Journal of Nature, Life and Applied Sciences (JNSLAS) • Vol 8, Issue 3 (2024) • P: 12 – 1
https://journals.ajsrp.com/index.php/jnslas
ISSN: 2522-3356 (Online) • ISSN: 2522-3356 (Print)

A Geographical Analysis of the Concentrations of Air Tiny Pollutants PM2.5-PM10 on Walking Paths in the City of Buraidah and Their Relationship to Road Quality

Dr. Haifa Ali Alkhushiban

Department of Geography | College of Languages and Humanities | Qassim University | KSA

Received: 30/06/2024

Revised: 09/07/2024

Accepted: 21/07/2024

Published: 30/09/2024

* Corresponding author: see.b@hotmail.com

Citation: Alkhushiban, H. A. (2024). A Geographical Analysis of the Concentrations of Air Tiny Pollutants PM2.5-PM10 on Walking Paths in the City of Buraidah and Their Relationship to Road Quality. *Journal of natural sciences, life and applied sciences, 8*(3), 1 – 12. https://doi.org/10.26389/AJSRP.B300624

2024 © 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: Walking tracks represent one of the most important projects to which the government of the Kingdom of Saudi Arabia has given great attention. To improve the quality of healthy life within cities, this study aims to reveal the temporal and spatial variation of PM10 and PM2.5 concentrations in the paths designated for walking around parks, and compare them with global indicators issued by the US Environmental Protection Agency, and their relationship to the quality of the roads surrounding them, relying on the descriptive approach and the analysis approach and using the statistical program SPSS, where it was done. Identifying six parks within the city of Buraidah, in Al-Qassim region, which meet the conditions for establishing tracks.

Accordingly, the results showed that the average concentrations of PM10 and PM2.5 fall within the good and moderate health levels, according to global indicators. The results also showed that there is an effect of the track's location near highways, as there is an increase in their levels at Al-Uqailat Manakh Park track, which is located on the main road. ; King Fahd Road, Al-Adl Road, and Al-Montazah Park Track, located on King Abdulaziz Road, as for the time level; The results found that there are no statistically significant differences between holiday days, work days, and time period, between the concentrations of tiny particles, except for PM10 levels, if it was found that there was a slight increase during the early morning hours, compared to the evening hours, as the analytical results showed. The density of traffic on the roads surrounding the walking paths; Resulting in an increase in tiny particle rates. Accordingly, the study recommended the necessity of taking into account traffic safety requirements, and environmental and health standards, when determining the locations of walking paths within cities.

Keywords: PM10, PM2.5, Buraidah, walking tracks, traffic roads.

تحليل جغرافي لتراكيز ملوِّثات الهواء الدقيقة PM2.5-PM10 على مضامير المشْي في مدينة بريدة وعلاقتها بنوعيَّة الطريق

الدكتورة / هيفاء علي الخشيبان

قسم الجغرافيا | كلية اللغات والعلوم الانسانية | جامعة القصيم | المملكة العربية السعودية

المستخلَص: تُمثِّل مضامير المشْي أحد أهمِّ المشاريع التي أوْلتها حكومة المملكة العربية السعودية اهتمامًا كبيرًا؛ لتحسين جودة الحياة الصحيَّة داخل المدن، وتهدف هذه الدراسة إلى الكشف عن التباين الزماني والمكاني لتراكيز PM10 وPM2.5 في المضامير المخصَّصة للمشي حوْل الحدائق، ومقارنتها بالمؤشِّرات العالمية الصادرة من وكالة حماية البيئة الأمريكية، وعلاقتها بنوعيَّة الطرق المحيطة بها، وذلك بالاعتماد على المنهج الوصفي ومنهج التحليل المقارن، وباستخدام البرنامج الإحصائي SPSS، حيث تمَّ تحديد سِتِّ حدائق داخل مدينة بريدة، في منطقة القصيم، والتي تنطبق عليها شروط إنشاء المضامير.

وعليه، جاءت النتائج بأن متوسط تراكيز PM10 وPM2.5 تقع ضِمْن المستويات الصحيَّة الجيِّدة والمعتدلة، وفقًا للمؤشِّرات العالمية، كما بيَّنت النتائج وجود تأثيرٍ لموقع المضْمار بالقُرب من الطرق السريعة، حيث إن هناك زيادة في مستوياتها على مضمار حديقة مناخ العقيلات، الواقعة على الطريق الرئيس؛ طريق الملك فهد، وطريق العدل، ومضمار حديقة المنتزه، الواقعة على طريق الملك عبد العزيز، أمَّا على المستوى الزمني؛ فقد توصلت النتائج إلى أنه لا توجد فروق دالة إحصائيًّا بين أيام العطلة، وأيام العمل، والفترة الزمنية، بين تراكيز الجُسيْمات الدقيقة، فيما عدا مستويات PM10، وذلك إذا وُجِد أن هناك ارتفاعًا طفيفًا خلال ساعات الصباح الأُولى، مقارنةً بساعات المساء، كما أظهرت النتائج التحليلية أن كثافة الحركة المروريَّة على الطرق المحيطة بمضامير المشي؛ يترتب عليها زيادة في معدَّلات الجُسيْمات الدقيقة. وعليه، أوصت الدراسة بضرورة مراعاة اشتراطات السلامة المرورية، والمعايير البيئية والصحيَّة، عند تحديد مواقع مضامير المشي داخل المدن.

الكلمات المفتاحية: PM10، PM2.5، بريدة، مضامير المشْي، الطرق المروريَّة.

1- تقديم:

أضحت مشكلة التلوُّث البيئي مشكلة العصر، التي تهتم بها الدول بشكلٍ كبيرٍ في الوقت الحالي، وهي نتيجة للتطوُّر الصناعي والاقتصادي والتكنولوجي الكبير الذي يشهده العالم، والتوسُّع المستمر في استخدام الوقود الأحفوري، من نفطٍ وغازٍ طبيعيٍّ في العديد من مجالات الحياة اليومية، وتتمثَّل خطورة هذه المركبات في تأثيرها المباشر وغير المباشر على صحَّة وحياة الإنسان، وتزايدها المستمر، خاصة في الدول منخفضة ومتوسِّطة الدَّخْل، فتُلوِّث الهواء الخارجي بالجُسيْمات الدقيقة والأدخنة، وتُزيد من خَطَر إصابة السكان بأمراض القلب، وسرطان الرئة، وأمراض الجهاز التنفسي، وقد أشارت منظَّمة الصحَّة العالمية إلى أن تلوُّث الهواء تسبَّب في حدوث 4.2 مليون حالة وفاة عام 2019، 89% منها في البلدان المتوسطة والمنخفضة الدَّخْل، حيث يعزو 37% من حالات الوفاة الناتجة عن التلوث الهوائي إلى أمراض القلب والسَّكتة الدِّماغية، 23% منها بسبب أمراض الرِّئة وعدْوَى الجهاز التنفُّسي الحاد، 11% نتيجة أمراض سرطان الجهاز التنفسي. (منظمة الصحة العالمية، 2022). كما أشارت بعض التقارير إلى أن الجُسيْمات الدقيقة PM2.5 تسبَّبت في ارتفاع عدد الوفيَّات في الدول المكتظَّة بالسكان، فقد بلغت نسبة الوفيَّات في الصين حوالي 1.3 مليون حالة وفاة عام 2010، وفي الهند 575.000، وباكستان 105.000 حالة وفاة سنوية، كما بلغت حالات الوفاة في الدول الأوربية والولايات المتحدة الأمريكية 173.000، 52.000 حالة وفاة على التوالي، نتيجة التلوث بالجُسيْمات الدقيقة PM2.5. (Nazarenko, et al. 2021).

ومما لا شكَّ فيه، أن من أكثر وأهم مصادر تلوث الهواء الخارجي في المدن الحضرية؛ استخدام وسائل النقل التقليدية، التي تعتمد على الوقود الأحفوري، وبالرغم من التقدُّم التكنولوجي في الحدِّ من الانبعاثات الناجمة من السيارات؛ إلَّا أن الزيادة المستمرة في عدد السيارات تزيد من مخاطر الاختناقات المرورية، وما ينجم عنها من انبعاث كمِّيات كبيرة من ملوِّثات الهواء، مثل: أوَّل أكسيد الكربون (CO)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والجسيمات الدقيقة (PM2.5، PM10)، التي لها تأثير سلبي على مُرْتادِي الطرق بشكلٍ عام، والمُشاة بشكلٍ خاص، فبطبيعة الحال تختلف كميَّة التلوث الناتجة عن الحركة المرورية، باختلاف حجم الحركة المرورية المرتبطة بنوع الطريق، وساعات الذُّرْوة، والسرعة المحدَّدة على الطريق، فالطرق السريعة بين المدن غالبًا ما ينتج عنها المزيد من الملوِّثات، مقارنةً بالطرق الريفية، علاوة على ذلك، هناك أنواع مختلفة من الطرق داخل المدن الحضرية، مثل: الطرق السريعة، والطرق الرئيسة، والطرق الفرعية، ولكلٍّ منها خصائصها الفريدة الخاصة بالتلوث المروري، بسبب الاختلافات في كثافة الحركة المرورية، وكميَّة انبعاثات عوادم السيارات.

المشكلة:

اهتمَّت حكومة المملكة العربية السعودية بالعديد من المشاريع التي تُسهم في تحسين جودة الحياة بشكلٍ عام، وتحسين جودة الحياة الصحيَّة بشكلٍ خاص في المدن، من خلال إنشاء مضامير المشاة الصحيَّة، المهيَّأة بالمسطَّحات الخضراء، والأجهزة الرياضية، والأرصفة والممرَّات المغطَّاة بالمواد المطَّاطيَّة المتينة والآمنة، التي تحقِّق شروط السلامة.

وتأتي هذه المشاريع في مقدِّمة أولويَّات أمانات المناطق في المملكة العربية السعودية؛ لإسهامها في تعزيز الحياة الصحيَّة للمواطنين، وتحسين البنية التحتية في المدن؛ إلَّا إن بناء المضامير الصحية داخل المدن الحضرية لا بُدَّ أن يتمَّ وفق معايير فنية محدَّدة، والذي يُعُّد موقع المضمار من أهمِّها، حيث يجب أن يكون في موقع يَسْهل الوصول إليه، ومجهَّز بالخدمات المختلفة، وأشجار الزينة والظلِّ، وبعيدًا عن أماكن التلوث الخطيرة، كالطرق السريعة، والأماكن المزدحمة بالحركة المرورية، التي تزيد فيها انبعاثات الكربون، والمواد العالقة الخطرة على صحَّة الإنسان، فقد أثبتت العديدُ من الدراسات العلاقةَ بين تركيز ملوِّثات الهواء على الطرق المرورية، وحدوث العديد من الآثار الصحيَّة قصيرة المدى، مثل: حساسية العين، الأنف، الحنجرة، الصداع، الغثيان، وحساسية الرَّئْو (Davies & Whyatt. 2014)، أو أمراض على المدى البعيد، مثل: ارتفاع ضغط الدم، احتشاء عضلة القلب، السَّكتة الدِّماغية، تصلُّب الشرايين، أمراض القلب، والوفيَّات. (Amorim. Et al 2013).

ومن المهمِّ، معرفة أن معدَّل استنشاق الهواء يتخلف حسب حالة مُرْتادي الطريق، ونشاطهم البدني، وموقعهم من كثافة الحركة المروريَّة، فمعدَّل استنشاق الهواء الخارجي لممارسي رياضة المشي، وراكبي الدرَّاجة في المضامير؛ يختلف عن قائدي السيارة، كما يختلف حسب مستوى القُرب والبُعد عن الطريق؛ ممَّا يزيد من خَطَر زيادة جُرعة الملوِّثات، ووفقًا لذلك؛ سيتمُّ في هذه الدراسة الحالية تحليل جغرافي لتراكيز الجُسيْمات الدقيقة PM2.5 وPM10، في الهواء المحيط بمضامير المشْي في مدينة بريدة، والكشف عن تأثير نوعيَّة الطريق، وكثافة الحركة المروريَّة عليها، وفي ضوء ذلك تتمثَّل مشكلة الدراسة الحالية في محاولة الإجابة عن الأسئلة الآتية:

1- كيف أسهم موقع مضامير المشي في مدينة بريدة في التباين المكاني لتركيز الجسيمات الدقيقة PM2.5 وPM10 ؟
2- ما هي أوجه التباين الزماني لتركيز الجسيمات الدقيقة PM2.5 وPM10 في مضامير المشي بمدينة بريدة؟
3- هل هناك علاقة ذات دلالة إحصائية بين نوع الطريق (رئيس أو فرعي) وحجم الحركة المرورية على الطريق وتركيز الجسيمات الدقيقة PM2.5 وPM10 في مضامير المشي بمدينة بريدة؟

أهمية الدراسة:

1. يُعَدُّ مجال جودة الهواء على طرق مضامير المشي داخل المدن من المجالات التي تحتاج مزيدًا من الدراسات.
2. زيادة الوعي بأهمية المشي والرياضة لدى سكان المملكة العربية السعودية، خاصة وأن أعداد مُرْتادي مضامير المشاة في تزايُد مطّرد وملحوظ؛ لذا فإن هذه الدراسة يمكن أن تُسهم في تحسين جودة الحياة لدى المهتمّين برياضة المشي.
3. الاستفادة من نتائج هذه الدراسة في معرفة مواقع إنشاء المضامير الصحيَّة للمشي داخل المدن الحضرية.
4. الاستفادة من نتائج هذه الدراسة في إجراء مزيدٍ من الدراسات المستقبليَّة الأخرى التي لها علاقة بموضوع الدراسة الحالية.

مصطلحات الدراسة:

الهواء الخارجي (المحيط): هو جزءٌ من الغلاف الخارجي، الموجود خارج المباني، والذي يمكن للناس الوصول إليه.

الملوِّثات: هي أيَّة مواد ناتجة عن الأنشطة البشرية، تنبعث في الهواء المحيط بشكلٍ مباشر أو غير مباشر، ومن المرجَّح أن تكون لها آثار ضارَّة على صحَّة الإنسان والبيئة بشكلٍ عام.

PM2.5: هي العوالق الهوائية ذات قُطْر إيروديناميكي يصل إلى ٢,٥ مايكرومتر (µm)، ويشار إليها باسم "النسبة الجزيئيَّة الدقيقة".

PM10: هي العوالق الهوائية ذات قطر إيروديناميكي يصل إلى ١٠ مايكرومتر (µm)، وهي عبارة عن النِّسب الجزيئية الدقيقة والخشنة مجتمعة. (المركز الوطني للأرصاد، المقاييس البيئية، مقاييس جودة الهواء، تمَّ استرجاعه بتاريخ: (7/ 5/2024).

وقد قسَّمت وكالة حماية البيئة EPA مؤشِّرات جودة الهواء، حسب تركيزات PM10 وPM2.5 لأكثر من ساعة، إلى خمسة مستويات (جدول1)، تتدرَّج من الجيِّدة إلى الرديئة جدًّا، مع بيان أثرها على صحَّة الإنسان، وأشارت الوكالة إلى أنه لا يوجد معيار وطني لمتوسط PM10 وPM2.5 في الساعة الواحدة، ولكن استُخدِمت قيمة (80 ميكروميتر/م3) لتركيز PM10، و(50 – 100 ميكروميتر/ م3) لتركيز PM2.5، كمؤشِّر لجودة الهواء الرديئة.

الجدول (1) مؤشِّرات جودة الهواء الصادرة من وكالة حماية البيئة الأمريكية

المؤشِّر	متوسط PM10 ميكروميتر/ م3 أكثر من ساعة	متوسط PM2.5 ميكروميتر/ م3 أكثر من ساعة	نصائح الصحَّة العامَّة
جيِّد	أقل من 40	أقل من 25	لا مانع من ممارسة الأنشطة في الهواء الطَّلق.
معتدل	80 – 40	50 – 25	للفئات العامَّة: لا مانع من ممارسة الأنشطة في الهواء الطلق. للفئات الحسَّاسة: ضرورة تقليل النشاط البدني عند ظهور أعراض كالسُّعال وضيق التنفس.
رديء	120 – 80	100 – 50	من المحتمل أن يكون الهواء ملوَّثًا بالدخان أو الغبار. للفئات العامَّة: تقليل ممارسة الأنشطة عند السعال أو ضيق التنفس. للفئات الحسَّاسة: ضرورة تجنُّب ممارسة الأنشطة عند ظهور أعراض السعال وضيق التنفس.
رديء جدًّا	300 – 120	300 – 100	من المحتمل أن يكون الهواء ملوَّثًا جدًّا بالغُبار والدخان. للفئات العامَّة: تجنُّب ممارسة الأنشطة عند السعال أو ضيق التنفس. للفئات الحسَّاسة: تجنُّب ممارسة الأنشطة، ويُنصَح بالبقاء في المنزل.
رديء لأقصى حدٍّ	أكثر من 300	أكثر من 300	من المحتمل أن يكون الهواء ملوَّثًا لأقصى حدٍّ بالغُبار والدخان. للفئات العامة: يُنصَح بالبقاء في المنزل. للفئات الحساسة: يُنصَح بالبقاء في المنزل، وتقليل ممارسة الأنشطة الداخليَّة.

المصدر/ (https://www.epa.vic.gov.au/)

الدِّراسات السابقة:

عنيتْ العديد من الدراسات المحلية والإقليمية بدراسة جودة الهواء في المدن الحضرية، منها: دراسة (الهاجري، واخرون، 2017) بعنوان: "نمذجة الهواء في منطقة المنصورية بدولة الكويت"، هدفت الدراسة إلى التحليل الزماني والمكاني لجودة الهواء في منطقة المنصورية بدولة الكويت للفترة من 2004 إلى 2016، وتوصلت الدراسة إلى ارتفاع نسبة الملوِّثات، مثل: ثاني أكسيد الكربون، وأوَّل أكسيد الكربون، والمركبات المتطايرة، وذلك بسبب احتراق الوقود، كما سجَّل عام 2005 أعلى تركيز للملوِّثات، خاصةً الأجزاء الشمالية الغربية، بسبب تركيز المصانع في منطقة الشويخ؛ إلَّا إن الباحث أشار إلى تناقُص تركيز ثاني أكسيد النيتروجين، نتيجة فرْض قوانين ومعايير جودة الهواء في منطقة المنصورية، ووجد الباحثون أن تراكيز الجُسيْمات الدقيقة PM10 وPM2.5؛ تتفاوت إمَّا بالزيادة أو النُّقصان خلال فترة الدراسة.

كما أشار (نصر واخرون، 2020) في دراستهم: "تقييم جودة الهواء في إطار التعدُّدية التشريعية لحماية البيئة (دراسة حالة مدينة العاشر من رمضان)، التي تهدف إلى قياس الجُسيْمات العالقة خلال مدَّة خطة الرصد البيئي؛ إلى أن نِسَب تراكيز الجسيمات العالقة لا تتناسب مع الحدود المسموحة بها، إذ تتراوح بين (80:62)، (64:55)، (59:54)، في المناطق الصناعية والزراعية والسكنية على التوالي، كما تتراوح الجسيمات العالقة الأقل من 10 ميكروميتر ما بين (170 ميكروجرام/ م3: 180 ميكروجرام/ م3) في المناطق الصناعية، (138 ميكروجرام/ م3: 150 ميكروجرام/ م3) في المناطق الزراعية، (119 ميكروجرام/ م3: 125 ميكروجرام/ م3) في المناطق السكنية. ويرجع سبب ذلك كما -أشار الباحثون- إلى تضارُب تشريعات جودة الهواء.

وبهدف التقييم الجيو إحصائي لتركيز العوالق الهوائية في مدينة الرياض، عاصمة المملكة العربية السعودية؛ قامت (سليمان، 2022) في دراستها: "تقييم تراكيز NO2 وPM10 في مدينة الرياض جيو إحصائيًا 2016 – 2018"، بالاعتماد على بيانات (16) محطةً ثابتةً في مدينة الرياض، وموزَّعةً في المناطق الحضرية على الطرق، بالقرب من المناطق الصناعية، وعلى أطراف المدينة، وبالاستعانة ببرنامج ARC GIS 10.1، وتوصلت الدراسة إلى أن نِسَب تركيز المركبات العالقة تزيد في جنوب شرق المدينة، بسبب الأنشطة الصناعية، وزيادة الحركة المروريَّة.

كما عُنيتْ دراسة (الدغيري، 2023) بعنوان: "التحليل المكاني لجودة الهواء في زمام محميَّة الإمام تركي بن عبد الله الملكية في المملكة العربية السعودية"؛ بالكشف عن التحليل المكاني لجودة الهواء في المحميَّة خلال ساعات الذُّرْوة، من الساعة الحادية عشرة، ولعدَّة ساعاتٍ في عام (1422هـ)، واستخدم فيها الباحث تقنيات التحليل المكاني IDW – Interpolation، وتحليل القيم الحرارية من بيانات Terraclimate، التي تمَّ الحصول عليها من منصَّة Climate Engine، وتوصلت الدراسة إلى جودة الهواء المثالية في المحمية، وأرجع الباحث أن سبب ذلك بُعدها عن المناطق الصناعية، باستثناء الجزء الشرقي والشمالي، حيث ترتفع فيه الملوِّثات في الهواء، بسبب مشاريع تكسير الصخور والمصانع القريبة من المحميَّة، وعوادم السيارات على الطرق.

أمَّا على المستوى العالمي، فقد ناقشت عددٌ من الدراسات تحليل ملوِّثات الهواء على الطرق على وجه التحديد، منها: دراسة (Singh, et al. 2013) بعنوان: "PM2.5 concentrations in London for 2008–A modeling analysis of contributions from road traffic"، التي قدَّموا فيها تحليلًا نموذجيًّا لمساهمة حركة المرور في زيادة تركيز الجزيئات الدقيقة على الطرق في لندن لعام 2008، وناقش فيها الباحثون التباين الزماني والمكاني لقيم تركيزات PM2.5 لثمانية عشر موقعًا في لندن، وتوصلت الدراسة إلى أن متوسطات التركيزات السنوية جيِّدة إلى حدٍّ ما، ولكن متوسط تركيز PM2.5 يتراوح بين 18% و 43% على طرق الضواحي الحضرية، والطرق المزدحمة على التوالي، وأشار الباحثون إلى أن حوالي 50% من إجمالي تركيزات PM2.5 تقع بالقُرب من الطرق السريعة، والطرق الرئيسة ذات الكثافة المروريَّة العالية، إذ تُسهم الحركة المرورية بحوالي (1 ميكروجرام / م3) من PM2.5 في المدن الحضرية في لندن، حيث إن ثُلثي هذه الزيادة بسبب انبعاثات عوادم السيارات المنبعثة، وبسبب تآكل الإطارات والفرامل.

كما ركَّزت دراسة (Qiu, Et al. 2017) بعنوان: "Pedestrian exposure to traffic PM on different types of urban roads: A case study of Xi'an, China"؛ على القياس الكمِّي للملوِّثات، وعلاقتها بنوع الطريق، وكثافة الحركة المروريَّة، والظروف المناخية كالحرارة والرياح، وهدفت الدراسة إلى الكشف عن خصائص توزيع الجُسيْمات الدقيقة على الطرق الحضارية، وتحديد أَثَر حركة المرور والظروف الجويَّة عليها، وأظهرت النتائج أن متوسط تركيز الجسيمات الدقيقة على الطرق السريعة الحضرية أعلى من تلك الموجودة على الطرق الشريانية أو المحلية، كما أن حجم المرور على الطرق السريعة والشريانية والمحلية أدَّى دورًا مهمًّا في التأثير على نسبة الجسيمات الدقيقة، خاصة PM2.5 وMP1.

ونظرًا للزيادة الكبيرة والمتنامية في عدد مُستخدِمي الدرَّاجات في مدينة فوتشو الصينية؛ قدَّم (HU, et al. 2021) دراسةً بعنوان: "Impacts of traffic and street characteristics on the exposure of cycling commuters to PM2.5 and PM10 in urban street environments"، حوْل إمكانيَّة تعرُّض راكبي الدرَّاجات لمستويات أعلى من الملوِّثات الناتجة عن الحركة المروريَّة، وحاول الباحثون التمييز بين قِيَم هذه الملوثات حسب عِدَّة عوامل: كخصائص المباني، وكثافة الغطاء النباتي على جوانب الطرق والشوارع المختلفة، وتوصلت الدراسة إلى أن تركيزات الجُسيْمات العالقة PM10 وPM2.5 ليست فقط على الطرق السريعة ذات الكثافة المرورية العالية، ولكن أيضًا في الشوارع الضيِّقة ذات الأشجار الكثيفة، بسبب انبعاثات شاحنات الدِّيزل، والغُبار الجوِّي العالق على الطرق، والتي يمكن أن تزيد من مخاطر تعرُّض راكبي الدرَّاجات للهواء

الملوَّث على هذه الطرق، كما أن عرْض الطريق، وبُعد المباني عنه؛ تُعدُّ من أهمِّ العوامل المؤثِّرة على التلوث في الشوارع الواسعة، بينما حجم وكثافة الأشجار تؤثِّر بشكلٍ واضحٍ على مستويات التلوث في الشوارع الضيِّقة.

في حين أشار (Matthaios, et al. 2022) في دراستهم بعنوان: "Quantifying factors affecting contributions of roadway exhaust and non-exhaust emissions to ambient PM10–2.5 and PM2.5–0.2 particles"؛ إلى مناقشة جُسيْمات PM ذات العلاقة بالحركة المرورية، والتي تؤدِّي دورًا بارزًا في تلوُّث الهواء في المناطق الحضرية، وركَّز الباحثون على التمييز بين مصادر هذا التلوث، والتركيز على الجسيمات الخشنة القريبة من الطرق (PM10-2.5)، والجسيمات الدقيقة (PM2.5-0.2)، في مدينة بوسطن الأمريكية، حيث توصلوا إلى أن هناك سِتَّة مصادر للجُسيْمات الخشنة، تتمثَّل في: عوادم السيارات، ملح الطريق، تآكل الفرامل، التلوث الإقليمي، الغُبار الجوّي، تآكل الإطارات، وسبعة مصادر للجُسيْمات الدقيقة، تتمثَّل في مصادر الجسيمات الخشنة السابقة، مضافًا لها التلوث بالنِّيكَل والكُروم، حيث تُسهم هذه المصادر مجتمعة دون عوادم السيارات، بما نسبته (65.6%)، (29.1%) من نسبة PM10-2.5 وPM2.5-0.2 على التوالي، بينما بلغت مساهمة عوادم السيارات (10.4%)، (20.7%) على التوالي، ويُعدُّ غُبار الطريق أكبر مُساهِم في التلوث بالجسيمات الخشنة، بنسبة (29.6%)، بينما أكبر مصدر للجسيمات الدقيقة غير عوادم السيارات؛ هو تآكل الإطارات بنسبة (12.3%). وتوصل الباحثون إلى أن درجة الحرارة، وعدد السيارات، وساعات الذُّرْوة، والسرعة على الطريق، ونوع الطريق، وسرعة الرياح، والرطوبة الجويَّة؛ تُعدُّ من أهمِّ العوامل المهمَّة في زيادة تأثير عوادم السيارات، والغُبار على الطريق، وتآكل الإطارات والفرامل.

ومن خلال استعراض الدراسات السابقة، يتضح أن مضامير المشي المهيَّأة لممارسة الرياضة، والمحيطة بالحدائق العامَّة داخل المدن الحضرية؛ لم تحظَ بدراسات بحثيَّة خاصة بتقييم جودة الهواء، سواء على المستوى المحلي والإقليمي أو الدولي، إذ ركَّزت الدراسات على تقييم جودة الهواء في ضواحي المدن وطرقها، وأجمعت نتائج هذه الدراسات على أن الأنشطة البشرية، كالصناعة وحركة المرور؛ كانت العامل الرئيس في التأثير على مستويات تركيز الملوِّثات في الهواء داخل المدن، ونظرًا لعدم وجود دراسات بحثية، وقياسات دقيقة على مضامير المشي داخل المدن؛ جاءت هذه الدراسة الحالية؛ لتقديم صورة أوَّلية للكشف عن أكثر الملوِّثات تأثيرًا على الجهاز التنفسي PM10 وPM2.5، وتبايُنها المكاني والزماني على مضامير المشي داخل مدينة بريدة، وعلاقتها بالقُرب من الطرق السريعة والفرعية، وحجم الحركة المروريَّة عليها.

2- منهجيَّة الدراسة:

تقوم الدراسة الحالية على تتبُّع الظاهرة، ثمَّ وصْفها، وتحليلها مكانيًّا وزمانيًّا، بالاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي ومنهج التحليل المقارن للمشكلة على مستوى الدراسة ككل في مرحلة تحليل النتائج والمقارنة بين مواقع المضامير، وتحليل البيانات المتحصَّل عليها باستخدام الاساليب الكمِّية، وذلك من خلال المراحل الآتية:

1. مرحلة جمع البيانات:

تمَّ إعداد فريقٍ تطوُّعيٍّ لجمع بيانات الدراسة، المتمثِّلة في الآتي:

- رصْد مستويات الملوِّثات PM10 وPM2.5، باستخدام جهاز رصْد جودة الهواءAir Quality Detector، على الطرق المحيطة بالحدائق المهيَّأة، كمضامير مشْي صحيَّة في مدينة بريدة، والتي تتوفَّر فيها المسطَّحات الخضراء، وأماكن للجلوس، ومواقف للسيارات، والقياسات المتريَّة، والألعاب الرياضية، والأرضية المطَّاطيَّة الآمنة، وتنطبق هذه الشروط على سِتِّ حدائق في مدينة بريدة، هي: حديقة مناخ العقيلات، حديقة المنتزه، حديقة غرب الوكالة، حديقة الإسكان، وحديقة بحيرة الخليج وحديقة الرحاب، شكل (1)، (بلدية بريده، وكالة التخطيط، إدارة الحدائق، 2024). كما تمَّ رصْد تركيزات PM10 وPM2.5 على فترتين زمنيَّتين هما: (6-9 صباحًا)، (6- 9 مساءً)، لأربعة أيام عمل، ويومين عطلة، في شهر فبراير عام 2024.
- رصْد حجم الحركة المروريَّة على الطرق المحيطة بالحدائق المهيَّأة، كمضامير مشْي خلال الفترة الزمنية التي تمَّ فيها رصْد تركيزات PM10 وMP2.5، وبطريقة العدِّ اليدوي، وهو من الأساليب التقليدية التي تعتمد على المسوحات والمقابلات، وتوفِّر هذه المنهجيَّات معلومات مفيدة حوْل الحركة المروريَّة، كمعرفة نوع المركبة، وعدد المركبات والركَّاب، وغيرها، ويتمُّ إجراء العدِّ اليدوي غالبًا خلال فترات قصيرة، ثمَّ يتمُّ احتساب المتوسط لحركة المرور اليومية. (الدليل الإرشادي الإقليمي حول إحصاءات حجم حركة المرور على الطرق (مركبات – كيلومترات)، الإسكوا، 2022).

2. مرحلة تحليل البيانات:

تمَّ استخدام برنامج SPSS لتحليل البيانات المتحصَّل عليها، باستخدام الأساليب الآتية:

- اختبار تحليل التباين الأحادي One Way ANOVA: للكشف عن التبايُن المكاني والزماني لمستويات PM10 وPM2.5، على مضامير المشي في الحدائق السِّتِّ، والتباين في مستوياتها حسب نوع الطريق الرئيس والفرعي.
- معامل ارتباط بيرسون Pearson correlation: لتحديد العلاقة بين حجم الحركة المروريَّة وتركيزات PM10 وPM2.5.

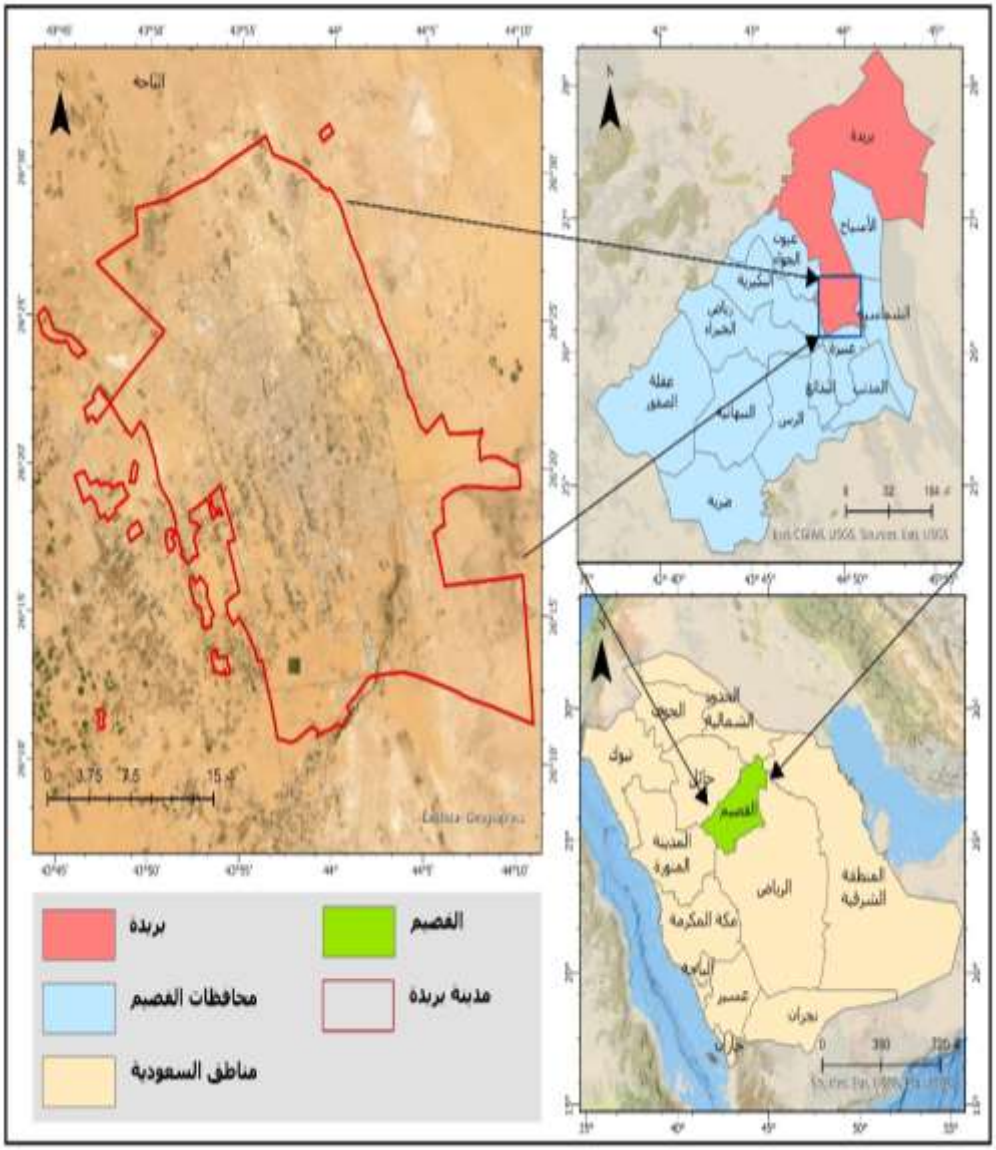
الشكل (1) شبكة الطرق في مدينة بريدة ونقاط جمع العينة

المصدر:

- **Open Street Map**
- **بلدية بريده، وكالة التخطيط، إدارة الحدائق، 2024**

منطقة الدراسة:

تُمثِّل مدينة بريدة قاعدة منطقة القصيم وأكبر مدنها، فهي تأتي في المرتبة الثانية بَعد مدينة الرياض، من حيث النشاط والحيوية لمدن وسَط المملكة العربية السعودية، كما أنها تُعدُّ عاصمة منطقة القصيم الإدارية وأكبر مراكزها التجارية. وتقع مدينة بريدة في الجزء الشمالي الأوسط من منطقة القصيم، إلى اليسار من مَجْرَى وادي الرُّمَّة، شكل (2)، بين دائرتي عرْض: 26° 26′ 11″؛ وخَطَّيْ طول: 43° 55′ , 44° 04′. (المضيان، 2018). ويبلغ عدد سكانها حتى عام 2022 حوالي 677647 نسمة، وقد بلغت مساحة النطاق العمراني فيها حوالي 870.25 كم2. (أمانة منطقة القصيم، مرصد بريدة الحضري، 2022).



الشكل (2) موقع مدينة بريدة ونطاقها العمراني حتى عام 1445هـ

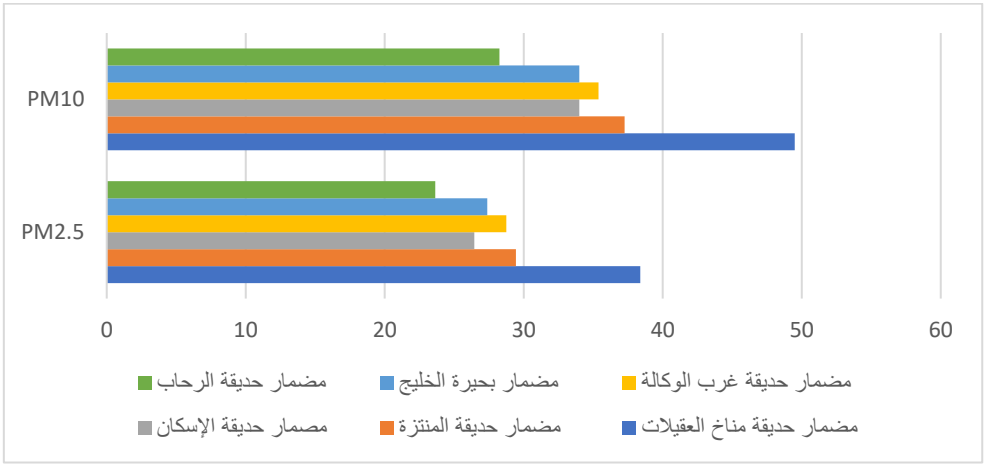
المصدر/ من عمل الباحثة استناداً إلى:

- **هيئة المساحة الجيولوجية، 2017.**
- **أمانة منطقة القصيم، 2019**

نتائج الدراسة:

1. التباين المكاني لتركيز الجُسَيْمات الدقيقة PM10 وPM2.5، في مضامير المشي بمدينة بريدة:

بناءً على مؤشِّرات جودة الهواء من وكالة حماية البيئة الأمريكية جدول (1)، والشكل (3)، الذي يبيّن متوسطات PM10 وPM2.5 لمواقع الدراسة؛ يظهر أن تركيزات PM10اليومية تتراوح بين (49.50 ميكروميتر/ م3 – 28.25 ميكروميتر/ م3)، وبين (38.38 ميكروميتر/ م3-23.63 ميكروميتر/ م3)، للمتوسط اليومي لتركيز PM2.5، وقد جاءت في المستويات الجيّدة والمعتدلة، التي لا يُمنَع فيها ممارسة الأنشطة الرياضية الخارجية، مع ضرورة تقليل النشاط البدني للفئات الحسَّاسة، التي تظهر عليها أعراض تنفُّسيَّة، كالسُّعال وضيق التنفُّس.



الشكل (3) متوسط تركيز PM10 وPM2.5 لمو اقع الدراسة

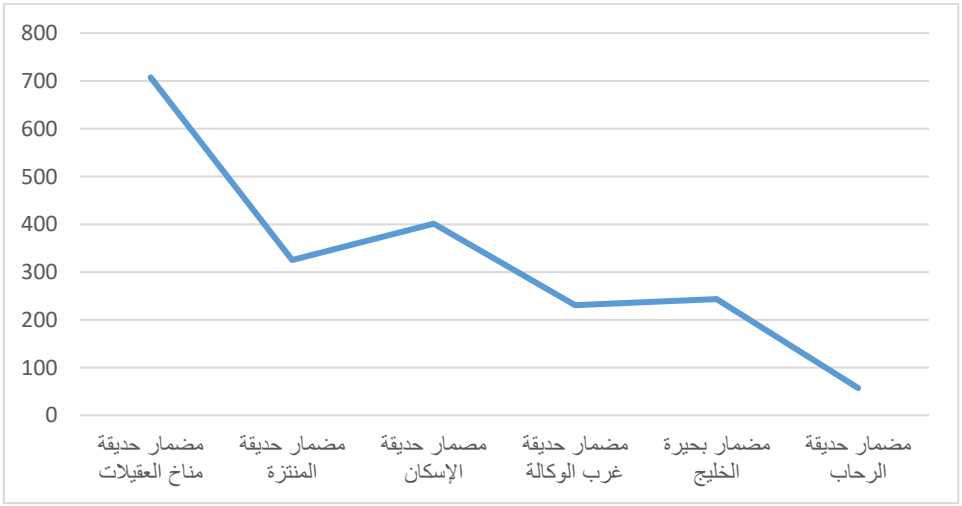
المصدر/ من عمل الباحث

وبالاطِّلاع على نتائج تحليل التباين ANOVA، جدول (2)؛ يتضح وجود تباين دال إحصائيًّا بين مستويات تركيزات الهواء PM2.5 وPM10، بين مضامير المشي في الحدائق الستِّ المدروسة في منطقة الدراسة، وهذا يشير إلى أن موقع المضمار له تأثير على مستويات التلوث بالجُسيْمات الدقيقة. فقد جاء مضمار حديقة مناخ العقيلات الأعلى في مستويات PM10 وPM2.5، بمتوسط (49.50 ميكروميتر/ م3)، (38.38 ميكروميتر/ م3) على التوالي، وأدناها مضمار حديقة الرحاب (28.25 ميكروميتر/ م3)، (23.63 ميكروميتر/ م3)، وهذا يرجع في الغالب إلى أن موقع المضمار يقع بالقُرب من الطرق الشريانية، وحجم الكثافة المروريَّة عليها، إذ إن مضمار حديقة مناخ العقيلات يقع على أكثر الطرق ازدحامًا مروريًّا في المدينة – طريق الملك فهد، وطريق العدل-، ويبلغ متوسط الحركة المرورية اليومية على الطرق المحيطة بها أكثر من (707 سيارة/ الساعة)، مقارنةً بـ(57 سيارة/ ساعة)، على طرق مضمار حديقة الرحاب. شكل (4).

الجدول (2): نتائج تحليل التباين الأحادي لمستويات PM10 وPM2.5 لمو اقع الدراسة

الملوث	F	القيمة المعنوية	الدلالة الإحصائية
PM2.5	**2.51**	**0.038**	**دال**
PM10	**3.51**	**0.007**	**دال**

المصدر/ من عمل الباحث



الشكل (4) متوسط الحركة المرورية اليومية (سيارة/ ساعة) على الطرق للمو اقع الدراسة

المصدر/ من عمل الباحث

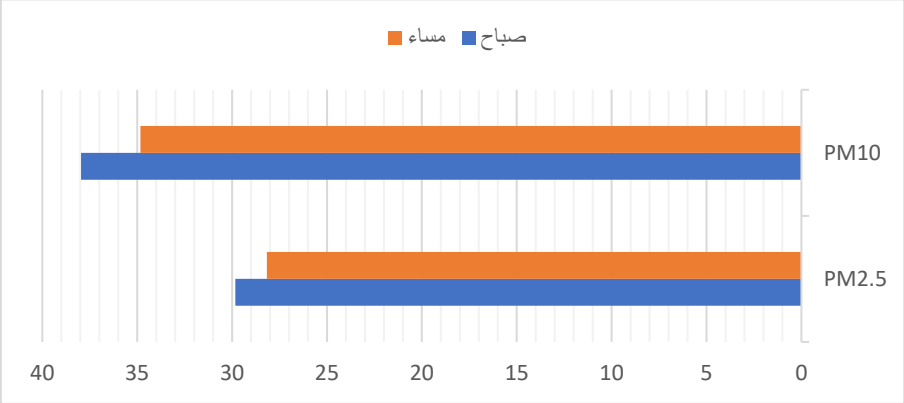
2. التباين الزماني لتركيز الجسيمات الدقيقة PM10 وPM2.5 في مضامير المشي بمدينة بريدة:

يناقش هذ المبحث التباين الزماني لتراكيز PM10 وPM2.5 على فترتين، هما: (6 – 9 صباحًا)، (6 – 9 مساءً)، كما يتضمَّن التباين الزماني لتراكيز هذا الملوِّثات بين أيام العطلة: (الجمعة والسبت)، وأيام العمل: (الأحد – الخميس)، وجاءت نتائج الدراسة كما هو مُبيَّن في الشكل (5، 6)، على النحو الآتي:

1/2 بلغ متوسط تراكيز PM10 خلال ساعات الصباح (37.96 ميكروميتر/ م3)، مقارنةً بـ(34.83 ميكروميتر/ م3) مساءً، وبلغ تركيز PM2.5 (29.83 ميكروميتر/ م3)، (28.17 ميكروميتر/ م3) خلال ساعات الصباح والمساء على التوالي.

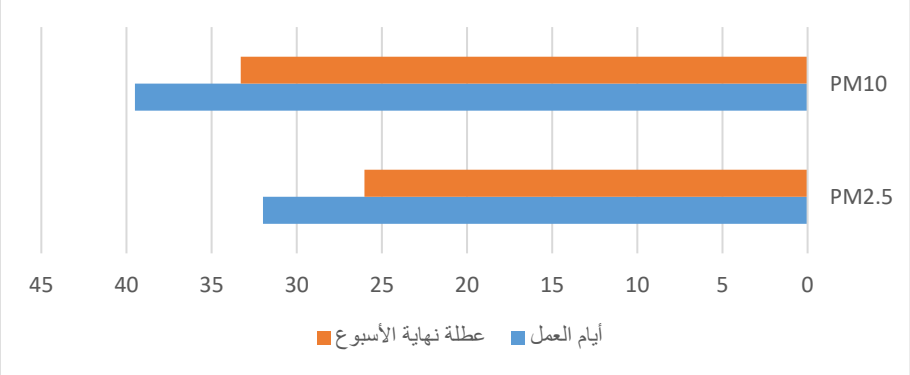
2/2 تراوح متوسط تراكيز PM10 خلال أيام العمل وأيام العطلة بين (39.50 ميكروميتر/ م3)، (33.29 ميكروميتر/ م3) على التوالي، كما تراوحت متوسطات PM2.5 بين (31.98 ميكروميتر/ م3)، (26.02 ميكروميتر/ م3) لأيام العمل وأيام العطلة على التوالي.

وفي هذا الصدد، ينبغي التنويه على أن تراكيز هذه الجُسيْمات الدقيقة ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالظروف الجويَّة، كالإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والأمطار، التي تحدِّد تركيز هذه الجسيمات وسلوكها، إذ يُلاحَظ ارتفاعها الطفيف خلال ساعات الصباح بسبب ارتفاع عمليات التسخين، وارتفاعها أيام العمل الأسبوعية بسبب انبعاثات وسائط النقل، الناتجة عن زيادة حجم الحركة المروريَّة خلال أيام العمل.



الشكل (5) متوسط تركيز PM10 وPM2.5 صباحاً ومساءاً

المصدر: من عمل الباحث



الشكل (6) متوسط تركيز PM10 وPM2.5 لأيام العمل و أيام العطلة

المصدر: من عمل الباحث

وللمقارنة بين تركيزات PM10 وPM2.5 خلال هذه الفترات الزمنيَّة، وللتوصُّل إلى وجود فروقات دالة إحصائيًّا بينها؛ تمَّ استخدام تحليل التباين الأحادي ANOVA، جدول (3، 4)، وتبيَّن من خلالها أنه ليس هناك فروق دالة إحصائيًّا عند القيمة المعنوية أقل من (0.05)، بين تركيزات الجُسيْمات الدقيقة حلال الفترات الصباحية والمسائية، أو أيام العمل وأيام العطلة ، فيما عدا التباين الزماني بين تركيزات PM10 لفترات الصباح والمساء، إذ يُلاحَظ أن هناك ارتفاعًا طفيفًا خلال ساعات الصباح الأُولى كما ذُكِر آنفًا، وذلك يرجع في الغالب إلى ارتفاع حجم حركة المرور، وما يكتنفها من زيادة انبعاثات السيارات، واحتراق الوقود، وإثارة الأغبرة على الطرق، بالإضافة إلى ضعْف الظروف الجويَّة الملائمة لتشتيت الملوِّثات بالهواء الجوي، مقارنةً بالفترة المسائية.

الجدول (3): نتائج تحليل التباين الأحادي لتركيزات PM10 وPM2.5 للفترة الزمنية (6-9 صباحاً) و (6 – 9 مساءاً)

الدلالة الإحصائية	القيمة المعنوية	F	الملوث

غيردالة	0.065	3.51	PM2.5
دالة	0.043	4.25	PM10

المصدر/ من عمل الباحث

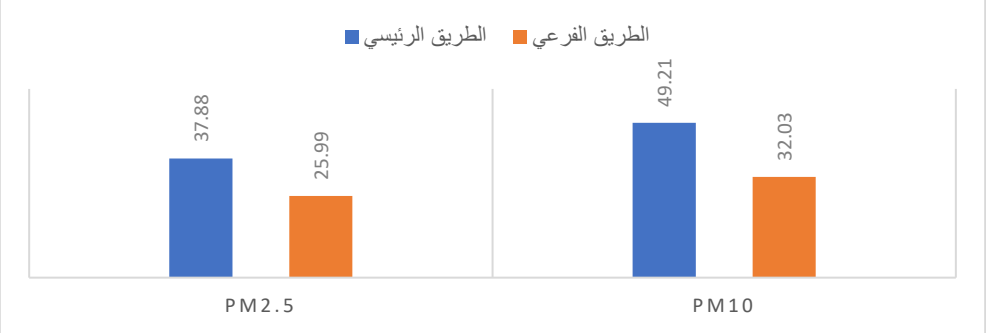
الجدول (4): نتائج تحليل التباين الأحادي لتركيزات PM10 وPM2.5 لأيام العمل و أيام العطلة الاسبوعية

الدلالة الاحصائية	القيمة المعنوية	F	الملوث
غيردالة	1.0	0.0	PM2.5
غيردالة	0.796	0.067	PM10

المصدر/ من عمل الباحث

3. العلاقة بين نوع الطريق (رئيس أو فرعي)، وحجم الحركة المروريَّة على الطريق، وتركيز الجُسيْمات الدقيقة PM10 وPM2.5، على مضامير المشي بمدينة بريدة:

يُلاحَظ من خلال القراءة الأوَّلية للشكل (7)، الذي يُبيّن متوسط تراكيز PM10 وPM2.5 على الطرق السريعة والفرعية، حوْل مضامير المشي في الحدائق السِّت، والجدول (5) الذي يُبيّن نتيجة تحليل التباين بين نوع الطريق الرئيس والفرعي، وتراكيز PM10 وPM2.5؛ أن هناك فروقًا دالة إحصائيًّا بين مستويات الجُسيْمات الدقيقة العالقة في الهواء، بين الطرق السريعة والفرعية القريبة من مضامير المشي في المدينة، وبطبيعة الحال، فإن تسارُع حركة المرور وتباطؤها على الطرق الرئيسة، وحجم الحركة المروريَّة، ونوعيَّة المركبات؛ تُسهم بلا شكٍّ في زيادة تراكيز الجسيمات الدقيقة العالقة في الهواء.



الشكل (7): متوسط تراكيز PM10 وPM2.5 حسب نوع الطريق

المصدر: من عمل الباحث

الجدول (5) نتائج تحليل التباين الأحادي لتركيزات PM10 وPM2.5 على الطرق الرئيسة والفرعية

الدلالة الاحصائية	القيمة المعنوية	F	الملوث
دالة	0.017	5.97	PM2.5
دالة	0.0016	10.79	PM10

المصدر/ من عمل الباحث

ولفهم العلاقة بين حجم الحركة المرورية على الطرق، ومستويات تراكيز PM10 وPM2.5؛ تمَّ استخدام معامل ارتباط بيرسون، جدول (6)، وقد أظهرت النتائج وجود علاقة ارتباط موجبة ذات دلالة إحصائية، بين كثافة حركة المرور - عدد السيارات في الساعة - ومستويات تلوُّث الهواء بالجُسيْمات الدقيقة PM10 وPM2.5، وهذا يشير إلى أن زيادة كثافة حركة المرور تؤدِّي إلى زيادة مستويات التلوُّث بالجسيمات الدقيقة.

الجدول (6) نتائج معامل ارتباط بيرسون بين كثافة الحركة المرورية ومستويات PM10 وPM2.5 على الطرق.

الدلالة الاحصائية	القيمة المعنوية	R	العلاقة بين التغيرات
دالة	0.00017	0.429	PM2.5مقابل السيارات بالساعة
دالة	0.000047	0.461	PM10 مقابل السيارات بالساعة

المصدر/ من عمل الباحث

خلاصة النتائج:

1. تُظهِر النتائج أن متوسط تركيزات الجسيمات الدقيقة PM10 وPM2.5 في المواقع المدروسة؛ تقع ضِمْن المستويات الصحيَّة الجيِّدة والمعتدلة، وفقًا لمؤشِّرات جودة الهواء الصادرة من وكالة حماية البيئة الأمريكية.
2. تُوحِي النتائج إلى تباين تراكيز PM10 وPM2.5 مكانياً، إذ أن هناك زيادة على مضْمار حديقة مناخ العقيلات، الواقعة على الطريق الشرياني؛ طريق الملك فهد، وطريق العدل، ومضمار حديقة المنتزه، الواقعة على طريق الملك عبد العزيز.
3. توصلت الدراسة إلى أنه ليس هناك تباين زماني دال إحصائيًّا بين تركيزات الجُسيْمات الدقيقة، فيما عدا التباين الزماني بين تركيزات PM10، إذ وُجِد أن هناك ارتفاعًا طفيفًا خلال ساعات الصباح الأُولى، مقارنةً بساعات المساء.
4. دلَّت نتائج الدراسة على أن نوعيَّة الطريق – الرئيس والفرعي – تؤدِّي دورًا مهمًّا في تبايُن تراكيز PM10 وPM2.5، في مضامير المشي المدروسة.
5. ترتَّب على كثافة الحركة المرورية على الطرق القريبة من مضامير المشي؛ زيادة في معدَّلات تراكيز PM10 وPM2.5.

التوصيات:

1. زيادة الأشجار المزروعة على جوانب الحدائق المخصَّصة كمضامير للمشي في المدينة، واختبار كفاءتها في خفْض مستويات الغُبار الجوِّي.
2. مراعاة شروط السلامة المروريَّة والمعايير الصحيَّة والبيئية عند تنفيذ مضامير المشي داخل المدن، بعيدًا عن الطرق ذات الكثافة المرورية العالية.
3. إجراء دراسات مماثلة على مستوى المملكة العربية السعودية؛ لتوفير قاعدة بيانات خاصة بمستويات PM10 وPM2.5، حوْل مضامير المشي داخل المدن.

قائمة المصادروالمراجع

المراجع العربية:

- الدغيري، أ. (2023). التحليل المكاني لجودة الهواء في زمام محمية الإمام تركي بن عبد الله الملكية في المملكة العربية السعودية. مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية، 7(2)، 15-26.
- الاسكو. (2022). الدليل الارشادي الاقليمي حول إحصاءات حجم حركة المرور على الطرق (مركبات – كيلومترات). من موقع: http://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/regional-guideline-statistics-volume-road-traffic-arabic_0.pdf
- المركز والوطني للأرصاد .(2024) . المقاييس البيئية- مقاييس جودة الهواء. من موقع https://ncm.gov.sa/Ar/Environment/EnvironmentSector/EnvStandards/Documents/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%8A%D8%B3%20%D8%AC%D9%88%D8%AF%D8%A9%20%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%A1%20%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AD%D9%8A%D8%B7
- المضيان، أ. (2018). تقييم الحاجة السكنية في مدينة بريدة بالمملكة العربية السعودية. رسالة دكتوراه غير منشورة.
- أمانة منطقة القصيم. مرصد بريدة الحضري.(2019و 2022).
- بلدية مدينة بريده. (2024). وكالة التخطيط، إدارة الحدائق.
- سليمان، ع. (2022). تقييم تراكيز PM10 and NO2 في مدينة الرياض جيو احصائياً خلال الفترة 1016 – 2018. مجلة بحوث كلية الاداب، جامعة المنوفية.
- منظمة الصحة العالمية. (2022). تلوث الهواء المحيط (الهواء الخارجي). من موقع:-https://www.who.int/ar/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
- نصر،ص.إ.، الجندي، م. ع.، القصاص، هـ إ.، وعبد الرزاق، ط.ع. (2020). تقييم جودة الهواء في اطار التعددية التشريعية لحماية البيئية (دراسة حالة – مدينة العاشر من رمضان). مجلة العلوم البيئية، 49(9)، 127- 154.
- هيئة المساحة الجيولوجية. (2017). المملكة العربية السعودية.

References

- Alhajri, F. S., Abo El-Nasr, M. M., Abdel-Halim, H. E., Al Hajeri, N. S., & Al Fadhli, F. M. (2017). AIR QUALITY MODELLING IN AL-MANSOURYIA AREA KUWAIT. Journal Of Environmental Science, 40(1), 75-100.

- Amorim, J., Valente, J., Casco, P., Rodrigues, V., Pimentel, C., Miranda, A., & Borrego, C. (2013). Pedestrian Exposure to Air Pollution in Cities: Modeling the Effect of Roadside Trees. Advances in Meteorology, 2013(1).
- Davies,G., & Whyatt. D. (2014). A network-based approach for estimating pedestrian journey-time exposure to air pollution. Science of The Total Environment, 485-486, 62-70.
- EPA Portal. (2021). PM10 & PM2.5 particles in the air. Retrieved from https://www.epa.vic.gov.au/for-community/environmental-information/air-quality/pm10-particles-in-the-air
- Hu, H., Chen, Q., Qian, Q., Lin, C., Chen, Y., & Tian, C. (2021). Impacts of traffic and street characteristics on the exposure of cycling commuters to PM2.5 and PM10 in urban street environments. Building and Environment, 188, Article 107476.
- Matthaios, V., Lawrence, J., Martins, M., Ferguson, S., Wolfson, J., Harrison, R., & Koutrakis, P. (2022). Quantifying factors affecting contributions of roadway exhaust and non-exhaust emissions to ambient PM10−2.5 and PM2.5−0.2 particles. Science of The Total Environment, 835, Article 155368.
- Nazarenko, Y.,Pal, D., & Ariya, P. (2021). Air quality standards for the concentration of particulate matter 2.5, global descriptive analysis. Bull World Health Organ, 99(2), 125-137.
- Qiu, Z., Xu, X., Song, J., Luo, Y., Zhao, R., Zhou, B., Li, X., & Hao, Y. (2017). Pedestrian exposure to traffic PM on different types of urban roads: A case study of Xi'an, China. Sustainable Cities and Society, 32, 475-485.
- Singh, V., Sokhi, R., & Kokkonen, J. (2013). PM2.5 concentrations in London for 2008—A modeling analysis of contributions from road traffic. Journal of the Air & Waste Management Association, 64(5), 509-518.