحضري، وممَّا لا شكَّ فيه أنَّ الشَّاحنات والزِّيادة الهائلة في أعدادِ المركبات والَّتي تمَّ ذِكرُها آنفًا، تلعب دورًا حاسمًا بكونها العامل المسؤول عن حدوث انبعاثاتٍ جسيمةٍ في النِّظام البيئي، رغم وقوع المناطق الصِّناعيَّة والتَّدفئة المنزليَّة وما تُسهمُ به بقدرٍ من المُلوِّثات في المجال الحضري، وممَّا يزيد الأمر خطورةً ما تتَّسمُ به منطقة الدراسة من طبيعةٍ صحراويَّةٍ لتكون دافعًا في إثارة الرياح، وتجسِّد انبعاثات ملوِّثات الهواء في مدن حاضرة الدَّمَّام، لتبيِّن خطر تلوُّث الهواء والَّذي مازال عالقًا لساعاتٍ طيلة اليوم، حيثُ تُوجدُ في منطقة الدراسة محطَّاتٌ ثابتةٌ ومحطَّاتٌ للمناطق الصناعية والبالغ عددها اثنتان، كما تُوجدُ أيضًا سيَّارةٌ متنقِّلةٌ لقياس تلوُّث الهواء. (الدراسة الميدانية، عام 2022م)، وفي ظلِّ تلك الظُّروف نصَّت اللَّائحة التَّنفيذيَّة لجودة الهواء في المملكة باعتبار شواطئ البحر ضمن المناطق الحسَّاسة بيئيًّا، حيثُ يُؤدِّي الاختلالُ البيئيُّ لحدوث مخاطر سلبيَّةٍ على البيئة الحضريَّة.

ويتبيَّن ممَّا سبق أنَّ الحدود المسموح بها لجودة الهواء المحيط قد تتفاوت من دولةٍ لأخرى وفقًا لأسبابٍ متعدِّدةٍ تتحكَّم بها الرُّؤية في مدى تقدير خطورة تلك الملوِّثات على البيئة، والنَّابع من كمِّيَّة مصادر ملوِّثات الهواء ونوعيَّة تلك الملوِّثات ومدى استمراريَّتها، علاوةً على الخصائص الَّتي تتَّسم بها تضاريس المدن المعرَّضة للتَّلوُّث، والَّتي تلعب دورًا مهمًّا في تحديد تركيز أو انتشار ملوِّثات الهواء في السِّياق الحضري، وإزاء هذهِ المخاطر حظيت مُتابعة مؤشِّرات جودة الهواء باهتمامٍ بالغٍ في رؤية المملكة 2030، حيثُ أُنشِئت مراكز وطنيَّةٌ لمراقبة جودة الهواء.

ويُقدِّمُ المركز الوطني لِلأرصادِ مُؤشِّرًا لجودة الهواء، حيثُ يُتيحُ المركز الوطنيُّ للرَّقابة على الالتزام البيئي خدمةً الكترونيَّةً للتعريف بحالة الجوِّ استنادًا للبيانات الواردة من محطَّات رصد ومراقبة جودة الهواء، ويُعبِّرُ دليل جودة الهواء عن مُلوِّثات الهواء الرئيسة التالية: أوَّل أكسيد الكربون (CO2)، وثاني أكسيد النيتروجين (NO2)، والأوزون الأرضي (O3)، وثاني أكسيد الكبريت (SO2)، وذرَّات الغبار (PM10)، وذرَّات الغبار (PM2.5). (المِنصَّة الوطنيَّة المُوحَّدة،2022م).

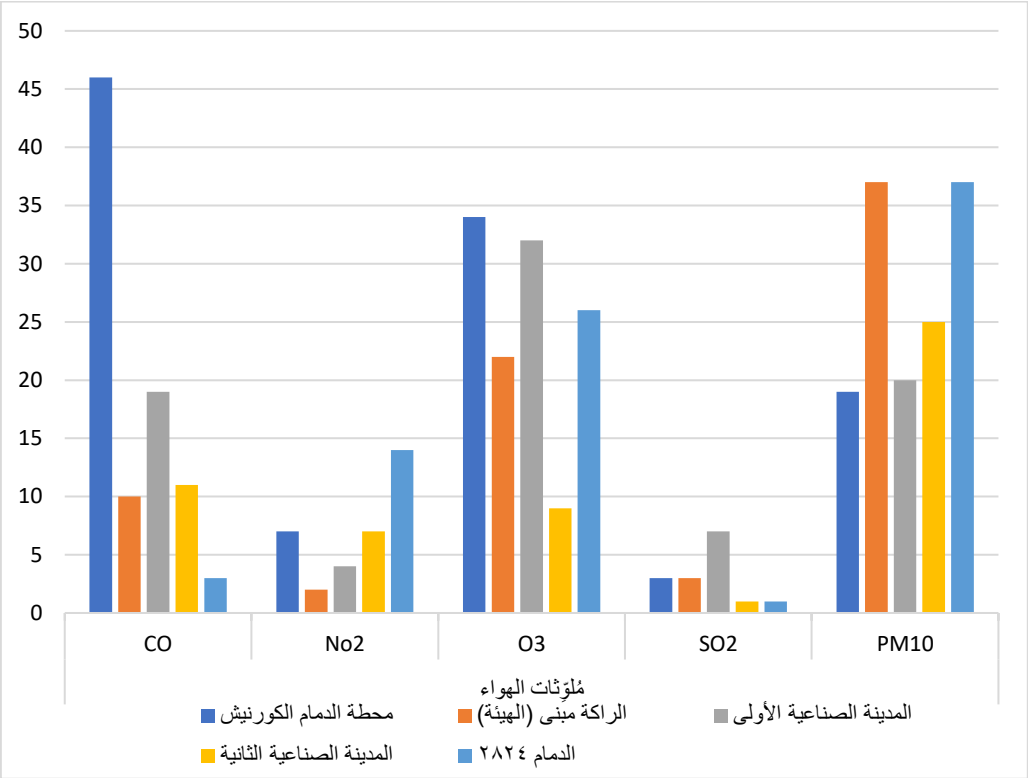
كما تمَّ إصدار معايير نسب مُلوِّثات الهواء المسموح بها في المدن الحضريَّة بوضع محطَّاتٍ تفاعُليَّةٍ لقياس جودة الهواء في العديد من المدن الحضريَّة، والبالغ عددها خمس محطاتٍ ممثَّلة في: (محطَّة الدَّمَّام الكورنيش- مبنى الهيئة الزَّاكة -المدينة الصناعية الأُولى- المدينة الصناعية الثانية- محطَّة الدَّمَّام 2824) وفقًا لعام2021م، كما يُظهِرُ الجدول رقم (2) مؤشِّر جودة الهواء في مدن حاضرة الدَّمَّام استنادًا لعام 2021م، حيثُ تُشيرُ قيمة جودة الهواء للمحطَّات جميعها بمؤشِّرٍ صحي، أي أنَّ قيمة جودة الهواء لم تتجاوز المعايير المحدَّدة.

الجدول رقم (2): مُؤشِّر جودة الهواء في محطَّات الرصد البيئي في مدن حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2021م.

م	محطَّة الرَّصد البيئي	مُلوِّثات الهواء					مقياس جودة الهواء
		CO	No2	O3	SO2	PM10	
1	محطَّة الدمام الكورنيش	46	7	34	3	19	صِحّي
2	الزَّاكة مبنى (الهيئة)	10	2	22	3	37	صِحّي
3	المدينة الصِّناعيَّة الأولى	19	4	32	7	20	صِحّي
4	المدينة الصِّناعيَّة الثَّانية	11	7	9	1	25	صِحّي
5	الدَّمَّام 2824	3	14	26	1	37	صِحّي

المصدر: مؤشِّر جودة الهواء بتاريخ 2021/7/10م، 2:32 PM.

في حين تُوضِّح الخريطة التَّفاعليَّةُ لمؤشِّرات جودة الهواء العالمي (AQL) في منطقة الدِّراسة والبالغ عددها أربع محطَّاتٍ ممثَّلة في كلٍّ من: (المدينة الصناعيَّة الأُولى- كورنيش الدَّمَّام- أرامكو – المختبر) كما يتَّضح من الشكل رقم (2) ومؤشِّر جودة الهواء في الوقت الحالي للمحطَّات في حاضرة الدَّمَّام في الجدول رقم (3):



الشكل رقم (2): التَّوزيع الجُغرافي لمُؤشِّر جودة الهواء العالمي (AQL) في محطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2021م.

المصدر: مؤشِّر جودة الهواء العالمي (AQL)، بياناتٌ منشورةٌ عن محطَّاتِ الرَّصد في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2021م.

الجدول رقم (3): مؤشِّر جودة الهواء العالمي (AQL) لمحطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2021م.

م	المحطَّة	مؤشِّر جودة الهواء	مقياس جودة الهواء
1	المختبر	37	جيِّد
2	المدينة الصِّناعيَّة الأولى	32	جيِّد
3	كورنيش الدَّمَّام	46	جيِّد
4	أرامكو	154	غير صِحِّي

المصدر: مؤشِّر جودة الهواء العالمي (AQL)، بياناتٌ منشورةٌ عن محطَّاتِ الرَّصد في حاضرة الدَّمَّام بتاريخ 2021/7/10م، PM: 2:32

يعتمدُ مُؤشِّر جودة الهواء على قياس الجُسيمات (PM2.5 و PM10) والأوزون (O3)، وثاني أكسيد النيتروجين (NO2)، وثاني أكسيد الكبريت (SO2)، وأوَّل أكسيد الكربون (CO)، وتقوم معظم المحطَّات الموجودة على الخريطة بمراقبة بيانات كُلٍّ من: PM10 و PM2.5 ولكنْ هناك بعض الاستثناءات، حيثُ يتوفَّر PM10، كما يُوضِّح مؤشِّر جودة الهواء في الوقت الحالي، حيثُ تستند جميع القياسات على قراءات الساعة، على سبيل المثال فإنَّ تقريرًا في السَّاعة الثَّامنة صباحًا يعني أنَّه تمَّ إجراء القياس من الساعة السابعة صباحًا إلى الساعة الثامنة صباحًا، وهو مِقياسٌ يُستخدمُ مِن قِبلِ الوكالات البيئيَّة والهيئات العامَّة الأُخرى في جميع أنحاء العالم لقياس مدى نظافة الهواء. ونشير هنا إلى أنَّ الموقع الالكتروني مُقدَّمٌ بواسطة مشروع جودة الهواء العالمي (WAQL.INFO: WORLD AIR QUALTY INAEX).

ومن المُلاحظِ عند استقراء حجم مُلوِّثات الهواء لحاضرة الدَّمَّام في المحطَّات الدَّاخليَّة في المملكة مقارنةً مع محطَّات الرَّصد الآني لمؤشِّر جودة الهواء العالمي (AQL)، والمقارنة مع المعايير الدَّوليَّة رغم تزامُن الرَّصد الآني للمحطَّات، نجد أنَّ المحطَّات الدَّاخليَّة تُسجِّل حالةً جيِّدةً لمؤشِّر الهواء، في حين يُسجِّل مؤشِّر جودة الهواء العالمي (AQL) حالةً جيِّدةً لثلاث محطَّاتٍ في منطقة الدِّراسة، حيثُ تظهرُ باللَّونِ الأخضر، بينما تُسجِّلُ المحطَّة الرَّابعة مؤشِّرًا غير صِحِّيٍّ لجودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام، ممَّا يعني تجاوُز مُؤشِّر جودة الهواء المعايير المسموح بها.

الجدير بالذِّكر أنَّه رغم توفُّر محطَّاتٍ لقياس مُلوِّثات الهواء في مدن حاضرة الدمام والمملكة بشكلٍ عام، إلَّا أنَّه يندُرُ توفُّر محطَّاتٍ مُخصَّصةٍ لقياس التلوُّث النَّاجم عن الحركة المروريَّة في المدن الحضريَّة.

ومن نافلة القول أنَّه تتلخَّص أهمُّ العوامل التي تتحكَّم في نسبة الانبعاثات الصَّادرة من وسائل النَّقل الحضري في العوامل الَّتي يُمكن إجمالها وفقًا لما يلي:

أ- العوامل المباشرة:

1- العدد الكلّي للمركبات: تعتمد نسبة الانبعاثات بشكلٍ رئيسٍ على العدد الإجمالي للمركبات المارَّة على الطريق، حيثُ تتزايدُ هذهِ النِّسبةُ بتسارُعٍ في ظلِّ النُّمو السُّكَّاني ومتطلَّبات التَّنمية.

2- نوع المركبة وكفاءتها وتاريخ إنتاجها: كمِّيَّة الانبعاثات الصَّادرة عن المركبات تتفاوُتُ تبعًا لأنواعها، وتُعتبرُ كفاءةُ المركبة عاليةً إذا استطاعت قطع مسافاتٍ أكبر بوقودٍ أقل، كما تُعتبرُ المركباتُ المُنتجةُ قديمًا أقل كفاءةً من غيرها.

3- سعة المحرِّك: تنعكس قُدرة محرِّك المركبة على مُعدَّلِ استهلاك الوقود، وبالتَّالي على كمِّيَّة الانبعاثات الصَّادرة عنها.

4- مُعدَّلُ سير المركبة وسرعتها: تنعكس المسافات الَّتي تقطعها المركبة يوميًّا بشكلٍ تلقائيٍّ على كمِّيَّةِ الانبعاثات الصَّادرة منها، كما تعمل معظم المركبات بكفاءةٍ أعلى في سرعةٍ ثابتةٍ ما بين (80-100) كلم/ الساعة، حيثُ تكون نسبة الانبعاثات أقل ما يُمكن.

5- جودةُ الوقود: تُعدُّ جودةُ الوقود عاليةً إذا كانت كمِّيَّةُ الانبعاثات الصَّادرة عنه بعد الاحتراق أقل من غيرها في الأنواع الأخرى.

6- أحوال الطَّريق ونظام السَّير: تعمل الطُّرُقُ غير الممهَّدةِ أو الَّتي تحتاجُ إلى صيانةٍ على إتلاف المركبات فضلاً عن زيادة ازدحامها، وبالتَّالي زيادة الانبعاثات لتغيُّر سرعة المركبة، كما أنَّ سوء تنظيم حركة السَّير يقُودُ إلى الاختناقات على الطُّرق، ممَّا يُسبِّبُ الاحتراق غير الكامل للوقود، ويُضاعف نسبة الانبعاثات كمًّا ونوعًا.

ب- العوامل غير المباشرة: ممثَّلةٌ فيما يلي:

- العوامل المناخيَّة: (سرعة الرياح واتِّجاهها، والأمطار، والرطوبة).
- تضاريس الطَّريق: (تؤثِّر على تعديل سرعة الرياح واتجاهها).
- النَّباتات على جانبي الطَّريق: يُحدِّدُ ارتفاع وكثافة النَّباتات على جانبي الطريق قدرتها على تنقية الهواء من الملوِّثات. (صالح،2014م، ص137-138-139).

إجمالًا تشكِّل ملوِّثات الهواء أهم الأخطار المُحدِقة لتدهُور البيئة الحضريَّة، حيثُ تُسهم في نشوء الظَّواهر المناخيَّة كظاهرة الاحتباس الحراري والأمطار الحامضيَّة وطبقة الأوزون، كما لا تقتصر أضرارُ تلوُّثِ الهواءِ على الظَّواهر الجوِّيَّة، بل تنتابُ صِحَّة الإنسانِ الجسديَّة والنَّفسيَّة كالإصابة بكلٍّ من أمراض العيون والجهاز التَّنفُّسي، لِتُجسِّدَ عبئًا آخر لتوفير الرِّعاية الطِّبِّيَّة، كما تُلحقُ الملوِّثاتُ الهوائيَّة في السِّياقِ الحضري أضرارًا ماديَّةً لانعدام الرُّؤيةِ على الطُّرق الحضريَّة وحدوث الاختناقات المروريَّة ممَّا تؤدِّي إلى ارتفاع حجم الحوادث المروريَّة في المدن الحضريَّة لسيادة الضباب والأتربة.

مُؤشِّر محطَّات جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام:

ثمَّة ظاهرتانِ مُهِمَّتانِ تحدُثانِ في البيئة الحضريَّة للمناخ الحضري، تتمثَّلان في جزيرة الحرارة الحضريَّة (UHI)، وجزيرة التَّلوُّث الحضري (UPI)، حيثُ تُشيرُ الظَّاهرةُ الأُولى إلى درجات الحرارة الأكثر دِفئًا في الأراضي الحضريَّةِ مُقارنةً بالمناطق الرِّيفيَّة المُجاورِة بسبب الأنشطة البشريَّة، بينما تُشير الظَّاهرة الأُخرى إلى انبعاثات الملوِّثات في الغلاف الجوي الحضري بأحمالٍ يُمكنُ مُلاحظتها.(Hereher, et.al,2021, p1)

في ضوء ما سبق يُسهمُ النَّقل الحضري في إحداث التلوُّث البيئي وفقًا لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري نظير ازدياد انبعاثات المركبات، ممَّا يؤدِّي إلى حدوث التَّغيُّر المناخي على صعيد العالم ككُل، فضلاً عن إشكالات تلوُّث الهواء على مستوى المدن الحضريَّة على وجه الخصوص، لذا تُؤثِّر الحركة المروريَّة على جودة الهواء في السِّياق الحضري. ونشيرُ هنا إلى بلوغ عدد الرَّحلات المُسجَّلة في حاضرة الدَّمَّام لعام 2019م نحو(5,843005) رحلة حضريَّة، والَّتي تزدادُ بِلا شَك، وباعتبار تلك المركبات مُساهِمًا رئيسًا في مُلوِّثات الهواء في المدن الحضريَّة، علاوةً على وسائل النَّقل الأُخرى والمدن الصِّناعيَّة في السِّياق الحضري، والتي تُلحقُ بدورها ـ بلا شك ـ ضررًا بِالصِّحَّة العامَّة للسُّكَّان وللاقتصاد والبيئة الحضريَّة بوجهٍ عام.

تأسيسًا على ما سبق وبالنَّظر في منطقة الدِّراسة تتوزَّع شبكة مراقبة جودة الهواء في المنطقة الحضريَّة، حيثُ تمتلك مدينة الدَّمَّام ثلاث محطَّات مُراقبةٍ لجودة الهواء، تقعُ إحداها في الجزء الشرقي للدَّمَّام وهي محطَّة كورنيش الدَّمَّام، ومحطَّة مراقبة جودة الهواء في المدينة الصناعية الأولى، في حين تقع محطَّة مراقبة جودة الهواء في الجزء الغربي للدَّمَّام في المدينة الصناعية الثانية على امتداد طريق الملك عبد العزيز، بينما تمتلك مدينة الخبر محطَّةً لمُراقبةِ جودةِ الهواء في الرَّاكة، ويُمثِّل الجدول رقم (4) التَّوزيع الجُغرافي لشبكة محطَّات مراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

الجدول رقم (4): الموقع الجغرافي لشبكة محطَّات مر اقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

م	محطَّة مر اقبة جودة الهواء	Center x	Center y
1	محطة كورنيش الدَّمَّام	50,120167	26,491056
2	المدينة الصناعيَّة الأُولى	50,139694	26,400556

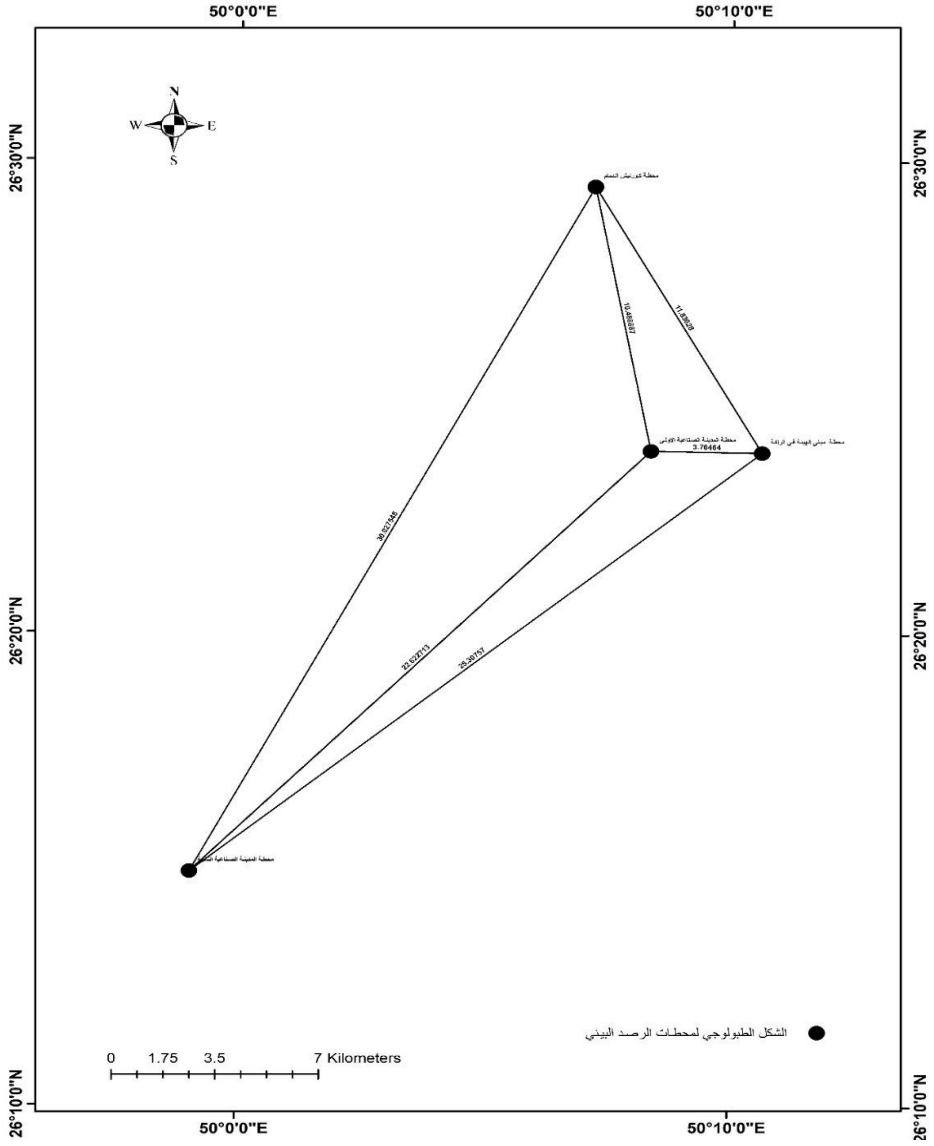
م	محطَّة مر اقبة جودة الهواء	Center x	Center y
3	المدينة الصِّناعية الثَّانية	49,977250	26,260778
4	مبنى الهيئة في "الرَّاكة"	50,177250	26,397361

المصدر: إعدادُ الباحِثينِ اعتمادًا على بيانات المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، بياناتٌ غير منشورةٍ عن موقع محطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

أمكن من خلال الموقع الجغرافي لشبكة محطَّات مراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام استخلاص ما يلي:

أ- التَّحليل الطبولوجي لشبكة محطَّات مراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام:

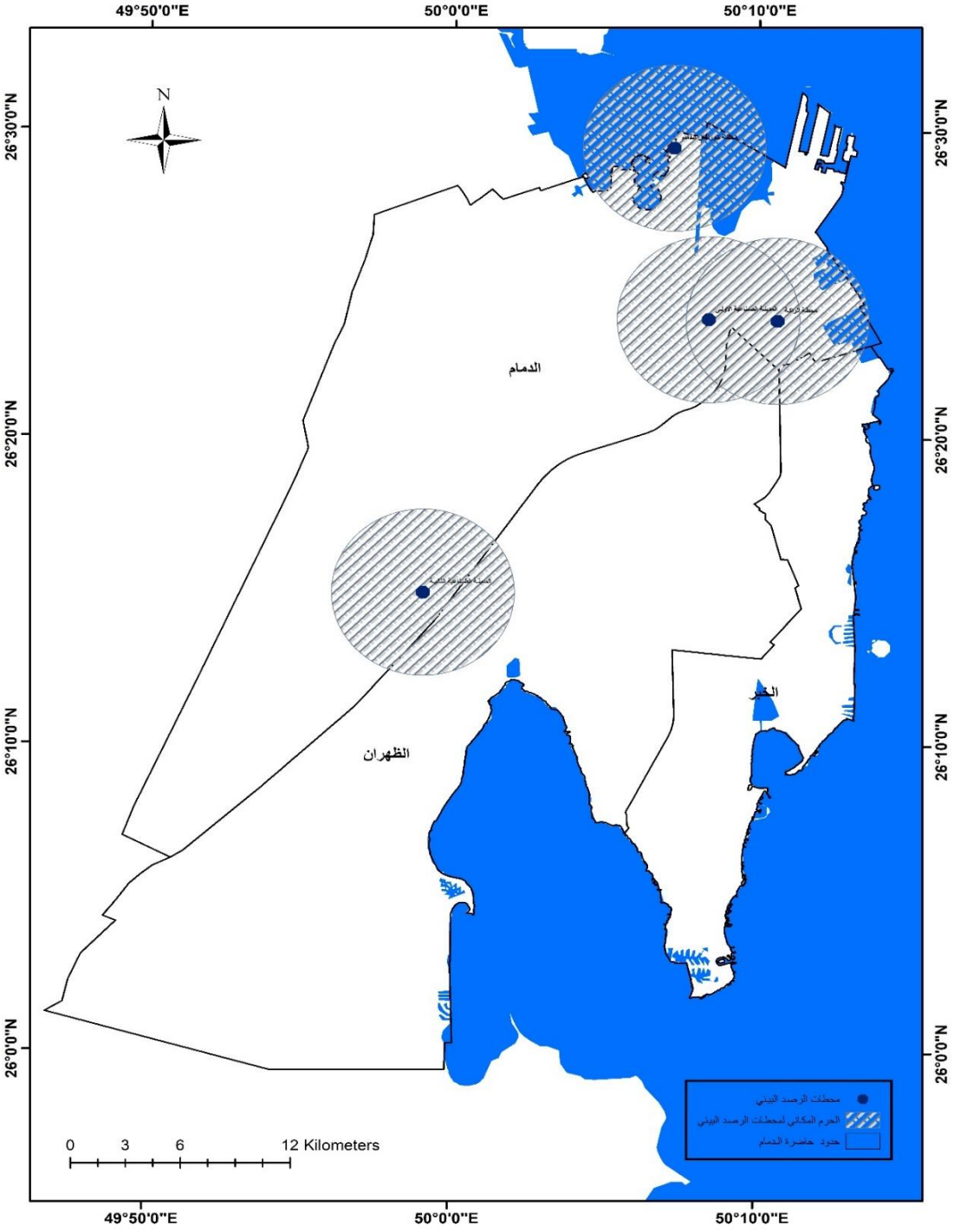
تكشف المسافات الإقليديَّة المُباشرة وفق التَّحليل الطوبولوجي عن تفاوُت التَّوزيع الجُغرافي لموقع شبكة مُراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام، حيثُ تمثِّل المسافة المباشرة بين محطَّتي جودة مراقبة الهواء الواقعة في كورنيش الدَّمَّام والمدينة الصناعية الثانية أعلاها مسافةً تصل إلى (30,02)كم، وتليها المسافة المُباشِرة بين كلٍّ من محطَّة مبنى الهيئة في الرَّاكة والمدينة الصِّناعيَّة الثَّانية بمسافةٍ تصل إلى (25,30)كم، أمَّا المسافة المُباشِرة بين كُلٍّ من محطَّة المدينة الصناعية الأُولى ومحطَّة المدينة الصناعية الثانية فتبلُغ نحو(22,62) كم، في حينِ تُقدَّرُ المسافةُ المباشرةُ بين محطَّتي كورنيش الدَّمَّام ومبنى الهيئة في الراكة بنحو(11,83)كم، بينما تصل كحدٍّ أدنى لمسافةٍ تبلغ نحو (3,76) كم بين كُلٍّ من محطة مبنى الهيئة في الراكة ومحطة المدينة الصناعية الأولى، كما يتَّضح في الشكل رقم (3).



الشكل رقم (3): الشكل الطبولوجي لشبكة محطَّات مر اقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

المصدر: إعداد الباحثينِ اعتمادًا على المركز الوطني للرقابة والالتزام على البيئة، موقع محطَّات مر اقبة الهواء المحيط في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

الجدير بالذكر أنَّ موقع محطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام يُشكِّلُ عنصرًا بالغ الأهمِّيَّةِ في ضوء مقدار تغطية محطَّة الرَّصد البيئي لملوِّثات الهواء الرَّئيسة استنادًا إلى برتوكولات مراقبة جودة الهواء المحيط للمقاييس المكانيَّة، حيثُ تُمثِّل نصف قطر دائرة (5) كم2 لِلقِياسات الأرضيَّة حول محطَّات مُراقبة جودة الهواء الحضري لتقدير حجم ملوِّثات الهواء الحضري وفق الدِّراسة الميدانيَّة حيال التَّغطية المقدَّرة للرَّصد البيئي عام 2022م، ممَّا يعكس أهمِّيَّة التَّوزيع المكاني لمحطَّات الرَّصد البيئي لمراقبة مُلوِّثات الهواء للمراكز الحضريَّة في ضوء الكثافة السُّكَّانيَّة واستخدامات الأرض الحضريَّة، علاوةً على مدى تناسُب عدد محطَّات الرَّصد للمنطقة الحضرية وفقًا للمؤشِّر العالمي والَّتي تبلُغُ كحدٍّ أعلى نحو ثماني محطَّاتٍ كحدٍّ أقصى، ويُمثِّل الشكل رقم (4) أدناه التَّغطية المكانيَّة لدائرةٍ نصف قطرها(5) كم2 لشبكة محطَّات مُراقبة جودة الهواء المحيط في سِياقِ مدن حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

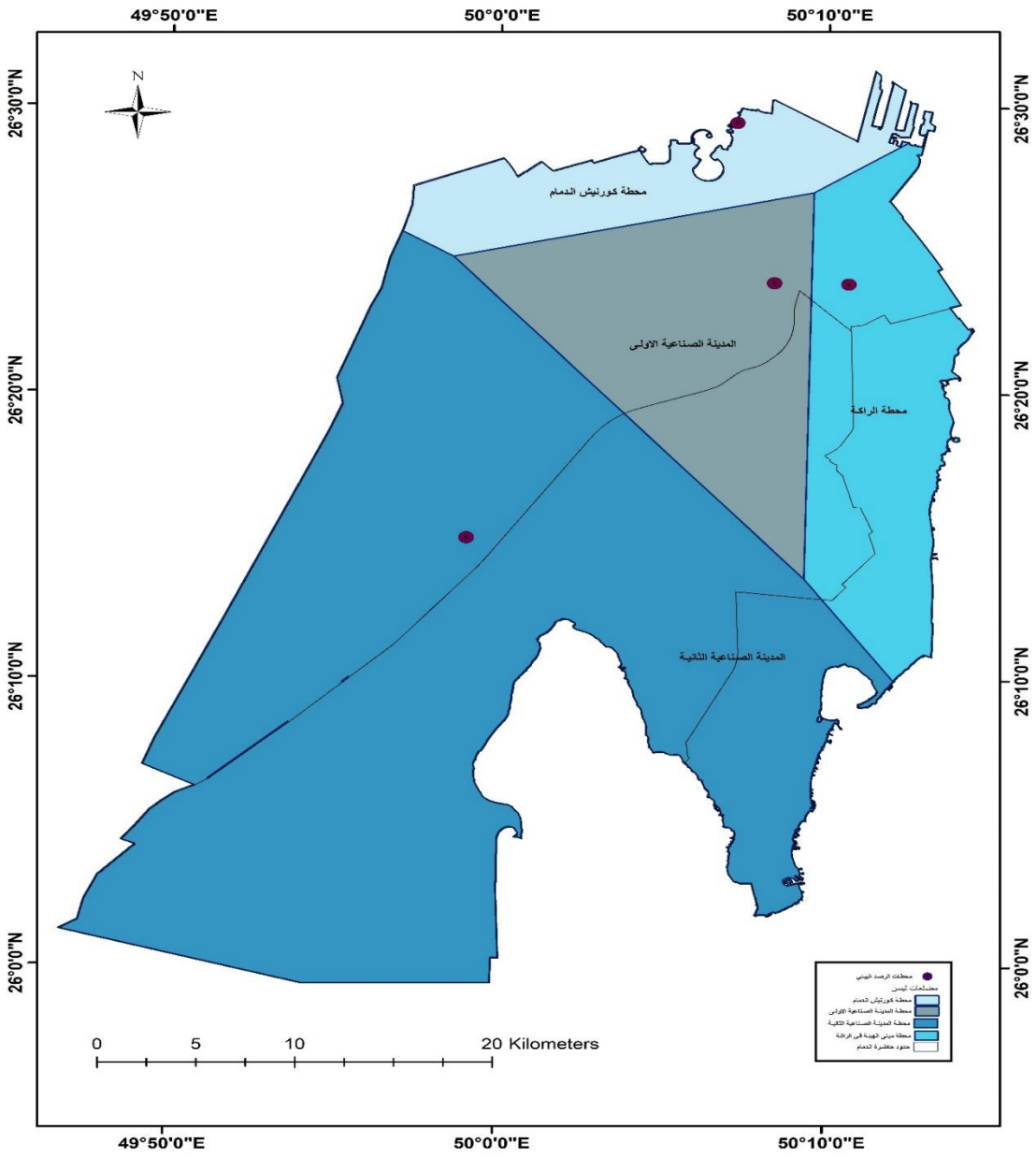


الشكل رقم (4): التَّوزيع المكاني لِنطاقِ شبكة محطَّات جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام لعام 2022م.

المصدر: إعدادُ الباحثينِ اعتمادًا على المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، موقع محطَّات مر اقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

ب- مناطق التَّخصيص (مُضلَّع ثيسن) Allocation Areas to Center:

في سِياقِ عدد محطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام، ومن خلال تطبيق مناطق التَّخصيص (مُضلَّع ثيسن) Allocation Areas to Center (تصنيف المساحات) لإيجاد مُضلَّعاتٍ حِيال نقاط محطَّات الرَّصد البيئي تصِلُ بينها استنادًا لعُنصر المسافة للتَّقدير المساحي لمحطَّات الرَّصد البيئي والبالغ عددها (4) محطَّات لجودة الهواء، لِتبيانِ المساحة الَّتي تستأثر بها محطَّة الرَّصد البيئي وفق مُضلَّعات ثيسن لمدن حاضرة الدمام، كما يُظهر الشَّكل رقم (5)، وإزاء تمثيل محطَّات الرصد البيئي كظاهرةٍ نقطيةٍ من خلال إنشاء المساحات المقدَّرة لخدمة محطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام، يكشف تطبيق تخصيص المواقع "ثايسن" لمحطَّات الرصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام لعام 2022م عن تفاوُتٍ جليٍّ لِلمساحاتِ المُخصَّصة لمحطَّات الرصد البيئي، حيثُ من الملاحظ انخفاض المساحات المخصَّصة لمحطَّات مراقبة جودة الهواء في غرب الحاضرة، في حين حظيت شرق الحاضرة بمساحاتٍ أقل، ممَّا يدُلُّ على عدم توازُن انتشار خدمة محطَّات مراقبة جودة الهواء الحضري وتوافُقها في سياق نطاق التَّأثير Buffer والمقدَّرة بنحو (5)كم2 في المراكز الحضرية، حيثُ يتَّضح إجمالًا انخفاض محطَّات الرَّصد البيئي وانعدام إمكانيَّة رصد ملوِّثات الهواء لكافَّة نواحي مدن حاضرة الدَّمَّام وفق التَّحليل المساحي، بغضِّ النَّظر عن التَّغطية المكانِيَّة المقدَّرة بنحو (5) كم2 لمحطَّة الرَّصد البيئي.



الشَّكل رقم (5): مناطق التَّخصيص (مُضلَّع ثيسن) لمحطَّات الرَّصد البيئي لحاضرة الدَّمَّام لعام 2022م.

المصدر: إعدادُ الباحِثينِ اعتمادًا على المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، موقع محطَّات مر اقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

إجمالًا يُعدُّ النَّقل الحضريُّ رُكنًا مُهمًّا في استحداثِ مواد وعناصر لِمُلوِّثات الهواء في المراكز الحضريَّة، والَّتي تُشكِّلُ بدورها ضررًا بالغًا للنِّظام البيئي، وقد كشف الاستقصاء الميداني للدراسة لعام 2022م عن عدم توافُر أي محطَّاتٍ مُخصَّصةٍ للرَّصد البيئي لقياس ملوِّثات الهواء الصَّادرة من البنية التَّحتية للنَّقل الحضري أو الحركة المروريَّة، ويقتصر تقييم جودة الهواء على محطَّات الرَّصد البيئي إجمالًا دون إيجاد مشروعاتٍ دوريَّةٍ لتقييم الأثر البيئي الحالي أو المتوقَّع لمشروعات النقل الحضري تجاه جودة الهواء الحضري، ويتَّضح ذلك من عدد محطَّات مُراقبة جودة الهواء والبالغة أربع محطَّاتٍ تعملُ في نطاق مساحة مدن حاضرة الدَّمَّام لعام 2022م، وتجدُرُ الإشارة إلى أنَّه تتوفَّر بعض المحطَّات المتنقِّلة لقياس جودة الهواء الحضري. (الدراسة الميدانيَّة، عام2022م) وتُشكِّلُ انخفاضًا عن المعدَّل العالمي لمحطَّات مراقبة جودة الهواء الحضري.

- مؤشِّر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري: (ثاني أكسيد الكربون2Co - الأوزون الأرضي وملوِّثات الهواء المحيط:

تُمثِّل مُساهمة النَّقل الحضري في تركيز مستويات مُلوِّثات الهواء للبيئة الحضريَّة من خلال البُنية التَّحتيَّة للنَّقل الحضري، علاوةً على حجم أسطول المركبات وما تُسهِمُ به من كثافة الحراك المروري في المراكز الحضرية، لذا تُشكِّلُ قياساتُ مُلوِّثاتِ الهواء اتجاهًا مهمًّا في تحقيق النقل الحضري المستدام لتوجيه الخُطط الحضريَّة للتَّنمية المُستدامة وإمكانيَّة تقييم الأثر الصِّحِّي لتعرُّض السُّكَّان لملوِّثات الهواء في البيئة الحضريَّة، وفيما يختصُّ به قطاع النقل الحضري يتَّضح جليًّا تأثير مستويات تراكيز مُلوِّثات الهواء في النطاق الحضري لكثافة شبكات الطُّرق الحضريَّة، وحجم الحركة المروريَّة في ظِلِّ غياب استخدام وسائل النقل العام في منطقة الدراسة منذ عام 1441هـ وحتَّى شهر ربيع الأول لعام 1444هـ.

ولتفسير التَّباين المكاني والزَّماني لمُلوِّثات الهواء المُقاسة وما تُسهم به الحركة المرورية نظير الازدحام المروري في السياق الحضري وعلاقته بمستويات تراكيز ملوِّثات الهواء الرئيسة خلال الفترات الدراسية والعُطلات على مدار عام 2021م، حيثُ يُمثِّل النِّصف الأول من البيانات المقاسة لمحطَّات الرَّصد البيئي وفقًا لشهر(سبتمبر) وحتى شهر(فبراير) لأيام الدراسة في ظل تأثير جائحة كوفيد-19والَّتي تتَّسم بانخفاض الحركة المرورية، وذلك لتقليص التعليم وتحوُّله إلى تعليمٍ عن بُعدٍ في منطقة الدراسة، بينما يمثِّل الجزء الآخر حتى نهاية عام 2021م في ظل استئناف الحركة المرورية للفترات الدراسية في المدن الحضرية، حيثُ يلعب عامل الزَّمن دورًا بالغ الأهمِّيَّة في مُستويات تركيز ملوِّثات الهواء، سواءً كان على مستوى اليوم الواحد أم على مدار العام ككُل، ويجدُرُ التَّنويه إلى عدم توفُّر تراكيز غازات الاحتباس الحراري كالميثان وأكسيد النِّيتروز لمحطَّات الرَّصد البيئي لحاضرة الدَّمَّام لعام 2021م. (الدراسة الميدانيَّة، عام2022م).

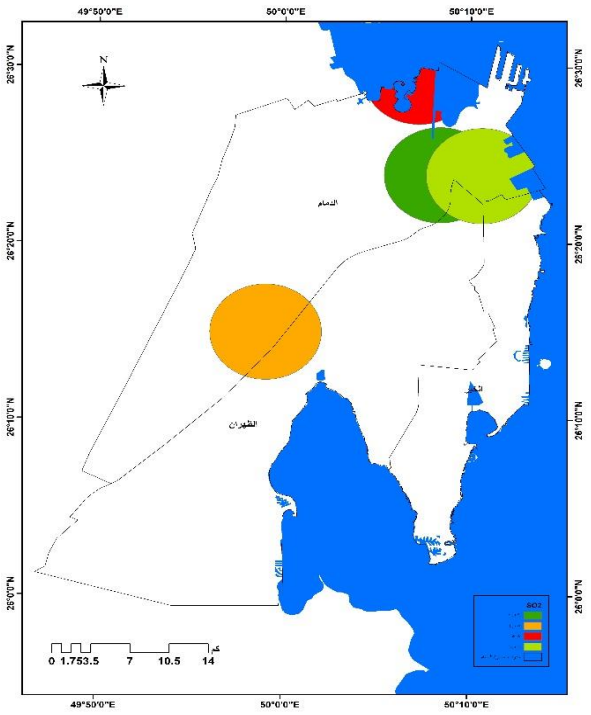
ويُلخِّص الجدول رقم (5)، والشَّكل رقم (6) مُعدَّل المتوسِّط السَّنوي لملوِّثات الهواء لمحطَّات مُراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام من خلال البيانات المقاسة لملوِّثات الهواء المحيط الرَّئيسة ممثَّلةً في كُلٍّ من: (غاز الأوزون3O – غاز ثاني أكسيد الكبريت2So - غاز أول أكسيد الكربون Co– غاز ثاني أكسيد الكربون2Co – غاز ثاني أكسيد النيتروجين2No) استنادًا لعام 2021م لمدن حاضرة الدَّمَّام لمحطَّات مراقبة جودة الهواء الآنفة الذِّكر.

الجدول رقم (5): مُعدَّل المتوسِّط السَّنوي لتركيزات مُلوِّثات الهواء المحيط لحاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2021م.

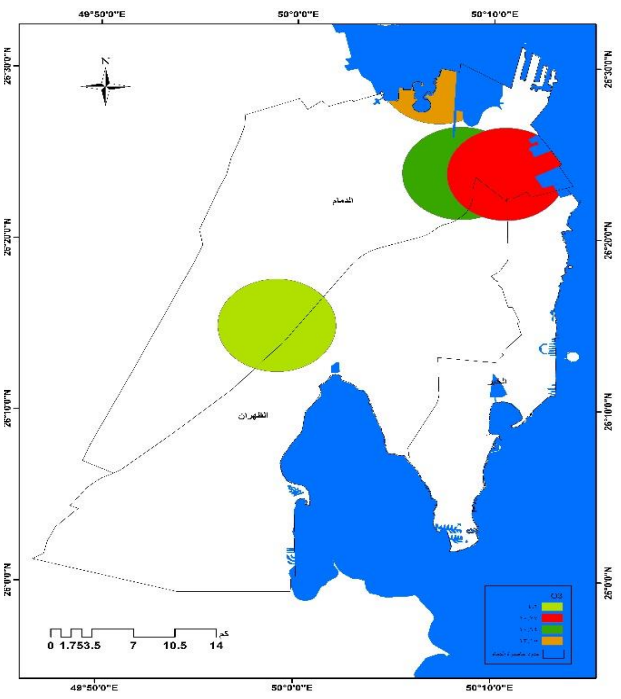
محطَّة مراقبة جودة الهواء الحضري	المتوسِّط السَّنوي لملوِّثات الهواء المحيط (%) بوحدة القياس.				
	الأوزون3O	ثاني أكسيد الكبريت2So	أول أكسيد الكربون CO	ثاني أكسيد الكربون2Co	ثاني أكسيد النيتروجين2No
	(ppb)	(ppb)	(ppm)	(ppb)	(ppb)
كورنيش الدَّمَّام	23.15	5,80	4,98	363,319	29.05
المدينة الصناعية الأولى	20,64	3,19	1,09	302,44	29,52
المدينة الصناعية الثانية	4.60	4,05	1,16	93,71	21,70
مبنى الهيئة في الراكة	10,77	6,46	0,85	288,18	23,95
الإجمالي	14,79	4,88	2,02	261,91	26,6

المصدر: حساب وتجميع الباحِثِين اعتمادًا على بيانات المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، بيانات غير منشورة عن ملوِّثات الهواء المحيط لعام2021م في حاضرة الدَّمَّام، 2022م.

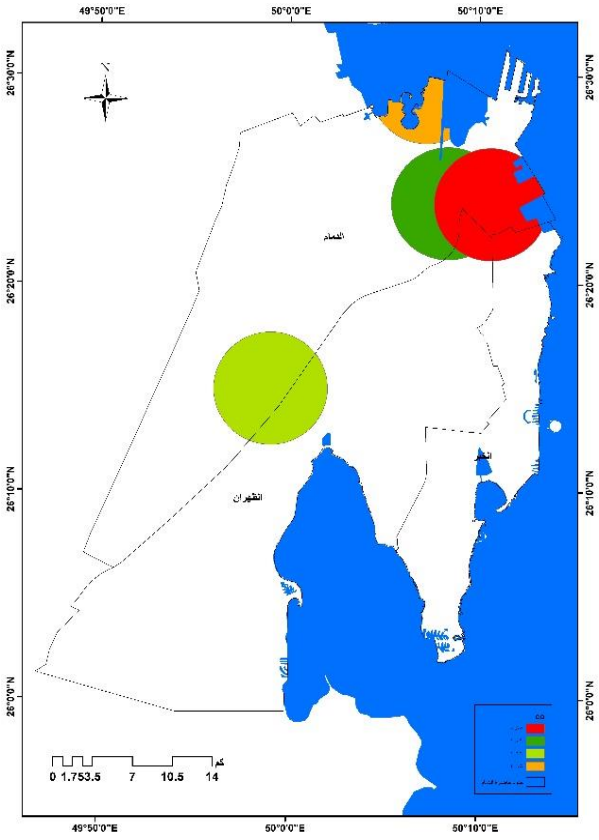
1- غازثاني أكسيد الكبريتSO2



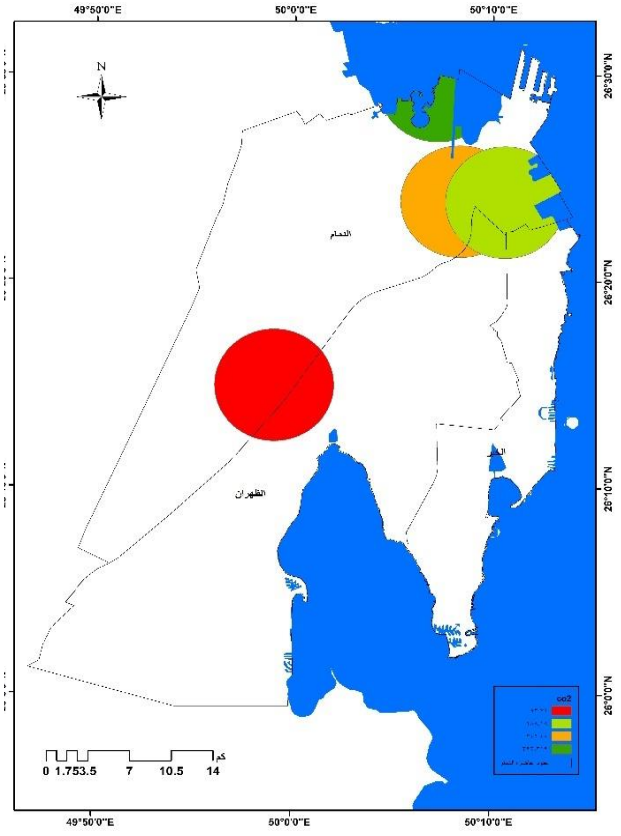
2- غازالأوزون الأرضي O3



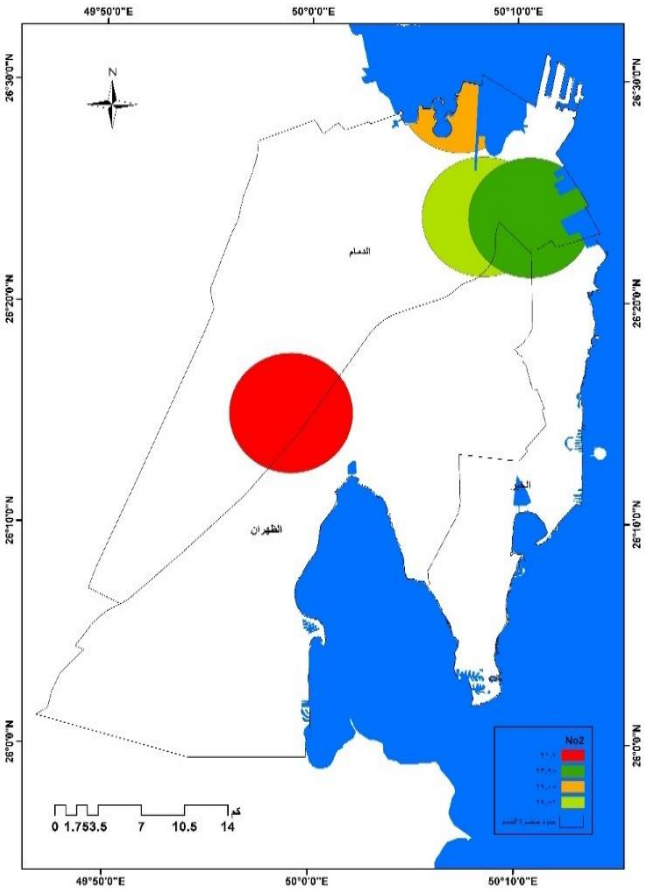
3-غازأوّل أكسيد الكربونCo



4-غازثاني أكسيد الكربونCO2



5-غازثاني أكسيد النيتروجين NO2



الشَّكل رقم (6): التَّركيز المكاني لمعدَّلات المتوسط السنوي لملوِّثات الهواء المحيط في نطاق المناطق العازلة لمحطَّات الرَّصد البيئي لحاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2021م.

المصدر: إعدادُ الباحِثينِ اعتمادًا على المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، ملوِّثات الهواء المحيط لعام 2021م في حاضرة الدَّمَّام، 2022م.

في سياق قياس مُلوِّثات الهواء المعياريَّة للهواء المحيط لمنطقة الدراسة وفقًا لشبكة مراقبة جودة الهواء الحضريَّة، يتَّضح من المتوسِّطات الشهريَّة لملوِّثات الهواء المحيط في المدن الحضرية لمحطات مراقبة جودة الهواء في حاضرة الدمام في ضوء فترتي الدراسة والعطلات وفقًا لعام 2021م، أنَّه يُمكنُ استخلاص ما يلي:

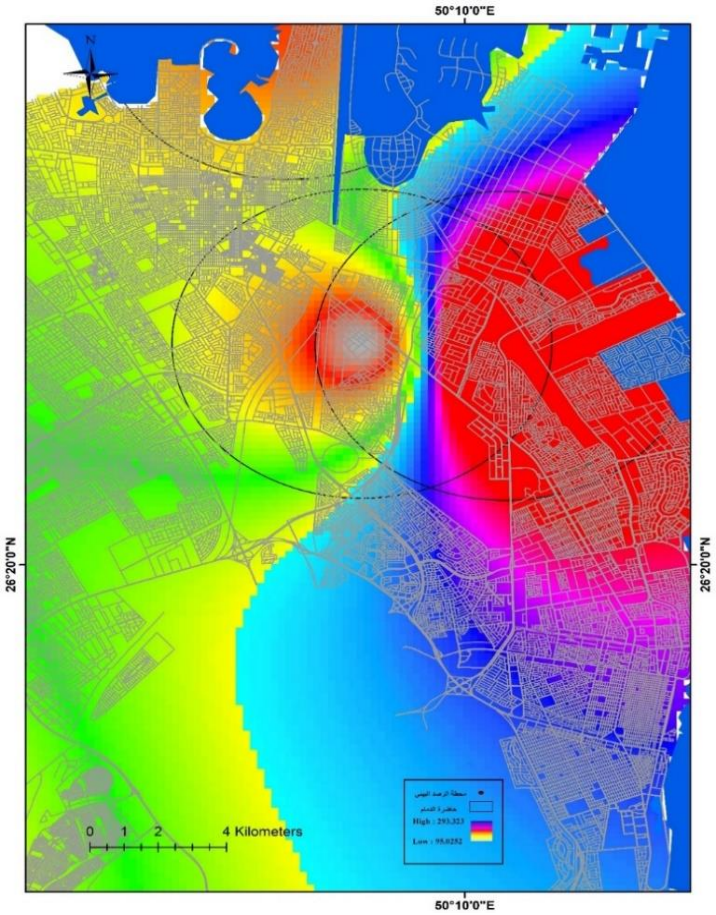
- بتحليل تركيز مُستويات غاز الأوزون O3 للمحطَّات الدَّائمة لمراقبة جودة الهواء يصل المتوسِّط السَّنويُّ لمحطَّة المراقبة لـ"كورنيش الدمام" كحدٍّ أعلى، حيثُ بلغ (23,15) جزء من البليون، كما تستحوذ محطَّة مراقبة جودة الهواء للمدينة الصناعيَّة الثَّانية كحدٍّ أدنى لتركيز غاز الأوزون O3 قيمةً بلغت (4,60) جزء من البليون، كما سجَّلت محطَّة الرَّصد في المدينة الصناعية الأولى معدَّل متوسِّطٍ سنوي بلغ نحو (20,64) جزء من البليون في منطقة الدراسة، في حين تستأثر محطَّة رصد ملوِّثات الهواء المحيط بمبنى الهيئة في الراكة بمتوسِّطٍ سنويٍّ بلغ (10,77)جزء من البليون، وسجَّلت مدن حاضرة الدمام إجمالًا لتركيز غاز الأوزون O3 لعام 2021م بمعدَّلٍ متوسِّطٍ سنويٍّ بلغ (14,79)جزء من البليون.
- تُسجِّل محطَّة مراقبة جودة الهواء في مبنى هيئة الرَّاكة مُتوسِّطًا سنويًّا لغاز ثاني أكسيد الكبريت So2 بقيمةٍ بلغت (6,46)جزء من البليون كحدٍّ أعلى، في حين تستأثر محطَّة مُراقبة ملوِّثات الهواء للمدينة الصناعية الأُولى كحدٍّ أدنى لمعدَّل المتوسط السنوي والذي بلغ (3,19) جزء من البليون، بينما تُسجِّل محطَّتا الرَّصد البيئي في كورنيش الدمام والمدينة الصناعية الثانية مُعدَّل المتوسِّط السنوي الذي بلغ (5,80) جزء من البليون و(4,05) جزء من البليون على التَّوالي، كما يبلغ إجمالي مُعدَّل المتوسط السنوي لتركيز مستويات غاز ثاني أكسيد الكبريت So2 بمحطَّات مراقبة جودة الهواء لحاضرة الدَّمَّام إجمالاً قيمةً بلغت (4,88) جزء من البليون.
- تُسجِّل محطات مراقبة جودة الهواء في قياساتها لملوِّثات الهواء لغاز أوَّل اكسيد الكربون Co وفقًا لمحطَّة كورنيش الدَّمام كحدٍّ أعلى مُعدَّل متوسِّطٍ سنويٍّ بلغ (4,98) جزء من المليون، في حين رصدت محطَّة مُراقبة الهواء المحيط بمبنى الهيئة في الرَّاكة كحدٍّ أدنى لتركيز غاز أول أكسيد الكربون Co حيثُ بلغ (0,85) جزء من المليون، بينما تحصَّلت محطَّة الرَّصد البيئي للمدينة الصناعية الثانية على المتوسِّط السَّنوي الذي وصل إلى (1,16) جزء من المليون، أمَّا محطَّة الرصد البيئي بالمدينة الصناعية الأولى فسجَّلت متوسطًا سنويًّا

وصل نحو (1,09) جزء من المليون، كما سجَّلت حاضرة الدَّمام إجمالًا معدَّلاً سنويًا متوسِّطًا بلغ (2,02) جزء من المليون وفقًا لعام 2021م.

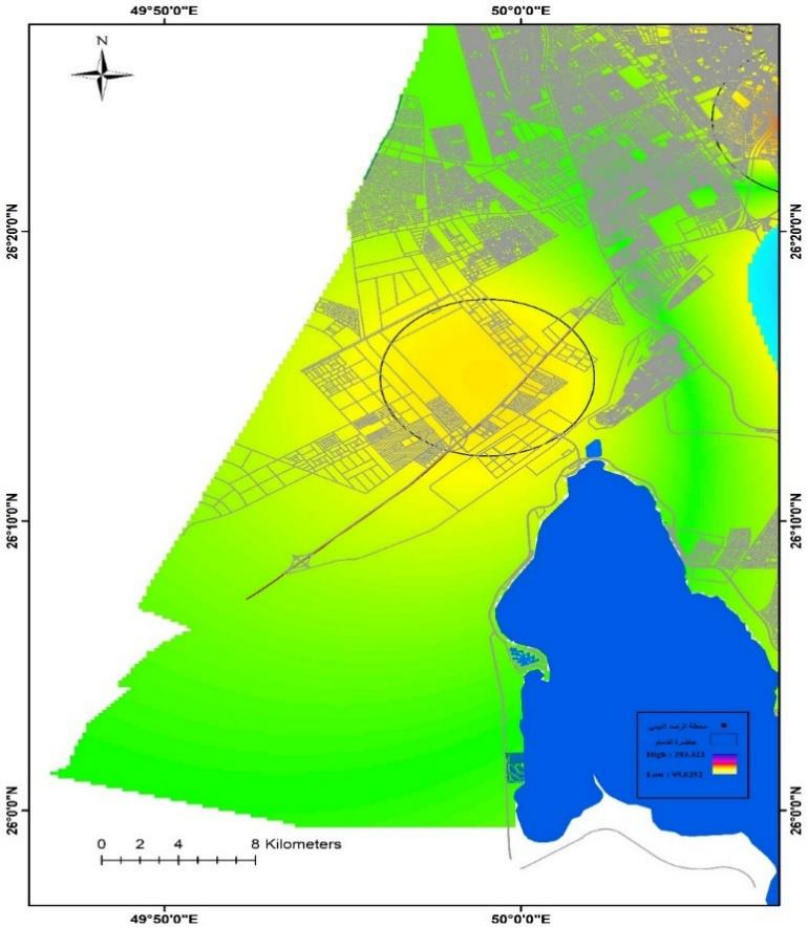
- سجَّلت محطَّة الرَّصد البيئي في كورنيش الدَّمَّام حدًّا أعلى لتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون Co2 في السياق الحضري بمتوسِّطٍ سنويّ بلغ (363,319) جزء من البليون، بينما استأثرت محطَّة مُراقبة جودة الهواء بالمدينة الصناعية الثانية كحدٍّ أدنى لمعدَّل المتوسِّط السنوي الذي بلغ (93,71) جزء من البليون، في حين تستحوذُ محطَّة الرَّصد البيئي للمدينة الصناعية الأولى على متوسطٍ سنويّ يصل إلى (302,44) جزء من البليون، بينما ترصد محطَّةُ مبنى هيئة الراكة تركيز ثاني أكسيد الكربون Co2 بقيمةٍ بلغت نحو (288,18) جزء من البليون، وتسجِّل محطَّات الرصد إجمالًا معدَّلاً سنويًا متوسِّطًا لحاضرة الدمام بلغ (261,91) لتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون Co2 في السياق الحضري.
- تُسجِّل مستويات تركيز ملوِّثات الهواء المحيط في السياق الحضري لغاز ثاني أكسيد النيتروجينNo2 تفاوتًا في مُعدَّلات المتوسِّط السنوي لمحطَّات مراقبة جودة الهواء الدَّائمة، وقد بلغ إجمالي معدَّل المتوسط السنوي لغاز ثاني أكسيد النيتروجين No2 لحاضرة الدَّمَّام استنادًا لعام 2021م لقيمةٍ تصل (26,6) جزءًا من البليون، كما رصدت محطة مراقبة ملوِّثات الهواء لمحطَّة المدينة الصناعية الأولى كحدٍّ أعلى لمستوى تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين No2 في منطقة الدراسة بنحو (29,52) جزء من البليون، في حين حصلت محطَّة مُراقبة الهواء بالمدينة الصناعية الثانية كحدٍّ أدنى لمعدَّل المتوسِّط السَّنوي والذي بلغ (21,70) جزء من البليون، كما سجَّلت محطَّتا رصد ملوِّثات الهواء مستوى تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجينNo2 في السِّياق الحضري، والَّذي بلغ في محطَّة كورنيش الدَّمَّام نحو (29,05) جزء من البليون، أمَّا محطَّة الرَّصد البيئي في مبنى هيئة الراكة فبلغ المتوسط السنوي فيه نحو(23,95) جزء من البليون.

تُشكِّل مُراقبة جودة البيئة الحضريَّة أهمِّيَّةً بالغةً في عمليَّة التَّحكُّم في آثار مُلوِّثات الهواء، ولتبيان تركيز مُلوِّثات الهواء في حاضرة الدَّمَّام مُمثَّلة في: (غاز ثاني أكسيد الكبريتSo2- غاز الأوزون الأرضيO3 - غاز ثاني أكسيد النيتروجينNo2 - غاز أول أكسيد الكربونCo) والَّتي تستلزمُ قياسات جودة الهواء برصد وتتبُّع مستويات تركيزها في السِّياق الحضري لتُمكِّن من رسم الخُطط المستقبليَّة لاستدامة المدن الحضريَّة، وتحديد أخطارها تجاه الإنسان والبيئة، وحيث تُوفِّر محطَّات مراقبة جودة الهواء الأرضيَّة في السِّياق الحضري مُستويات تركيز الجُسيمات الدَّقيقة والَّتي يقِلُّ قُطرُها عن 10 ميكرون PM10، فضلاً عن مُلوِّثات الهواء الأخرى، ونظير انخفاض التَّغطية الجُغرافيَّة للمحطَّات الأرضيَّة وقياساتها في أماكن مُحدَّدة في المدن الحضريَّة، سواءً كانت المحطَّات الثَّابتة أم وفق محطَّات مُتنقِّلة، والَّتي لا تُحقِّق التَّغطية الشَّاملة لكافَّة أرجاء حاضرة الدَّمَّام، علاوةً على نُدرة قياسات بعض مُلوِّثات الهواء نظير عدم توفُّر رصد تركيز الملوِّثات المعياريَّة في حاضرة الدَّمَّام، لذا يعتمد تقدير مُلوِّثات الهواء والمقاسة من خلال توظيف أدوات الاستشعار عن بُعدٍ وطُرُق الاستيفاء المكاني لنُظُم المعلومات الجغرافيَّة، في ضوء الصُّعوبات حيال استقصاء التَّوزيع المكاني لملوِّثات الهواء المحيط من مصادرها في المراكز الحضرية، ومنها على وجه التَّحديد النقل الحضري حيثُ تبرُزُ مدى أهمية إجراء العمليَّات الإحصائيَّة للاستيفاء المكاني في ملء الفجوة في نقص البيانات المُقاسة من المواقع الأرضيَّة لملوِّثات الهواء، والَّتي تُمكِّن من تحويل السَّطح من النَّموذج الخلوي إلى الشَّبكة المثلَّثيَّة غير المنتظمة لنشوء السَّطح المتنبَّأ به للقيم المجهولة في ضوء القيم المعلومة المُقاسة لتركيز ملوِّثات الهواء، وبُغية إبراز التَّبايُن المكاني من خلال أداة الاشتقاق المكاني كريننج kriging لملوِّثات الهواء في حاضرة الدَّمَّام، يُظهِرُ الشكلان رقم (7) التَّركيز المكاني لملوِّثات الهواء لمحطَّات الرَّصد البيئي في ضوء التَّغطية المقدَّرة بـ (5)كم2 حيال محطَّات الرَّصد البيئي، والَّتي تكشف عن نواحٍ يستلزم التَّنبُّؤ بها في السِّياق الحضري.

1- محطَّات شرق حاضرة الدَّمَّام.

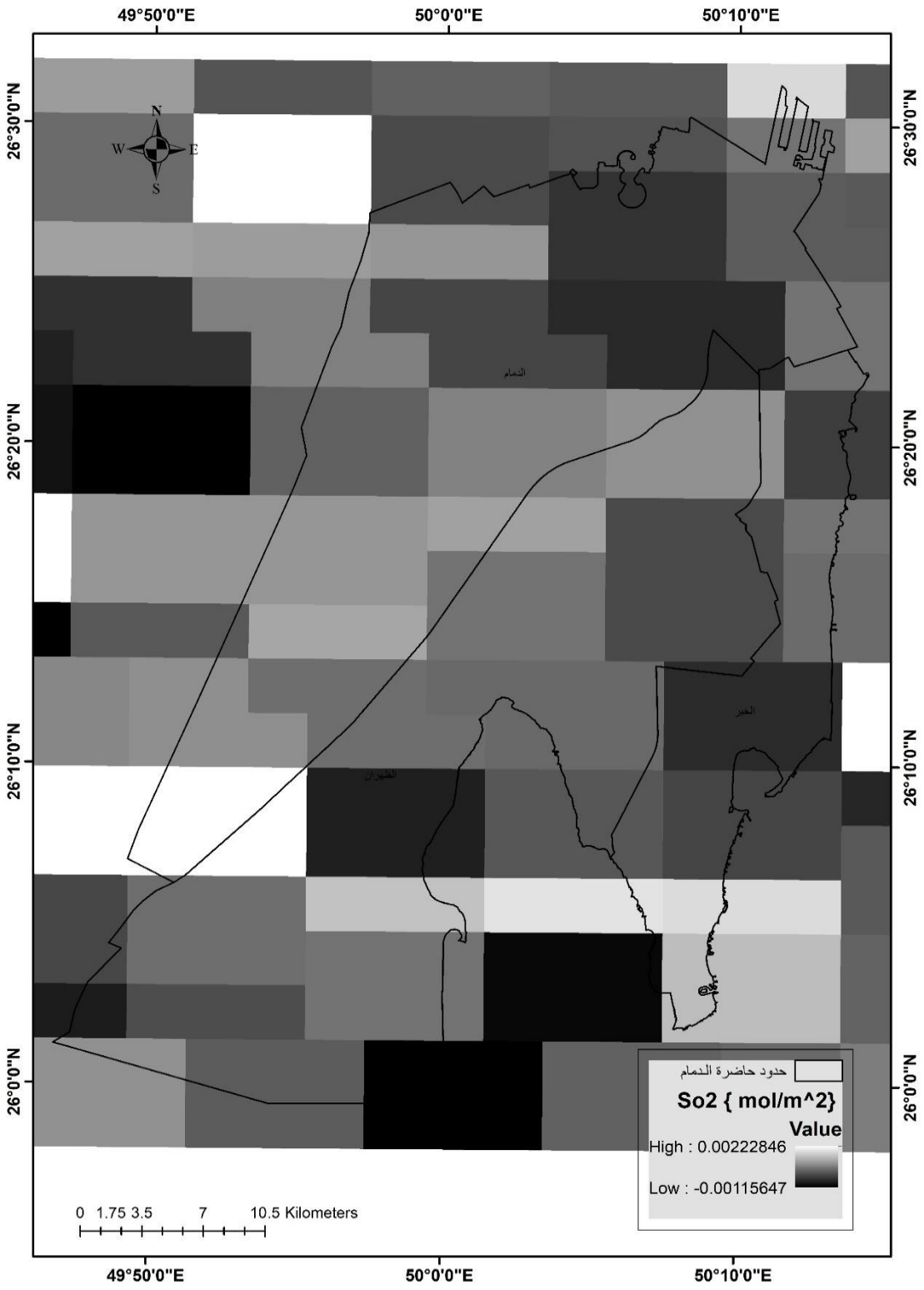


2- محطة المدينة الصناعية الثانية.



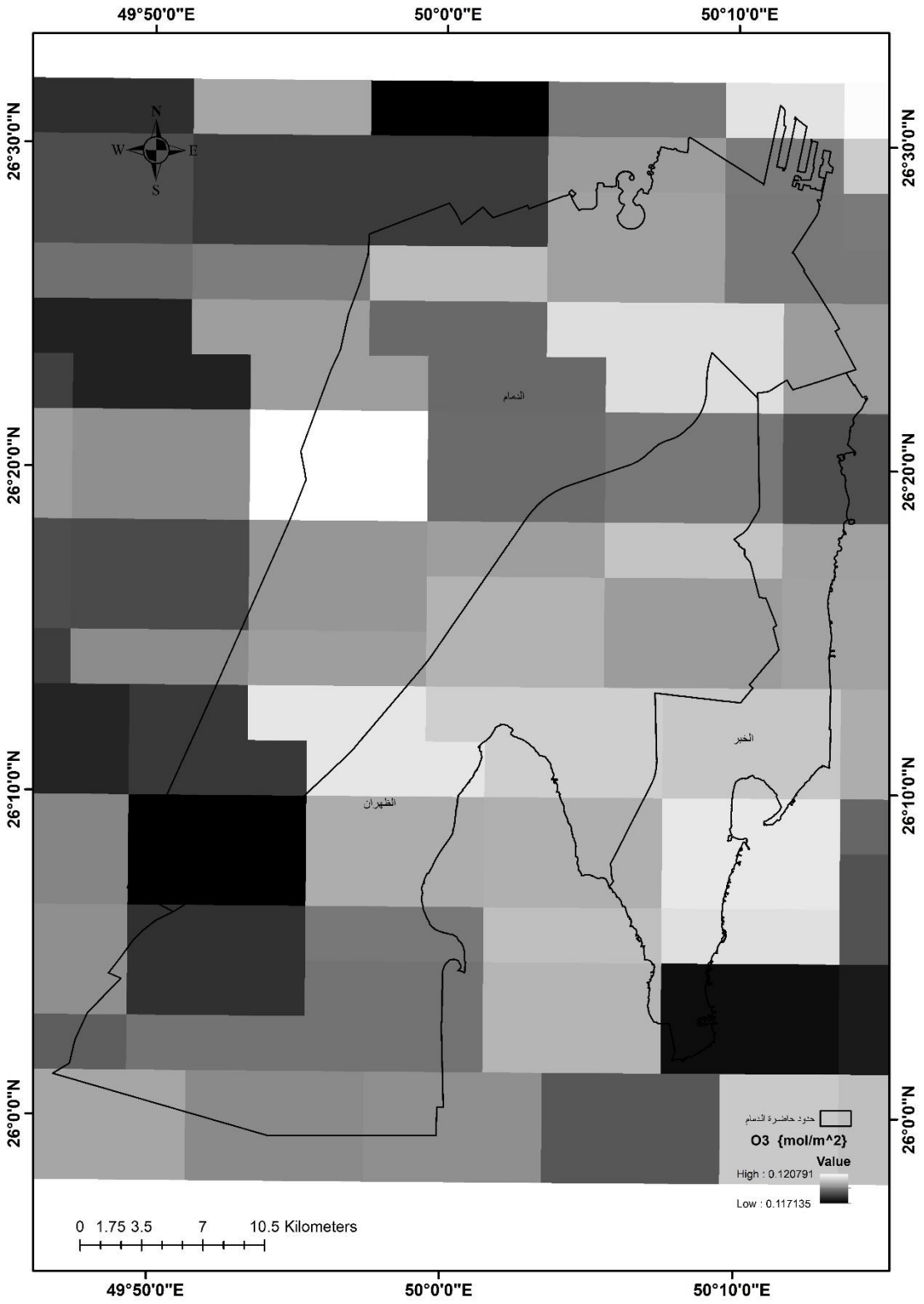
الشَّكل رقم (7): التَّركيز المكاني لِمُلوِّثات الهواء المحيط لشبكة مر اقبة جودة الهواء في مدن حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2021م.
المصدر: إعداد الباحِثينِ اعتمادًا على المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، مُلوِّثات الهواء المُحيط لعام 2021م في حاضرة الدَّمَّام، 2022م.

بُغية تقدير مُساهمة المرئيات الفضائيَّة في اشتقاق مُلوِّثات الهواء الحضري استنادًا للقمر الصناعي Copernicus Sentinel-5p Level 2 كأداة مُراقبةٍ للغلاف الجوي لتضافُر المصادر الطَّبيعيَّة علاوةً على المصادر البشريَّة، وبالنَّظر في مدى إسهام النَّقل الحضري في تلوُّث البيئة الحضرية والَّتي يختصُّ النَّقل الحضري في إضافة أحمال مُلوِّثات الهواء نظير المركبات والحافلات الحضريَّة، ناهيك عن مُحطَّات الوقود حيثُ تُسهم بقدرٍ من انبعاثات مُلوِّثات الهواء، ووسائل النَّقل الأُخرى كالسُّفن والطائرات والمناطق الصِّناعيَّة، ولتفسير أثر الحركة المروريَّة في مستويات تركيز ملوِّثات الهواء في السِّياق الحضري من خلال مواقع محطَّات الرَّصد للطُّرق الحضريَّة، كما أنَّ كثافة الحركة المروريَّة هي مصدرٌ آخر للجُسيمات الدَّقيقة العالقة في الهواء ومُلوِّثات الهواء الأُخرى، والَّتي تتفاوت وفق النَّمط اليومي للحِراك المروري خلال ساعات الذَّروة المروريَّة، كما يُمثِّل الجانب الآخر المركبات والحافلات وأسطول النقل الحضري بوجهٍ عامٍ وفقًا لنوعيَّة الوقود المُستخدم، فضلاً عن الانبعاثات النَّاجمة من احتكاك إطارات المركبات بالأرصفة الحضريَّة، وإثارة الطرق الحضريَّة الغُبار العالق في الهواء، كما تُؤثِّر العوامل المناخيَّة ـ كدرجات الحرارة والرُّطوبة النِّسبيَّة ـ على مستويات تركيز ملوِّثات الهواء التَّقليديَّة، علاوةً على إحداث التَّغيير في اتجاهاتها وانتقالها من مكانٍ لآخر، فالخصائص المناخيَّة السَّائدة في منطقة الدِّراسة تلعبُ دورًا مُهمًّا في تركيز ملوِّثات الهواء وفي انتقالها لأماكن أخرى، والَّتي قد تُسهم في مُجملِ الأمر بتجاوُز المعايير المنصوص عليها للاستدامة الحضريَّة، ولِتبيانِ تركيز مُلوِّثات الهواء في حاضرة الدَّمَّام، تُوضِّح الأشكال رقم: (8)، (9)، (10)،(11) كثافة العمود لتركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت So2 لعام2022م، حيثُ بلغت القيمة العُليا (0,00222846) بوحدة مول/م2، وكثافة عمود غاز الأوزون الأرضيO3 والَّتي بلغت أعلى قيمةٍ بنحو(0,0120791) مول/مول2، في حين يُسجِّل العمود الإجمالي لثاني أكسيد النيتروجين No2 كأعلى قيمةٍ بلغت (0,000226022) مول/م2، وتجدُرُ الإشارة إلى أنَّ القيمة الأعلى لغاز أول أكسيد الكربون Co تبلُغُ (0.0294437)مول/م2، كما يتبيَّن من الشكل رقم (12) قيمة العُمق للهباء الجوي والَّتي تبلغ (1,44842).



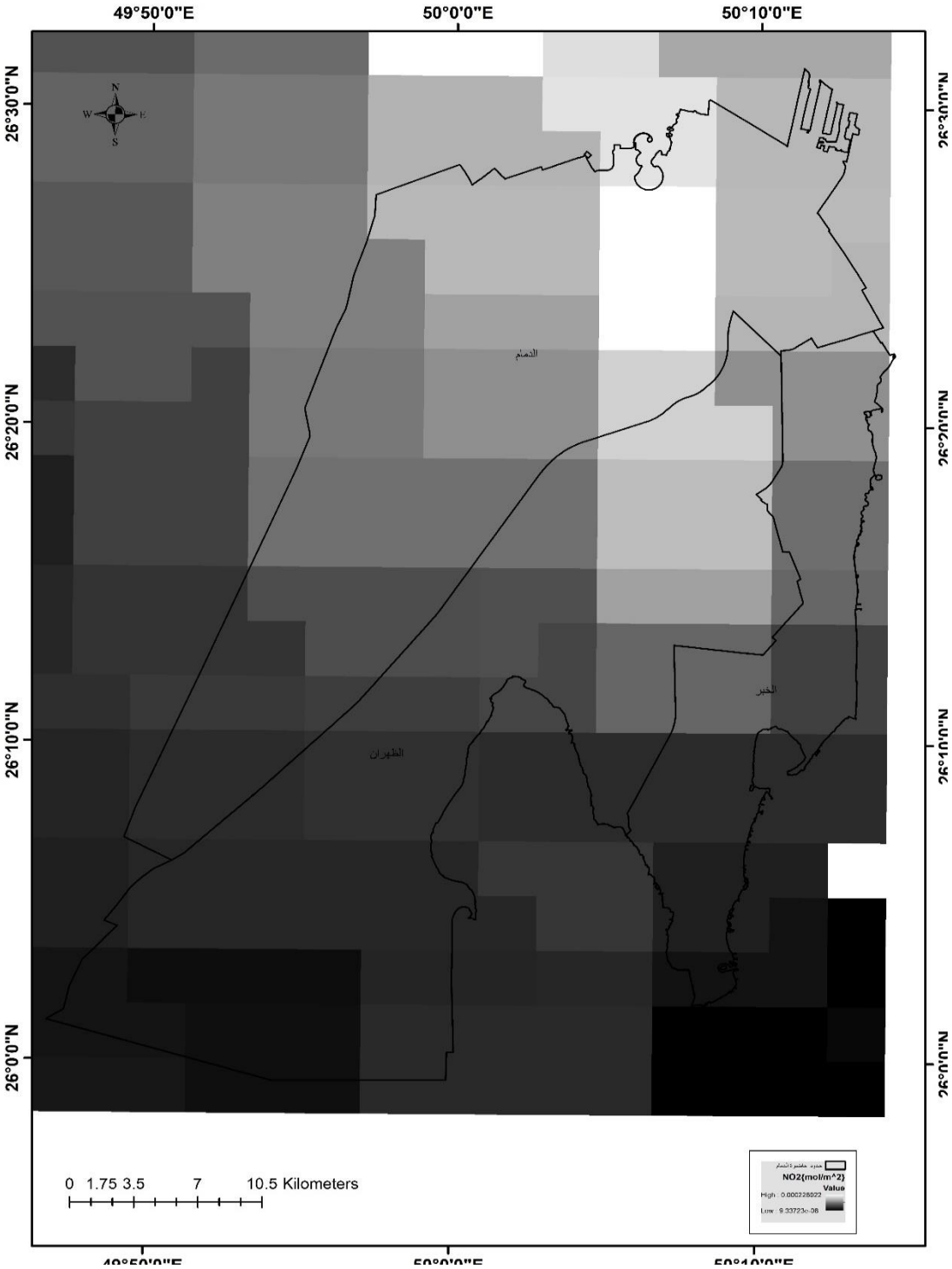
الشكل رقم (8): تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت So2 في حاضرة الدَّمَّام لعام2022م.

المصدر: إعداد الباحِثِينِ اعتمادًا على Copernicus Sentinel-5p لِمُلَوِّثاتِ الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.



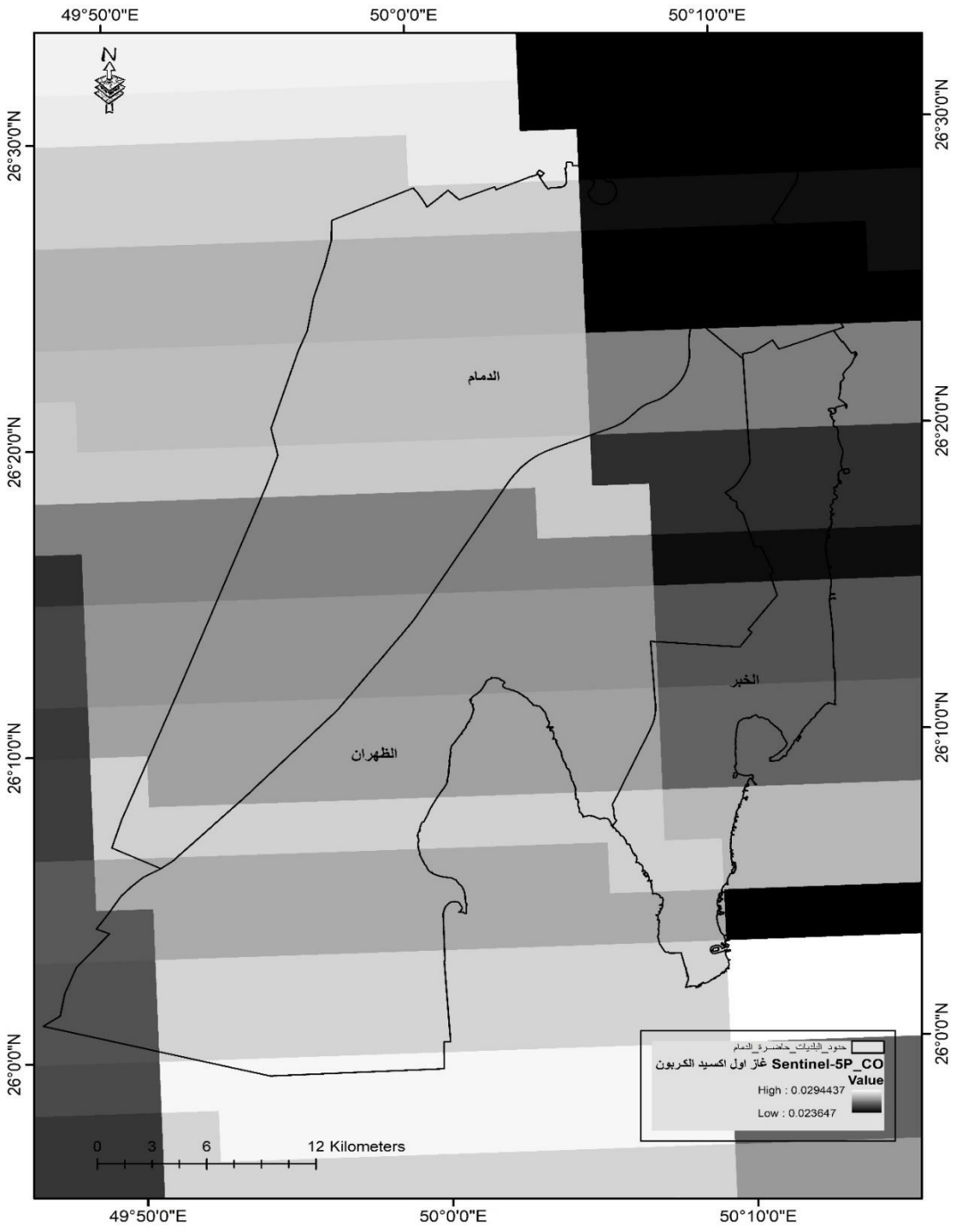
الشَّكل رقم (9): تركيز غاز الأوزون الأرضي O3 في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

المصدر: إعداد الباحِثينِ اعتمادًا على Copernicus Sentinel-5p لمُلوِّثاتِ الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.



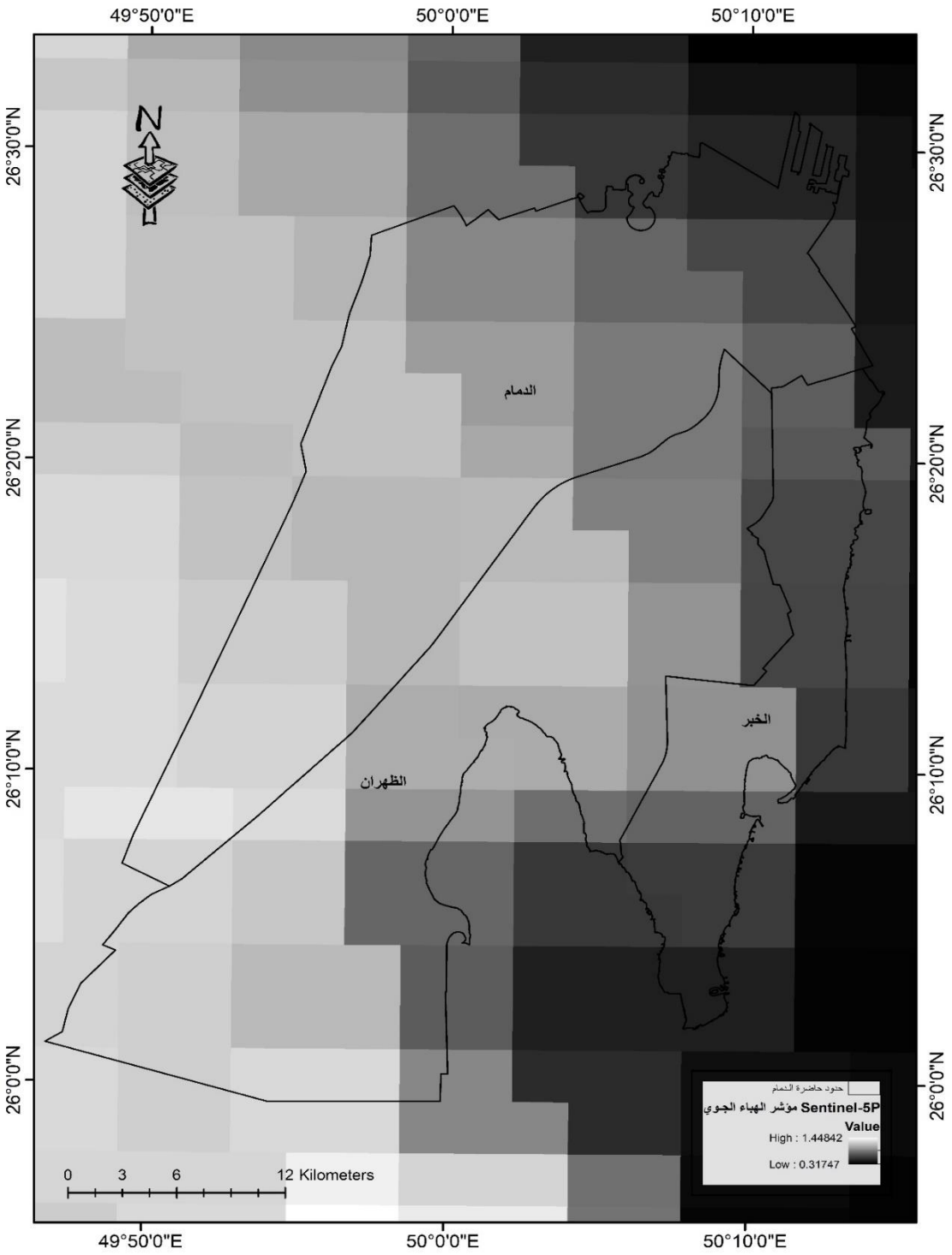
الشكل رقم (10): تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين No2 في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

المصدر: إعداد الباحِثِينِ اعتمادًا على Copernicus Sentinel-5p لمُلوِّثات الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.



الشكل رقم (11): تركيز غاز أوَّل أكسيد الكربون Co في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

المصدر: إعداد الباحِثِينِ اعتمادًا على Copernicus Sentinel-5p لمُلوِّثات الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.



الشكل رقم (12): مُؤشِّر العُمق البصري للهباء الجوّي AOD في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام2022م.

المصدر: إعداد الباحِثِين اعتمادًا على Copernicus Sentinel-5p لملوّثات الهواء في حاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 2022م.

خُلاصة ما سبق: اعتمدت مُنظَّمة الصِّحَّة العالميَّة قرار (2015م) وخارطة طريق (2016م) لتحسين الاستجابة العالميَّة للآثار الصِّحِّيَّة الضارَّة لتلوُّث الهواء، حيث تُعدُّ منظَّمة الصِّحَّة العالميَّة الوكالة المسؤولة عن ثلاثة مُؤشِّراتٍ لأهداف التنمية المستدامة المتعلِّقة بتلوُّث الهواء، وهي على النَّحو الآتي:

- الهدف:1-9-3 الوفيَّات من تلوُّث الهواء.
- الهدف:2-1-7 الوصول إلى الوقود والمنتجات النَّظيفة.
- الهدف:2-6-11جودة الهواء في المدن. (منظَّمة الصِّحَّة العالميَّة،2021م).

في ضوء تقييم نوعيَّة الهواء في المدن الحضريَّة وفقًا للحدود المسموح بها لتراكيز ملوّثات الهواء المعياريَّة استنادًا إلى معايير منظَّمة الصِّحَّة العالميَّة (WHO)، واللَّوائح الوطنيَّة لجودة الهواء المحيط في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة وفقًا للجدول رقم (6)، حيثُ تختلف حدود عتبات الحد الأقصى لتراكيز مُلوّثات الهواء استنادًا لمقياس التلوُّث الهوائي وفقًا لمتوسِّط التَّركيزات اليوميَّة أو السَّنويَّة لِكُلِّ مترٍ مُكعَّبٍ لحجم الهواء في المدن الحضريَّة وفقًا للفترات الزَّمنيَّة للقياسات الأرضيَّة.

الجدول رقم (6): معايير مُلوّثات الهواء المُحيط الأساسيَّة في المملكة العربيَّة السُّعوديَّة.

م	العنصر	متوسِّط الوقت بالسَّاعة			سنوي	الوحدة
		ساعة	8	24		
1	أوَّل أكسيد الكربون (CO)	40,000 35	10,000 9ج/م	-	-	ميكروغرام/م3
2	ثاني أكسيد النيتروجين (NO2)	660	-	-	100	ميكروغرام/م3
3	الأوزون (O3)	-	160	-	25 يوم سنويًّا يُحسب مُعدَّل على مدى 3 سنوات	ميكروغرام/م3
4	ثاني أكسيد الكبريت (SO2)	-	-	365	80	ميكروغرام/م3
5	الجسيمات العالقة (10 ميكرون) PM10	-	-	340	50	ميكروغرام/م3

المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة، لعام 2020م، ص26-27.

الجديرُ بالذِّكر أنَّه يتبيَّن من الجدول رقم (7) تجاوز كُلٍّ من غاز ثاني أكسيد النيتروجين No2، وثاني أكسيد الكبريتSO، وأوَّل أكسيد الكربون Co، لِلقِيمِ المنصُوصُ عليها لجودة الهواء في المراكز الحضريَّة، في حِينِ يُسجِّلُ كُلٌّ من غاز الأوزون الأرضي O3 امتثال جميع الأيَّام للبيانات المقاسة لعام 2021م في حاضرة الدَّمَّام.

الجدول رقم (7): عدد أيام تجاوز محطات الرصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام لملوّثات الهواء المحيط للملكة العربية السعودية ومنظَّمة الصِّحَّة العالميَّةWHO وفقًا لعام 2021م.

عدد أيام تجاوز محطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام.					
نوع الملوّث	الجِهة	كورنيش الدَّمَّام	المدينة الصِّناعيَّة الأُولى	المدينة الصِّناعيَّة الثَّانية	مبنى الهيئة في الرَّاكة
ثاني أكسيد النيتروجين NO2	المملكة	-	2	-	-
	WHO	4	16	-	2
ثاني أكسيد الكبريت So2	المملكة	1	-	-	-
	WHO	2	-	-	3
أول أكسيد الكربون Co	المملكة	60	1	-	-
	WHO	-	-	-	-
الأوزون الأرضي O3	المملكة	-	-	-	-
	WHO	-	-	-	-

المصدر: حساب وتجميع الباحثينِ اعتمادًا على بيانات المركز الوطني للرَّقابة والالتزام على البيئة، بيانات غير منشورة عن مُلوِّثات الهواء المحيط لعام 2021م في حاضرة الدَّمَّام، 2022م.

الخاتمة:

- تكشف المسافات الإقليديَّة المُباشِرة وفق التَّحليل الطوبولوجي عن تفاوُت التَّوزيع الجغرافي لموقع شبكة مُراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام، حيثُ تُمثِّل المسافة المباشرة بين محطَّتي جودة مراقبة الهواء الواقعة في كورنيش الدَّمَّام والمدينة الصناعية الثانية أعلاها مسافةً تصل إلى (30,02) كم.
- تعكس أهمِّيَّة التَّوزيع المكاني لمحطَّات الرَّصد البيئي لمراقبة مُلوِّثات الهواء للمراكز الحضريَّة في ضوء الكثافة السُّكَّانيَّة واستخدامات الأرض الحضريَّة، عن مدى تناسُبِ عدد محطَّات الرَّصد للمنطقة الحضريَّة والَّتي تبلُغُ أربع محطَّاتٍ لِلرَّصد.
- يكشف تخصيص المواقع "ثايسن" لِمحطَّات الرَّصد البيئي في حاضرة الدَّمَّام لعام 2022م تفاوُت المساحات المُخصَّصة لمحطَّات الرَّصد البِيئي، حيثُ من المُلاحظ انخفاض المساحات المخصَّصة لمحطَّات مراقبة جودة الهواء في غرب الحاضرة.
- تجاوُز كُلٍّ من غاز ثاني أكسيد النيتروجين No2، وثاني أكسيد الكبريتSO، وأوَّل أكسيد الكربون Co، لِلقِيمِ المنصُوصُ عليها لجودة الهواء في المراكز الحضريَّة، في حِينِ يُسجِّلُ كُلٌّ من غاز الأوزون الأرضي O3 امتثال جميع الأيَّام للبيانات المقاسة لعام 2021م في حاضرة الدَّمَّام.

المراجع والمصادر:

- الأمانة العامة، مجلس التعاون لدول الخليج العربية (2008م): اللائحة التنفيذية لمقاييس جودة الهواء المحيط ومعايير مستوى الضوضاء واللائحة الخاصة بمياه الصرف (المياه العادمة لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية) قطاع شؤون الإنسان والبيئة.
- الأمم المتحدة، منظمة الصحة العالمية(1439هـ/2018م) 90% من البشر يتنفَّسون هواءً مُلوَّثًا، متاح على: https://news.un.org/ar/story/2018/05/1007402 ، تاريخ الدخول 2021/4/3م.
- الحفيظ، عماد محمد ذياب (2014م): البيئة، حمايتها – تلوُّثها- مخاطرها، دار صفاء للنشر والتوزيع، الطبعة الثانية، عمان.
- الدغيري، احمد عبدالله(2023م): التحليل المكاني لجودة الهواء في زمام محمية الامام تركي بن عبدالله الملكية في المملكة العربية السعودية، المجلة العربية للعلوم والنشر (2023)VOL,7,Issue2
- الريفي، حامد (2015م): اقتصاديات البيئة "مشكلات البيئة- التنمية الاقتصادية -التنمية المستدامة، دار التَّعليم الجامعي، الطَّبعة الأُولى، الإسكندرية.
- الطراونة، محمد حسن(2015م): التربية البيئية "رؤية بنائية" الطبعة الأولى، دار وائل للنشر والتوزيع، عمَّان، الأُردن.
- صالح، هاشم محمد(2014م): تلوُّث الهواء، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، الطبعة الأُولى، عمان، الاردن.
- العلياني،سعيد سعد زاهر(2016م): تقييم جودة الهواء في مدينة الجبيل الصناعية بالمملكة العربية السعودية، رسالة ماجستير، جامعة الخليج العربي، البحرين.
- محمد، عمر محمد علي (2015م): الجغرافية البشرية، الأسس والاتجاهات، الطبعة الأولى، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الإسكندرية.
- المركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي (2022م): محطَّات رصد ومراقبة جودة الهواء في حاضرة الدَّمَّام وملوثات الهواء المحيط، بيانات غير منشورة للمركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي، الخبر.
- المشوخي، حمد سليمان (2002م): تقنيات ومناهج البحث العلمي، ط1، دار الفكر العربي، القاهرة.
- المنصة الوطنية الموحَّدة(2022م): مؤشر جودة الهواء، المركز الوطني للأرصاد، المملكة العربية السعودية.
- مؤشر جودة الهواء العالمي (AQL) محطَّات الرصد في حاضرة الدَّمَّام، متاح على: https://ncm.gov.sa/Ar/Environment/AirQuality/pages/AQ-Dashboard.aspx تاريخ الدخول2021/7/10م، PM: 2:32 .
- وزارة البيئة والمياه والزراعة (2020م): مشروع اللائحة التنفيذية لجودة الهواء في المملكة، المملكة العربية السعودية.
- وزارة الشؤون البلدية والقروية (2022م): تقدير عدد سكان حاضرة الدَّمَّام لعام 2019م، أمانة المنطقة الشرقية، بيانات منشورة لوكالة التعمير والمشاريع، الدَّمَّام.
- وزارة الشؤون البلدية والقروية (2022م): حجم الرحلات الحضرية لعام 2019م في حاضرة الدمام، أمانة المنطقة الشرقية، بيانات غير منشورة لوكالة التعمير والمشاريع، الدَّمَّام.
- وزارة الشؤون البلدية والقروية (2022م): خريطة رقمية لحاضرة الدَّمَّام، أمانة المنطقة الشرقية، غير منشورة للإدارة العامة للتخطيط العمراني، الدَّمَّام.
- الهيئة العامة للإحصاء (2017م): النَّتائج التفصيلية للمنطقة الشرقية (التعداد العام السكان والمساكن 1431هـ-2010م، بيانات منشورة عن عدد السكان لحاضرة الدَّمَّام وفقًا لعام 1431هـ/2010م، البيانات، تعداد السكان والمساكن.

- Bugdayci IIkay, Fatma Kunt, Oguz Ugrlu, Spatial Analysis of So2, Pm10, Co, No2, and o3 Pollutants: The Case of Konya province, Turkey, Journal, Atmosphere, Volume 14, Issue 3/ 10.3390/atmos14030462.2023.
- Burgos Jimena Garia, Yosusn Miquelajauregui, Anil Namdeo, Alejandro Ruizm-Olivares, Juan Manuel Mejia-Arangure, Cinthia Gabriela Resendiz-Martinez, Louise Hayes, Lindsay Bramwell, Monica James-Palomeram Jane Entwistle, Juna Carlos nuez-Enriquez, Antonio Portas, Richard Mcnally, Exploring the Spatial Distribution Air Pollution and Its Association with Socioeconomic Status indicators in Mexico City**,** Sustainability 2022,14(22),15320, Published:18 November 2022.
- Dominguez Alvaro, Detecting Air Pollution Clusters in Japan: A Spatial Analysis Approach, Social Science Japan Journal, Volume 26, Issue 2, Summer 2023, pages 175-200, published;22August 2023.
- Hereher, M. Rasha Eissa, Abduldaem Alqasemi, Ahmed M. El Kenawy, *Assessment of Air Pollution at Greater Cairo in Relation to the Spatial Variability of Surface Urban Heat Island,* Journal Environmental Science and Pollution Research, 2021, 29(2).
- Tharani T, A Geethakrthi, P. A Prabakaran, Spatial Distribution Analysis of Air Pollutants and The Impact of Meteorological Factor, Conferences,2021, International Conference, Publisher: IEEE.
- Wendling, Z. Danil C. Esty, Alex de sherbinin, *Environmental Performance index2020,* Global metrics for the environment; ranking country performance on sustainability issues, Book june2020.
- Ludewig, Antje, Quintus Kleipooi, Rolf Bartstra, Robin Landzaat, Jonatan LeIoux, Erwin Loots, Peter Meijering, Emiel Van der Pias, Nico Rozemijer, Frank Vonk, Pepijn Veefkind*, In-Flight Calibration Results of The TROPOMI Payload on Board the Sentinel-5 Precursor Satelltie*, 2020.