العدد 20A1 اذار 2026
المجلة العراقية للبحوث الانسانية والاجتماعية والعلمية
No.20A1 Mar. 2026 Iraqi Journal of Humanitarian, Social and Scientific Research
Print ISSN 2710-0952 Electronic ISSN2790-1254

التحليل المكاني لتأثير حركة المرور على تباين تلوث الهواء الحضري في مدينة البصرة

م.د. فرح عبد القادر فالح رحيم النجدي
كلية التربية للبنات، جامعة تكريت، قسم الجغرافية
Farah.falih872@tu.edu.iq

الملخص:
يهدف هذا البحث التحليل المكاني لتأثير حركة النقل الحضري في مدينة البصرة على التباين في تلوث الهواء، مع التركيز على خصائص النظام المروري بوصفه العنصر الأكثر تأثيراً في تشكيل هذا التباين. إذ يبرز دور شبكة الطرق وكثافة الحركة وأنماط التنقل اليومية في تحديد مناطق الضغط المروري داخل المدينة، وما يرتبط بها من اختلافات مكانية في مستوى التأثيرات البيئية.
اعتمدت الدراسة على بيانات ميدانية لقياس كثافة النقل، إلى جانب بيانات القمر الصناعي (Sentinel-5P) لرصد ملوثات الهواء المرتبطة بحركة المرور، مثل ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) وأول أكسيد الكربون (CO) ومؤشر الهباء الجوي (AI). وقد استخدمت هذه البيانات لرصد التباين المكاني للملوثات على مستوى الطرق، وتحليل اختلاف كثافة الحركة المرورية بين أيام العطل وأيام الذروة وساعاتها، وبيان انعكاس ذلك على التوزيع المكاني للتأثيرات المرتبطة بالنقل داخل المدينة.
تشير النتائج إلى أن شبكة الطرق في البصرة تتركز بنسبة كبيرة في المناطق عالية وعالية جداً الكثافة (68%)، مما يزيد التدفق المروري والانبعاثات ويرفع مستويات تلوث الهواء، بينما توفر المناطق منخفضة الكثافة هواء أنقى، ما يجعل إدارة المرور في المناطق المكتظة أولوية لتحسين الجودة البيئية. تغطي المناطق منخفضة جداً ومنخفضة الكثافة حوالي 70% من مساحة المدينة، ما يتيح انسيابية نسبية ويحد من تراكم الانبعاثات، في حين تشكل المناطق عالية الكثافة نقاطاً حرجة نتيجة التوقف المتكرر وبطء الحركة. يوضح التحليل أن التباين المكاني لحركة المرور يتسبب في تفاوت مستويات تلوث الهواء، حيث ترتفع الانبعاثات من NO_2 والجسيمات العالقة في المناطق عالية الكثافة، بينما تسجل المناطق منخفضة الكثافة معدلات أقل بفضل انسيابية الحركة وانتشار الملوثات. كما تتأثر المؤشرات بالتفاعل بين النشاط البشري وكثافة المرور، مع زيادة NO_2 والهباء الجوي (AI) والفورمالديهايد (HCHO) خلال أيام الدوام مقارنة بالإجازات، بينما تسود الفئات منخفضة الكثافة معظم المدينة خلال الإجازات. هذه النتائج تؤكد الارتباط الوثيق بين تراكيز الملوثات والنشاط الحضري وكثافة الطرق، وتبرز أهمية إدارة حركة المرور والنشاط الحضري للحد من التلوث وحماية صحة السكان.
الكلمات المفتاحية: الكثافة المرورية، التحليل المكاني، مدينة البصرة، تلوث الهواء، Sentinel-5P.

Spatial Analysis of the Impact of Traffic on Urban Air Pollution Variability in Basra City

Dr. Farah Abdul Qader Falih Rahim Al-Najdi
Department of Geography, College of Education for Women, University of Tikrit
Email: Farah.falih872@tu.edu.iq

Abstract:
This study aims to analyze the spatial impact of urban transportation on air pollution variability in Basra, with a focus on traffic system characteristics as the most influential factor in shaping this variability. The role of the road network, traffic density, and daily mobility patterns is highlighted in determining congestion hotspots within the city and the associated spatial differences in environmental impacts.
The study relied on field data to measure traffic density, alongside satellite data (Sentinel-5P) to monitor traffic-related air pollutants, such as nitrogen dioxide (NO_2), carbon monoxide (CO), and the Aerosol Index (AI). These data were used to track the spatial variability of pollutants along roads, analyze differences in traffic density between weekdays

and holidays and across different times, and examine how this reflects on the spatial distribution of transport-related environmental impacts within the city.

Results indicate that Basra's road network is highly concentrated in high and very high-density areas (68%), increasing traffic flow, emissions, and air pollution levels, while low-density areas provide cleaner air, making traffic management in congested zones a priority for environmental quality improvement. Very low- and low-density areas cover approximately 70% of the city, allowing relative traffic fluidity and limiting emission accumulation, whereas high-density zones constitute critical points due to frequent stops and slow movement. The analysis shows that spatial variation in traffic causes significant differences in air pollution levels, with higher NO_2 and particulate matter emissions in high-density areas, while low-density areas record lower pollution rates due to smoother traffic flow and pollutant dispersion. Indicators are also affected by the interaction between human activity and traffic density, with increased NO_2, AI, and formaldehyde (HCHO) during weekdays compared to holidays, when low-density zones dominate most of the city. These findings confirm a strong link between pollutant concentrations, urban activity, and road density, highlighting the importance of managing traffic and urban activity to reduce pollution and protect public health.

Keywords: traffic density, spatial analysis, Basra city, air pollution, Sentinel-5P

المقدمة:

يعد تلوث الهواء الحضري من أبرز القضايا البيئية التي تواجه المدن الحديثة، ويكتسب أهمية خاصة في إطار جغرافية النقل، إذ تمثل حركة المرور أحد المصادر الرئيسية للملوثات الهوائية. في مدينة البصرة، تشهد الشوارع والمحاور الرئيسة كثافة مرورية مرتفعة، حيث تتزايد أعداد المركبات الخاصة والعامة يومياً، ويؤدي هذا النشاط المكثف إلى إطلاق كميات كبيرة من الغازات السامة والجسيمات الدقيقة نتيجة احتراق الوقود الأحفوري، إضافة إلى أن التوقفات المتكررة والانطلاق المستمر في أوقات الذروة المرورية يزيدان من معدلات الانبعاثات، ما يؤدي إلى تباين مكاني واضح في مستويات التلوث داخل المدينة.

ويعد التحليل المكاني أداة علمية محورية لفهم هذا التباين، حيث يتيح استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) دمج البيانات المرورية مع البيانات البيئية والمكانية. من خلال هذا التكامل، يمكن تحديد مناطق التركز المرتفع للملوثات، وربطها بالخصائص المكانية لشبكات الطرق، وكثافة الحركة المرورية، ونمط استخدام الأرض، مثل المناطق التجارية والصناعية والسكنية. كما يسمح التحليل المكاني بدراسة تأثير العوامل المحلية الأخرى، مثل نوعية المركبات، وسرعة الحركة، وتكرار التوقف والانطلاق، على تراكم الملوثات في النقاط الساخنة المرورية.

وتزداد أهمية هذا التحليل في مدينة البصرة نظراً لخصوصيات المناخ المحلي، حيث يؤدي ارتفاع درجات الحرارة في فصول الصيف واستقرار الكتل الهوائية في بعض الفترات إلى زيادة تراكم الملوثات، خصوصاً في مناطق التقاطعات والطرق الرئيسية ذات الحركة المرورية الكثيفة. كما يمكن للتحليل المكاني رصد الديناميكيات اليومية والفصلية لتلوث الهواء، بما يتيح دراسة العلاقة بين التحولات المرورية وتوزيع الملوثات بشكل دقيق، وهو ما يوفر قاعدة علمية متينة لدعم صناع القرار في وضع استراتيجيات النقل المستدام، وتحسين البنية التحتية المرورية، وتقليل الانبعاثات، وتعزيز جودة الهواء في المدينة.

مشكلة الدراسة:

تكمن مشكلة الدراسة في التساؤل الآتي:(كيف يؤثر حجم وكثافة حركة المرور في مدينة البصرة على التباين المكاني لتلوث الهواء الحضري، وما العلاقة بين شبكات النقل وتوزيع الملوثات الجوية داخل النسيج الحضري؟).

فرضية الدراسة:

تفترض الدراسة أنه كلما زادت كثافة حركة المرور على المحاور الرئيسة والتقاطعات المهمة في مدينة البصرة، زاد تراكم الملوثات الهوائية وتباينها مكانياً، بحيث تظهر أعلى مستويات التلوث في المناطق ذات النشاط المروري الكثيف مقارنة بالمناطق الأقل ازدحاماً.

أهداف الدارسة:

1- تحليل التوزيع المكاني لتلوث الهواء الحضري في مدينة البصرة، مع التركيز على الملوثات الناتجة عن حركة المرور مثل ثاني أكسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة.
2- دراسة العلاقة بين كثافة حركة المرور وشبكات النقل وتباين مستويات التلوث في مختلف مناطق المدينة.
3- تحديد النقاط الساخنة (Hotspots) للملوثات المرتبطة بالازدحام المروري على المحاور الرئيسة والتقاطعات المهمة.
4- تقييم تأثير أنماط النقل المختلفة (نوع المركبات، كثافة الحركة، سرعة الحركة، ونمط التوقف والانطلاق) على تراكم الملوثات داخل النسيج الحضري.
5- تقديم توصيات قائمة على التحليل المكاني لشبكات النقل لدعم التخطيط الحضري وإدارة الحركة المرورية، بهدف الحد من الانبعاثات وتحسين جودة الهواء في المدينة.

مناهج الدراسة:

تعتمد الدراسة على مجموعة من المناهج التي تتلاءم مع طبيعة البحث لفهم العلاقة بين حركة المرور وتباين تلوث الهواء في مدينة البصرة من منظور جغرافية النقل. إذ استخدم المنهج المكاني لتحليل التوزيع الجغرافي للملوثات وربطها بشبكات الطرق، بما يسهم في تحديد المحاور المرورية الرئيسة والتقاطعات الأكثر عرضة لتراكم الملوثات. كما اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لوصف خصائص الحركة المرورية وأنماط استخدام الأرض، وتحليل العلاقة بين كثافة المرور ومستويات التلوث.

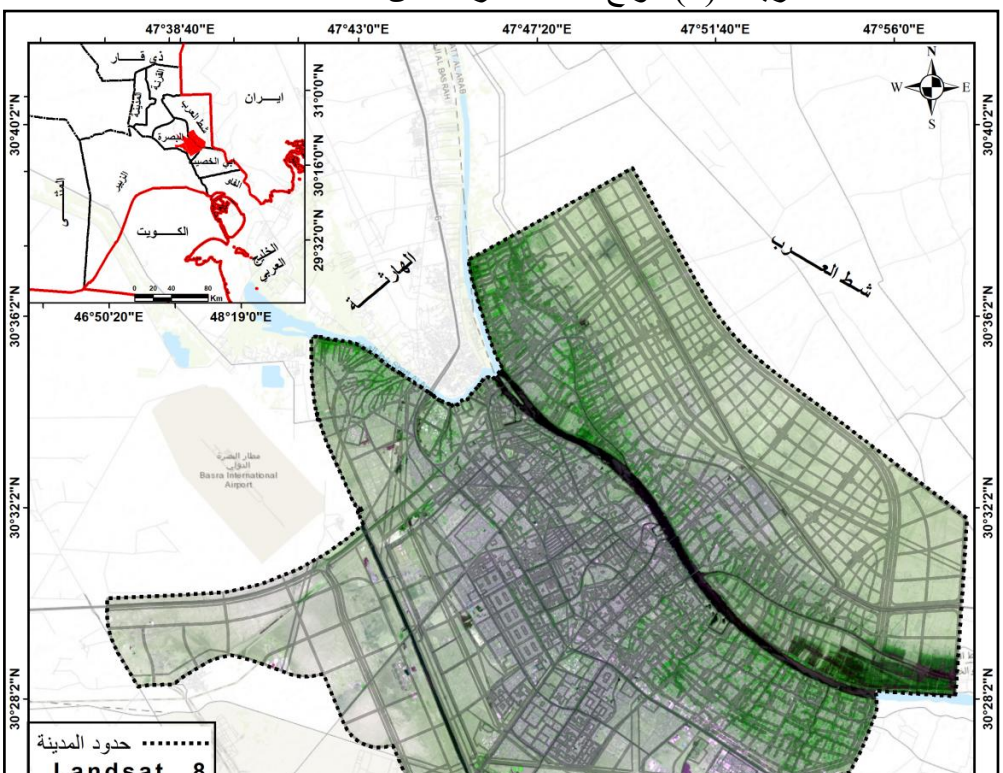
ولإبراز التباين المكاني لتلوث الهواء، استخدم المنهج المقارن لمقارنة مستويات التلوث بين المناطق ذات الكثافات المرورية المختلفة. كما تم توظيف المنهج الكمي والإحصائي بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد في جمع البيانات المكانية والمرورية وتحليلها، وإنتاج خرائط توضح توزيع الملوثات وتحديد النقاط الساخنة للانبعاثات المرورية داخل المدينة.

موقع منطقة الدراسة:

يقع مركز محافظة البصرة في قلب المحافظة ويعد مركزها الإداري الرئيس، إذ يمتد مجاله الجغرافي من شط العرب شرقاً إلى شط البصرة غرباً، ومن منطقة كرمة علي شمالاً حتى نهر السراجي جنوباً. وتندرج منطقة الدراسة ضمن هذا الامتداد المكاني، إذ تقع في الجزء الذي تحيط به هذه الحدود الجغرافية.

أما من الناحية الفلكية، فتقع المحافظة بين دائرتي عرض (**30°38′30″ – 30°23′0″**) وخطي طول (**47°40′40″- 47°56′10″**)، كما يظهر موقعها الجغرافي في خريطة (1).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة من المحافظة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة العراق الادارية بمقياس رسم 1:1000000، ومخرجات برنامج ArcGIS.

آلية وطرق العمل:

1- تحليل النمط المكاني لتجمع أطوال الطرق في مدينة البصرة:

يمثل الشكل (1) تحليل النمط المكاني باستخدام لطرق النقل لدينة البصرة باستخدام مؤشر(Getis-Ord General G statistic) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS)، والذي يستخدم للكشف عن طبيعة التوزيع المكاني للقيم، وتحديد ما إذا كانت القيم المرتفعة أو المنخفضة تتجمع مكانياً أم أنها موزعة بشكل عشوائي داخل منطقة الدراسة.

تظهر نتائج التحليل أن قيمة General G المرصودة (Observed General G) بلغت (0.000116)، وهي قيمة أعلى من القيمة المتوقعة للتوزيع العشوائي Expected General G التي بلغت (0.000055). وتشير هذه المقارنة إلى أن توزيع القيم في البيانات المدروسة لا يتبع النمط العشوائي، بل يميل إلى تكوين تجمعات مكانية للقيم المرتفعة. ويعد هذا مؤشراً أولياً على وجود نمط مكاني واضح في توزيع أطوال الطرق ضمن مدينة البصرة.

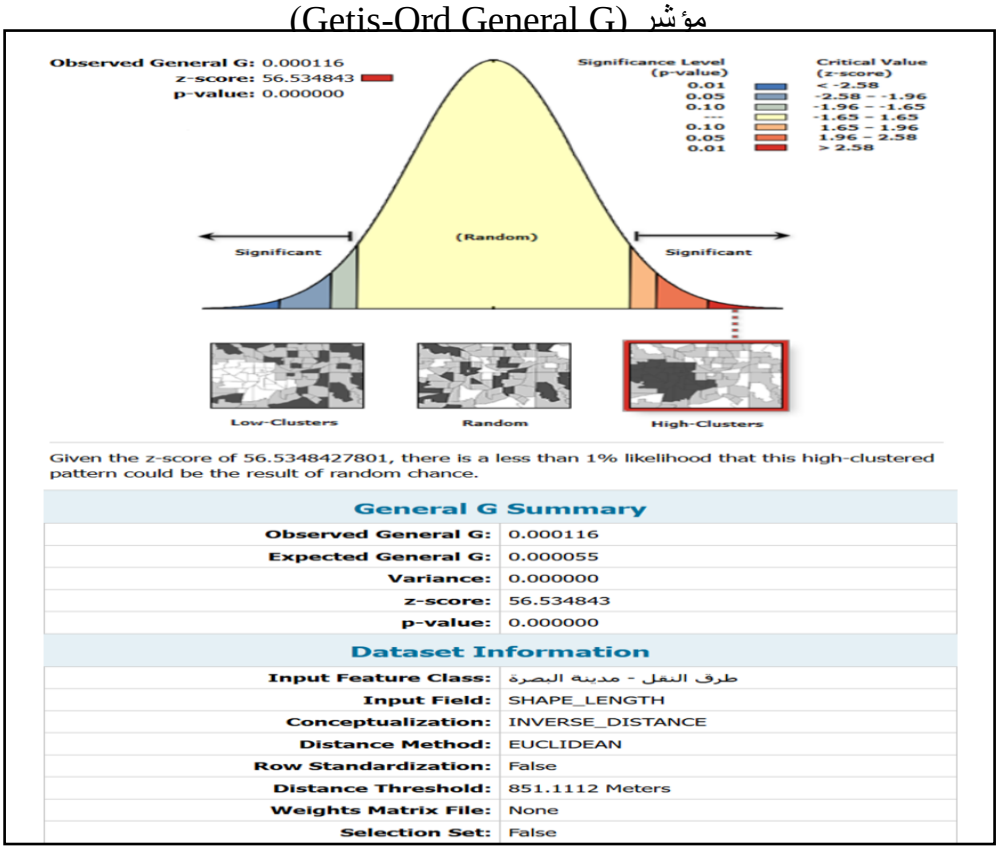
وتدعم هذه النتيجة قيمة (Z-score) المرتفعة جداً التي بلغت (56.53)، إذ تعد قيمة Z من أهم المؤشرات الإحصائية في التحليل المكاني، حيث تستخدم لقياس درجة انحراف النمط المكاني عن التوزيع العشوائي. ووفقاً للمعايير الإحصائية المتبعة في التحليل المكاني، فإن القيم التي تتجاوز (±2.58) تشير إلى دلالة إحصائية عالية عند مستوى ثقة (99%). وبما أن القيمة المحسوبة أكبر بكثير من هذا الحد، فإن ذلك يدل على وجود تجمع مكاني شديد الوضوح للقيم المرتفعة في شبكة الطرق، مما يعني أن أطوال الطرق الكبيرة تتركز في مناطق محددة بدلاً من أن تكون موزعة بشكل متساوٍ داخل المدينة(الحسن، الناصر، 2019).

كما تؤكد قيمة p-value التي بلغت (0.000000) قوة هذه النتيجة، إذ تشير إلى أن احتمال ظهور هذا النمط نتيجة الصدفة الإحصائية يكاد يكون معدوماً. وبذلك يمكن رفض فرضية العشوائية وقبول الفرضية البديلة التي تفيد بوجود نمط مكاني متجمع للقيم المرتفعة.

ومن الناحية المنهجية، تم تنفيذ التحليل اعتماداً على طبقة بيانات تمثل طرق النقل في مدينة البصرة، مع استخدام الحقل الذي يعبر عن أطوال الطرق كمتغير للتحليل، كما استخدم نموذج الترجيح المكاني (Inverse Distance) مع طريقة قياس المسافة الإقليدية Euclidean Distance، وبعتبة مسافة بلغت (851 متر). ويعني ذلك أن التحليل يأخذ في الاعتبار تأثير الطرق القريبة من بعضها البعض، بحيث يزداد التأثير المكاني كلما قلت المسافة بين المعالم الجغرافية.

وبناءً على ما تقدم، يمكن الاستنتاج أن شبكة الطرق في مدينة البصرة تظهر نمطاً مكانياً يتمثل في تجمع الطرق ذات الأطوال الكبيرة في نطاقات جغرافية محددة، وهو ما قد يعكس وجود محاور نقل رئيسية أو طرق شريانية تربط أجزاء المدينة المختلفة. ويعد هذا النوع من التحليل مهماً في الدراسات الجغرافية والحضرية لأنه يساعد في فهم بنية شبكة النقل وتحديد المناطق التي تشهد كثافة أو تركيزاً في البنية التحتية للطرق، الأمر الذي يمكن أن يسهم في دعم عمليات التخطيط الحضري وإدارة النقل(العيداني و المولى، 2017).

شكل (1) التحليل المكاني لتجمع أطوال الطرق في مدينة البصرة باستخدام مؤشر (Getis-Ord General G)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على إداه (Getis-Ord General G).

2- تحليل كثافة الطرق:

يتبين من خلال جدول (1) وخريطة (2) الذي يوضح كثافة الطرق في مدينة البصرة أن الجزء الأكبر من المدينة يقع ضمن المناطق ذات الكثافة العالية جداً والعالية، حيث تمثل الكثافة العالية جداً نسبة (35.81%)، تليها الكثافة العالية بنسبة (32.18%)، بينما تغطي المناطق ذات الكثافة المتوسطة نحو (18.61%)، وتشكل المناطق ذات الكثافة المنخفضة والمنخفضة جداً مجتمعة أقل من (14%).

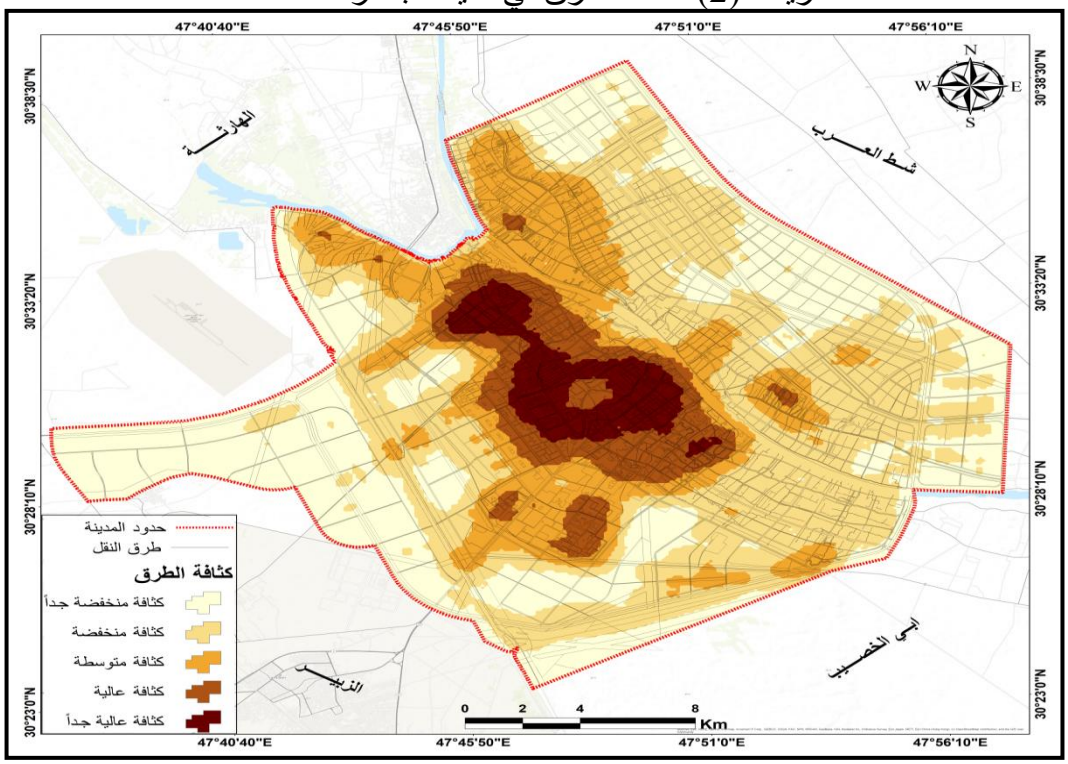
يشير هذا التوزع إلى أن الجزء الأكبر من شبكة الطرق يتركز في مناطق مزدحمة، مما يؤدي إلى زيادة التدفق المروري والانبعاثات الناتجة عن المركبات، وبالتالي ارتفاع مستويات تلوث الهواء. المناطق ذات الكثافة العالية تشهد تراكم الانبعاثات الغازية والجسيمات الدقيقة، خصوصاً عند ساعات الذروة، مقارنة بالمناطق ذات الكثافة المنخفضة جداً التي توفر نسبياً هواء أنقى بسبب انخفاض حركة المرور. بالتالي، يظهر تأثير التوزع المكاني لشبكة الطرق على جودة الهواء، حيث أن إدارة المرور في المناطق ذات الكثافة العالية يجب أن تكون أولوية لتقليل الانبعاثات وتحسين صحة السكان.

جدول(1) كثافة الطرق في مدينة البصرة

ت	الكثافة	المساحة	%
1	كثافة منخفضة جداً	33.73	5.27
2	كثافة منخفضة	51.98	8.12
3	كثافة متوسطة	119.14	18.61
4	كثافة عالية	205.98	32.18
5	كثافة عالية جداً	229.22	35.81

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (2).

خريطة (2) كثافة الطرق في مدينة البصرة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على شبكة الطرق وأداة (Line Density)، ومخرجات ArcGIS.

3- تحليل تقاطعات الطرق:

يتبين من خلال جدول (2) وخريطة (3) الذي يوضح كثافة التقاطعات المرورية في مدينة البصرة أن أغلب مساحة المدينة تقع ضمن المناطق ذات الكثافة المنخفضة جداً والمنخفضة، حيث تمثل الكثافة المنخفضة جداً نحو (50.49%)، تليها الكثافة المنخفضة بنسبة (19.97%)، بينما تغطي المناطق ذات الكثافة المتوسطة (13.10%)، والمناطق ذات الكثافة العالية والعالية جداً تمثل نسباً أقل، حيث بلغت (10.81%) و(5.64%) على التوالي.

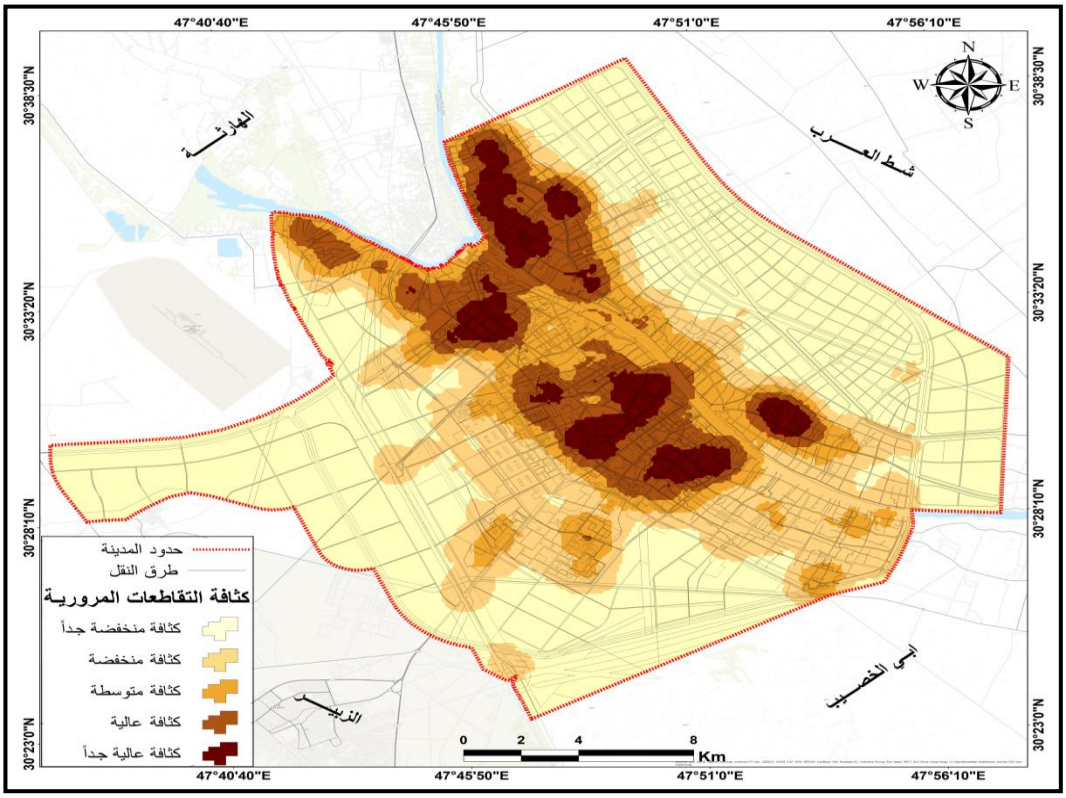
يشير هذا التوزع المكاني إلى أن معظم مناطق المدينة تتميز بانسيابية مرورية نسبية بسبب قلة التقاطعات، ما يقلل من حالات التوقف المتكرر ويحد من تراكم الانبعاثات الناتجة عن المركبات. ومع ذلك، فإن المناطق ذات الكثافة العالية والعالية جداً للتقاطعات تعد نقاطاً حرجة لتلوث الهواء، إذ تؤدي كثافة التقاطعات إلى بطء الحركة المرورية وارتفاع زمن التوقف عند الإشارات، مما يزيد من انبعاثات الغازات الضارة مثل ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة، وبالتالي يرفع مستويات تلوث الهواء المحلي في تلك المناطق، كما في صورة (1 ، 2 ، 3).

جدول(2) كثافة التقاطعات المرورية في مدينة البصرة

ت	الكثافة	المساحة	%
1	كثافة منخفضة جداً	323.14	50.49
2	كثافة منخفضة	127.79	19.97
3	كثافة متوسطة	83.82	13.10
4	كثافة عالية	69.19	10.81
5	كثافة عالية جداً	36.07	5.64

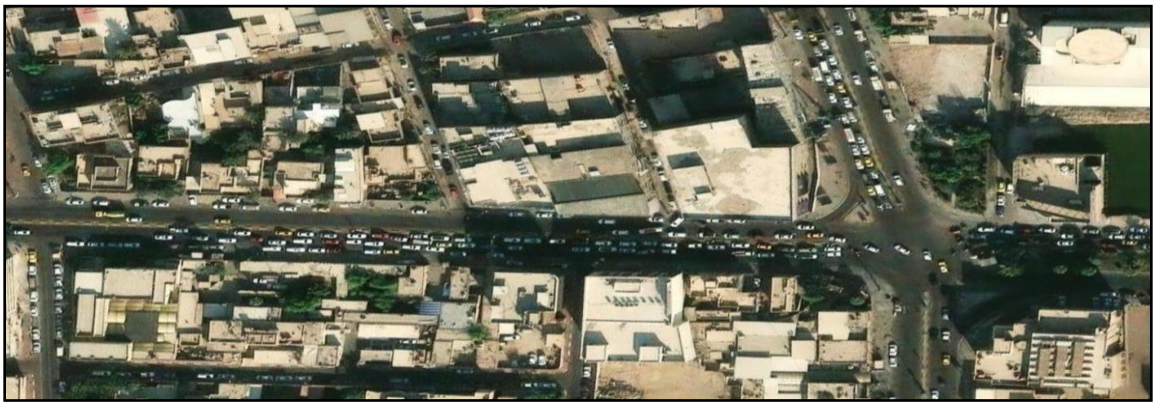
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (3).

خريطة (3) كثافة التقاطعات المرورية في مدينة البصرة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على شبكة الطرق وأداة (Line Density)، ومخرجات ArcGIS.

صورة (1) للازدحام المروري في تقاطع غرفة تجارة البصرة



المصدر: بالاعتماد على Esri.

صورة (2) تقاطع الجزائر

المصدر: بالاعتماد على Esri.

صورة (3) للازدحام المروري في تقاطع مستشفى الجمهوري

المصدر: بالاعتماد على Esri.

4-تحليل كثافة حركة المرور:

يتبين من خلال جدول (3) وخريطة (4) الذي يوضح كثافة حركة المرور في مدينة البصرة أن التوزيع المكاني لحركة المركبات يتباين بين مستويات مختلفة من الكثافة، إذ تشكل المناطق ذات الكثافة المنخفضة جداً النسبة الأعلى من المساحة وبمقدار (30.86%)، تليها المناطق ذات الكثافة المنخفضة بنسبة (19.93%)، في حين بلغت نسبة المناطق ذات الكثافة المتوسطة (13.52%). أما المناطق ذات الكثافة العالية فقد سجلت (15.99%)، بينما بلغت نسبة المناطق ذات الكثافة العالية جداً (19.69%). ويشير ذلك إلى أن ما يقارب ثلث مساحة المدينة يقع ضمن مستويات مرتفعة من الحركة المرورية، في حين تتركز بقية المساحة ضمن مستويات منخفضة إلى متوسطة من الحركة.

ويعد هذا التباين في كثافة حركة المرور من العوامل الأساسية التي تسهم في تباين مستويات تلوث الهواء داخل المدينة، إذ ترتبط المناطق ذات الكثافة المرورية العالية والعالية جداً بارتفاع معدلات انبعاث الملوثات الناتجة عن المركبات، مثل أكاسيد النيتروجين (NO^2)، وأول أكسيد الكربون (CO)، إضافة إلى الجسيمات العالقة الدقيقة. وتزداد هذه الانبعاثات في المناطق التي تشهد ازدحاماً مرورياً مستمراً أو تباطؤاً في حركة المركبات، حيث يؤدي التوقف المتكرر والتسارع المتتابع إلى زيادة استهلاك الوقود ومن ثم زيادة كمية الملوثات المنبعثة في الغلاف الجوي.

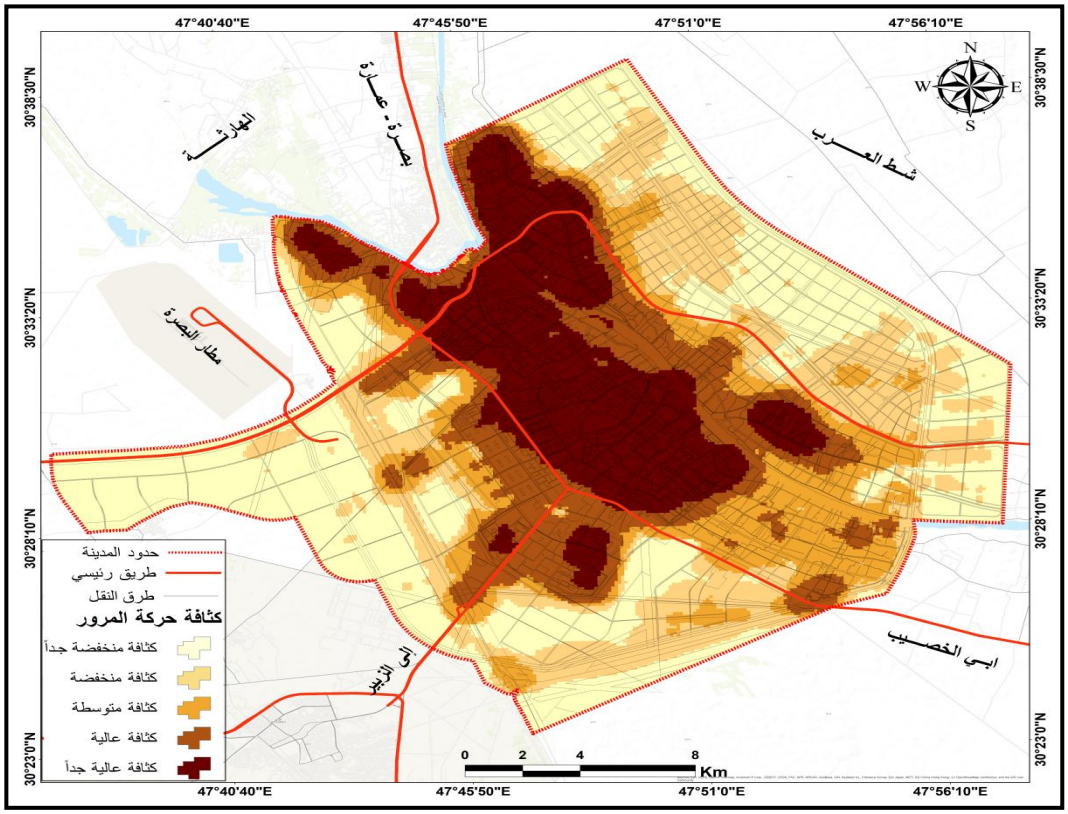
كما يؤدي تركز الحركة المرورية في بعض المحاور الرئيسة إلى تكوين بؤر تلوث محلية، حيث ترتفع تراكيز الملوثات في الهواء المحيط بالطرق الرئيسة والتقاطعات المهمة، ما يسبب تفاوتاً مكانياً واضحاً في جودة الهواء داخل المدينة(الحمداني، 2003). وفي المقابل، تسجل المناطق ذات الكثافة المرورية المنخفضة والمنخفضة جداً مستويات أقل من التلوث نتيجة قلة عدد المركبات وارتفاع انسيابية الحركة، مما يسمح بتشتت الملوثات وانتشارها بدلاً من تراكمها في موقع واحد. وعليه، فإن التباين المكاني في كثافة حركة المرور يؤدي إلى تباين واضح في مستويات تلوث الهواء في مدينة البصرة، حيث تمثل المناطق ذات الحركة المرورية المرتفعة مناطق محتملة لارتفاع تراكيز الملوثات الهوائية، في حين تكون المناطق ذات الحركة المنخفضة أقل تعرضاً لهذه الملوثات، الأمر الذي يبرز أهمية إدارة حركة المرور وتوزيعها مكانياً للحد من التأثيرات البيئية والصحية الناتجة عن النقل الحضري.

جدول(3) كثافة حركة المرور في مدينة البصرة

ت	الكثافة	المساحة	%
1	كثافة منخفضة جداً	197.53	30.86
2	كثافة منخفضة	127.55	19.93
3	كثافة متوسطة	86.56	13.52
4	كثافة عالية	102.36	15.99
5	كثافة عالية جداً	126.00	19.69

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (4).

خريطة (4) كثافة حركة المرور في مدينة البصرة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على أداة (Line Density)، ومخرجات ArcGIS.

4-تحليل تلوث الهواء:

يعد تلوث الهواء من القضايا البيئية المهمة التي لها تأثير مباشر في صحة الإنسان والبيئة الحضرية، ولاسيما في المدن الكبيرة التي تشهد نمواً سكانياً متسارعاً وزيادة ملحوظة في أعداد المركبات. وتعد مدينة البصرة من المدن التي تواجه تحديات متزايدة في هذا المجال نتيجة التوسع العمراني وارتفاع كثافة حركة النقل داخل المدينة. وقد اعتمدت الدراسة على بيانات القمر الصناعي (Sentinel-5P) لرصد تباين تلوث الهواء في مدينة البصرة وتحليل توزيعه المكاني.

وتركزت الدراسة على مجموعة من الملوثات المرتبطة بقطاع النقل، ومن أبرزها غاز ثاني أكسيد النتروجين (NO_2)، وأول أكسيد الكربون (CO)، و (HCHO) إضافة إلى الهباء الجوي (Aerosols) الذي يمثل الجسيمات العالقة في الغلاف الجوي. وتم تحليل هذه الملوثات خلال فترات مختلفة شملت أيام العطل الرسمية والأيام الاعتيادية، بهدف الكشف عن أثر حركة المرور في زيادة أو انخفاض مستويات التلوث الهوائي داخل المدينة. ويساعد هذا الأسلوب المقارن على تحديد مدى مساهمة النشاط المروري في تشكيل التباين المكاني والزماني لتلوث الهواء، ولاسيما في المناطق التي تشهد كثافة عالية في حركة المركبات.

يتبين من خلال الجدول (4) التباين المكاني لتركيز ثلاثة من ملوثات الهواء المهمة وهي Nitrogen Dioxide وAerosol Index وFormaldehyde خلال فترتين زمنيتين مختلفتين هما يوم الإجازة ويوم الدوام، إذ يعكس هذا التباين أثر الأنشطة البشرية وخاصة حركة النقل والأنشطة الصناعية والاحتراقات المختلفة في تغير مستويات الملوثات الجوية. كما يظهر الجدول اختلافاً واضحاً في توزيع فئات التركز بين الفترتين، وهو ما يدل على التأثير المباشر للنشاط الحضري في زيادة أو انخفاض تراكيز هذه العناصر في الهواء.

1- **غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2):** فقد أظهرت النتائج خلال يوم الإجازة سيطرة الفئات منخفضة التركز بشكل واضح، إذ سجلت فئة التركز المنخفض جداً أكبر مساحة بلغت (263.41 كم²) وبنسبة (55.61%) من مساحة منطقة الدراسة، ويعكس ذلك انخفاض مصادر الانبعاث خلال أيام العطل نتيجة تراجع حركة المركبات وانخفاض النشاط الصناعي. أما فئة التركز المنخفض فقد بلغت مساحتها (100.26 كم²) بنسبة (21.17%)، وهي مناطق قد تتأثر

بوجود طرق رئيسية أو أنشطة محدودة تستمر حتى في أيام الإجازة. في حين سجلت فئة التركز المتوسط مساحة بلغت (49.11 كم²) بنسبة (10.37%)، وهي غالباً مناطق انتقالية بين المناطق الحضرية ومناطق النشاط المروري. أما فئة التركز العالي فقد بلغت مساحتها (60.88 كم²) بنسبة (12.85%)، ويعزى ظهور هذه الفئة إلى وجود بعض الطرق الرئيسة أو المصادر الثابتة للانبعاث مثل المنشآت الصناعية. في المقابل لم تسجل فئة التركز العالي جداً أي مساحة خلال هذه الفترة (0.00 كم²) وبنسبة (0.00%)، مما يدل على أن مستويات التلوث بقيت ضمن الحدود المنخفضة نسبياً في يوم الإجازة، كما في خريطة (5).

أما خلال فترة الدوام فقد تغير النمط المكاني لتركيز الغاز بشكل ملحوظ، إذ ارتفعت الفئات ذات التركز المرتفع نتيجة زيادة النشاط البشري. فقد سجلت فئة التركز العالي مساحة كبيرة بلغت (162.48 كم²) بنسبة (34.32%)، كما ظهرت فئة التركز العالي جداً بمساحة بلغت (148.90 كم²) بنسبة (31.45%)، وهو ما يشير إلى ارتفاع واضح في انبعاثات هذا الغاز المرتبطة أساساً بحركة المرور الكثيفة واحتراق الوقود في المركبات والمنشآت الصناعية(محمد، ويحيى، ونعمان، 2022). في المقابل انخفضت مساحة الفئات منخفضة التركز، إذ بلغت مساحة التركز المنخفض جداً (56.23 كم²) بنسبة (11.88%)، بينما سجلت فئة التركز المنخفض مساحة (48.01 كم²) بنسبة (10.14%)، أما فئة التركز المتوسط فقد بلغت (57.83 كم²) بنسبة (12.21%). ويعكس هذا التحول انتقال معظم مساحة المنطقة من الفئات المنخفضة إلى الفئات المرتفعة نتيجة زيادة مصادر الانبعاث خلال أيام العمل.

2- **مؤشر الهباء الجوي(Aerosol Index :AI):** فقد أظهرت النتائج خلال يوم الإجازة سيطرة واضحة لفئة التركز المنخفض جداً التي بلغت مساحتها (394.78 كم²) بنسبة (83.53%)، وهو ما يشير إلى انخفاض كمية الجسيمات العالقة في الجو نتيجة قلة الأنشطة البشرية المسببة للغبار والدخان(يحيى، 2025). في حين سجلت فئة التركز المنخفض مساحة بلغت (77.83 كم²) بنسبة (16.47%)، وهي مناطق قد تتأثر بالعوامل الطبيعية مثل الرياح وإعادة تعليق الأتربة من سطح الأرض. أما فئة التركز المتوسط فلم تسجل أي مساحة خلال هذه الفترة (0.00 كم²) وبنسبة (0.00%)، مما يدل على أن مستويات الجسيمات كانت منخفضة بشكل عام خلال يوم الإجازة.

وخلال يوم الدوام تغير توزيع الفئات بصورة واضحة، إذ أصبحت فئة التركز المتوسط هي الفئة السائدة حيث بلغت مساحتها (360.03 كم²) بنسبة (76.10%)، ويعود ذلك إلى زيادة الانبعاثات الناتجة عن حركة المركبات والأنشطة الصناعية واحتراق الوقود، وهي عوامل تسهم في زيادة الجسيمات الدقيقة العالقة في الهواء. كما بلغت مساحة فئة التركز المنخفض (60.61 كم²) بنسبة (12.81%)، بينما انخفضت مساحة فئة التركز المنخفض جداً إلى (52.47 كم²) بنسبة (11.09%). ويشير ذلك إلى تحول معظم مساحة المنطقة من الفئات المنخفضة إلى الفئة المتوسطة نتيجة تزايد النشاط الحضري خلال أيام العمل، كما في خريطة (6).

3- **غاز الفورمالديهايد(HCHO):** فقد بينت النتائج خلال يوم الإجازة سيطرة واضحة لفئة التركز المنخفض جداً التي بلغت مساحتها (412.54 كم²) بنسبة (87.24%)، وهو ما يعكس انخفاض مصادر المركبات العضوية المتطايرة الناتجة عن عمليات الاحتراق والأنشطة الصناعية. في حين سجلت فئة التركز المنخفض مساحة بلغت (60.31 كم²) بنسبة (12.76%)، أما فئة التركز المتوسط فلم تسجل أي مساحة خلال هذه الفترة (0.00 كم²) وبنسبة (0.00%)، مما يدل على أن مستويات هذا الغاز بقيت منخفضة في معظم أجزاء المنطقة.

أما خلال يوم الدوام فقد تغير النمط المكاني لتركيز هذا الغاز نتيجة زيادة الانبعاثات الناتجة عن النشاط الحضري، إذ أصبحت فئة التركز المنخفض هي الفئة السائدة بمساحة بلغت (393.50 كم²) بنسبة (83.19%). كما ظهرت فئة التركز المتوسط بمساحة بلغت (38.94 كم²) بنسبة (8.23%)، وهي مناطق غالباً ما ترتبط بالمراكز الحضرية والطرق الرئيسة التي تشهد كثافة مرورية مرتفعة. في المقابل انخفضت مساحة فئة التركز المنخفض جداً إلى (40.54 كم²) بنسبة (8.57%)، وهو ما يدل على ارتفاع نسبي في مستويات هذا الغاز مقارنة بفترة الإجازة نتيجة زيادة عمليات الاحتراق والتفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي المرتبطة بالأنشطة البشرية، كما في خريطة (7).

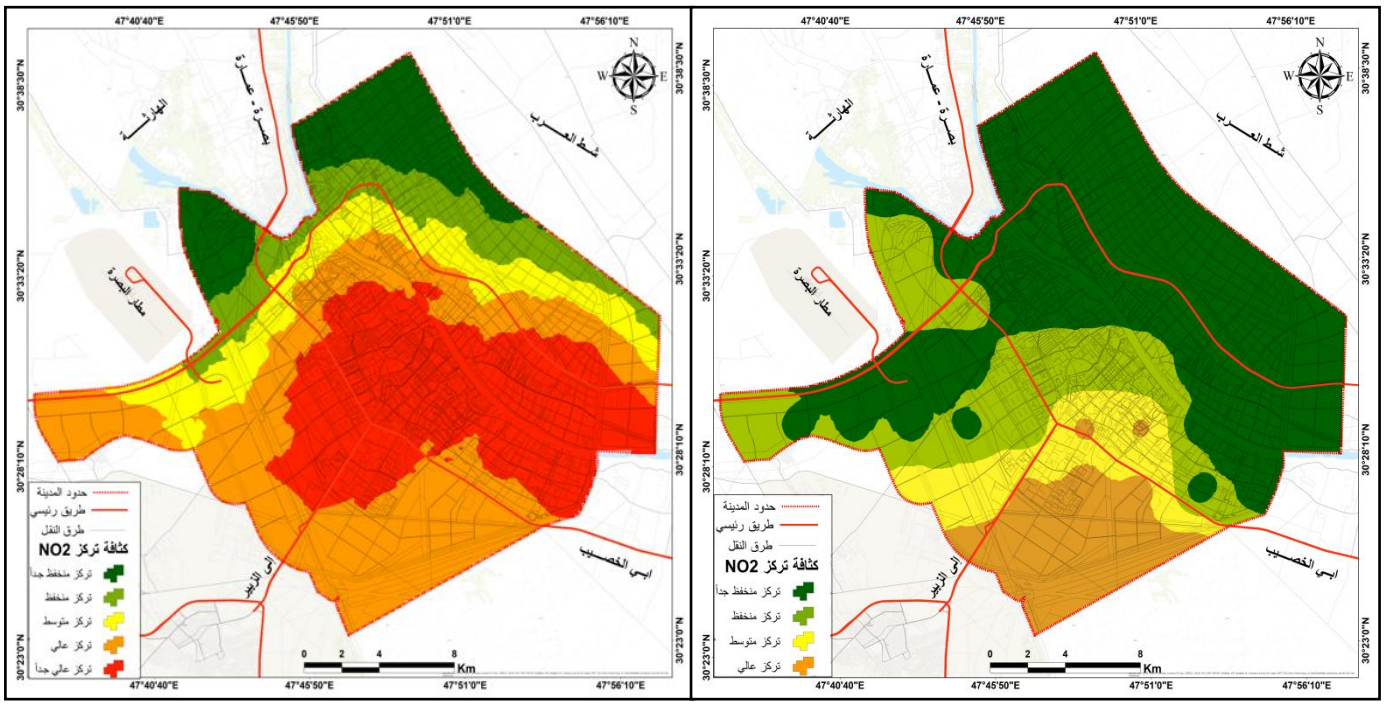
وبصورة عامة توضح النتائج أن فترة الدوام تشهد ارتفاعاً ملحوظاً في تراكيز الملوثات الثلاثة مقارنة بيوم الإجازة، ويرجع ذلك إلى زيادة حركة النقل وكثافة المرور والنشاط الصناعي والخدمي، وهي عوامل تسهم في زيادة انبعاث الغازات الملوثة والجسيمات العالقة في الغلاف الجوي(السعد ، سلمان، 2006)، في حين يؤدي انخفاض هذه الأنشطة خلال أيام العطل إلى تراجع مستويات التلوث وانتشار الفئات منخفضة التركز في معظم أجزاء منطقة الدراسة(كرابيديان، 2008).

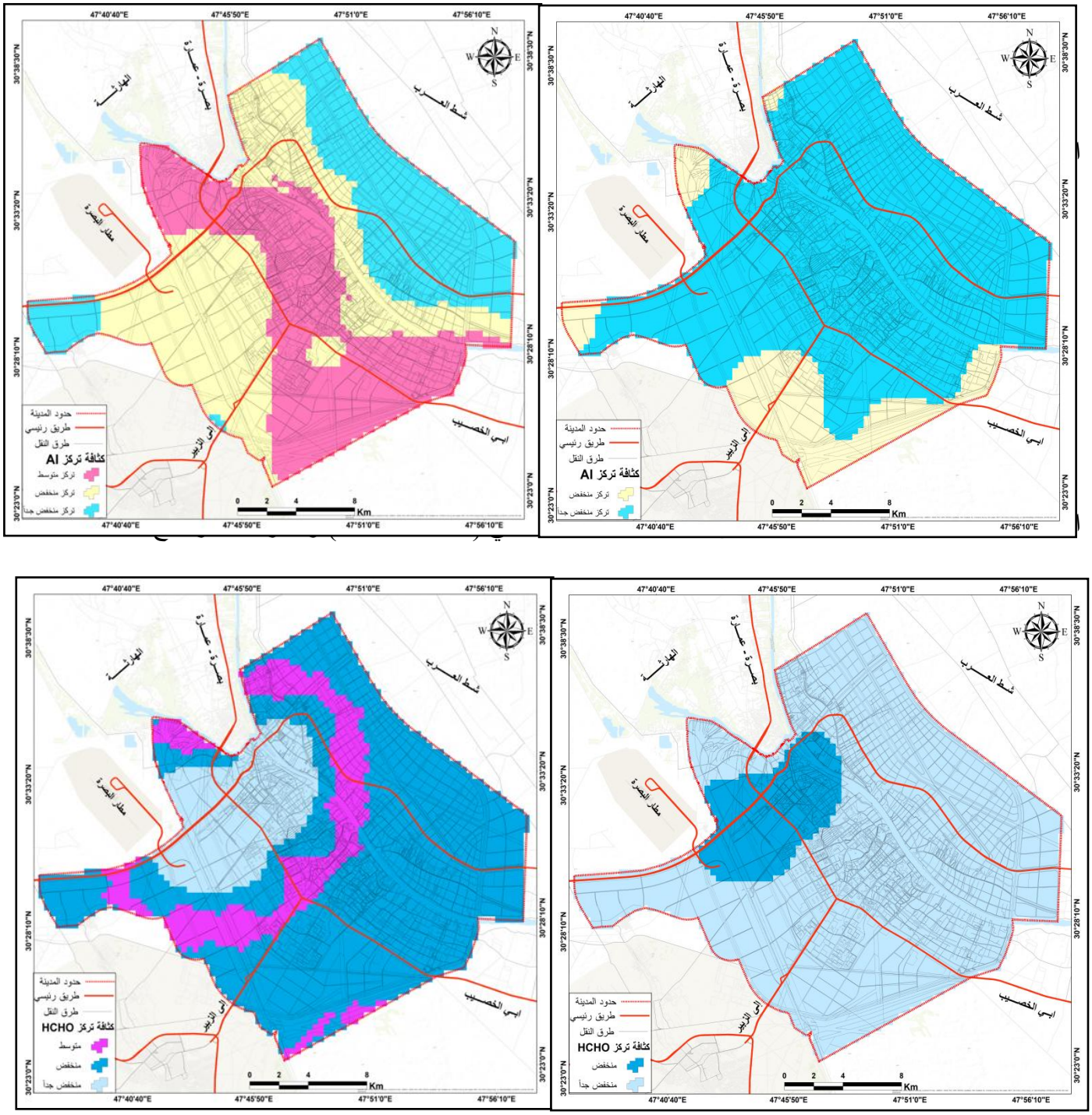
جدول (4) مساحة والنسبة المئوية لتراكيز عناصر الملوثات في هواء مدينة البصرة.

العنصر	الكثافة	التركيز متر مربع (mol/m^2)	مساحة التركز خلال يوم الاجازة	%	مساحة التركز خلال الدوام	%
NO2	تركز منخفض جداً	1.25×10^{-5}	263.41	55.61%	56.23	11.88%
	تركز منخفض	3.75×10^{-5}	100.26	21.17%	48.01	10.14%
	تركز متوسط	6.25×10^{-5}	49.11	10.37%	57.83	12.21%
	تركز عالي	8.75×10^{-5}	60.88	12.85%	162.48	34.32%
	تركز عالي جداً	1.0×10^{-4}	0.00	0.00%	148.90	31.45%
AI (Aerosol Index)	تركز متوسط	2.75	0.00	0.00%	360.04	76.10%
	تركز منخفض	1.25	77.83	16.47%	60.61	12.81%
	تركز منخفض جداً	-0.25	394.78	83.53%	52.48	11.09%
HCHO (Formaldehyde)	تركز متوسط	3.75×10^{-4} – 6.25×10^{-4}	0.00	0.00%	38.95	8.23%
	تركز منخفض	1.25×10^{-4} – 3.75×10^{-4}	60.31	12.76%	393.51	83.19%
	تركز منخفض جداً	0 – 1.25×10^{-4}	412.54	87.24%	40.55	8.57%

خريطة (5) تركز ثاني اكسيد النتروجين (NO2) في مدينة البصرة

يوم أجازه يوم دوام رسمي





4- العلاقة المكانية بين كثافة الطرق وتراكيز الملوثات الهوائية

يبين جدول (5) العلاقة بين كثافة الطرق وفئات تركّز الملوثات الهوائية الثلاثة في مدينة البصرة خلال يوم الدوام ويوم الإجازة، ويوضح كيف تؤثر كثافة الطرق والنشاط البشري على توزيع الملوثات بشكل واضح ومختلف حسب نوع كل ملوث.

بالنسبة لغاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، يظهر التحليل أن هناك ارتباطاً مباشراً بين كثافة الطرق وارتفاع تركيز الغاز خلال يوم الدوام. فقد سجلت المناطق التي تحتوي على طرق عالية جداً أعلى تراكيز في الفئات العالية والعالية جداً والمتوسطة بمساحات بلغت (40.63، 52.41، 29.70 كم²) على التوالي، وهو ما يعكس كثافة حركة المركبات واحتراق الوقود في هذه المناطق، حيث تمثل هذه الطرق مراكز النشاط المروري والشوارع الرئيسية

والمفترقات الحيوية. أما الطرق عالية الكثافة، فقد أظهرت تراكيز مرتفعة في الفئات العالية والمتوسطة والمنخفضة، بينما كانت المناطق ذات الطرق منخفضة أو منخفضة جداً محصورة غالباً في الفئات منخفضة التركّز ومنخفضة جداً، مثل (23.41، 111.00 كم²)، ويعكس ذلك انخفاض حركة المركبات والمصادر الملوثة. خلال يوم الإجازة، انخفضت المساحات في الفئات العليا بشكل واضح، بينما ازدادت المساحات في الفئات المنخفضة والمنخفضة جداً، مثل (111.00، 155.74 كم²)، نتيجة انخفاض حركة المركبات والنشاط الصناعي، ما أدى إلى انخفاض تركيز NO_2 بشكل ملحوظ.

أما بالنسبة لمؤشر الهباء الجوي (AI)، فإن العلاقة مع كثافة الطرق أقل مباشرة مقارنة بـ NO_2، إذ أن الجسيمات العالقة تتأثر ليس فقط بالانبعاثات المرورية بل بالعوامل الطبيعية مثل الرياح والغبار المعاد رفعه عن سطح الأرض. خلال يوم الدوام، لم تسجل الفئات العالية والعالية جداً أي مساحة، بينما تركزت معظم المساحات في الفئات المتوسطة والمنخفضة والمنخفضة جداً، مثل الطرق منخفضة جداً بمساحات (122.64، 29.29، 42.54 كم²) والطرق عالية جداً بمساحة (120.54 كم²) في الفئة المتوسطة. خلال يوم الإجازة، بقيت الفئات العالية والعالية جداً صفر، بينما سجلت الفئات منخفضة التركّز ومنخفضة جداً أعلى المساحات، مثل (155.74، 121.77 كم²)، وهو ما يعكس انخفاض الانبعاثات الناتجة عن النشاط البشري مع بقاء بعض الجسيمات نتيجة العوامل الطبيعية كالرياح وحركة الغبار.

أما بالنسبة لغاز الفورمالديهايد (HCHO)، يظهر نمط أقل ارتباطاً مباشرة بكثافة الطرق مقارنة بالملوثات السابقة. خلال يوم الدوام، لم تسجل الفئات العالية والعالية جداً أي مساحة، بينما كانت الفئات المنخفضة والمنخفضة جداً هي الأكثر انتشاراً، خصوصاً في الطرق منخفضة جداً ومتوسطة بمساحات (128.38، 128.38 كم²)، مما يعكس تراكيز معتدلة مرتبطة بالمناطق السكنية والطرق الثانوية، حيث توجد انبعاثات من المركبات المنزلية والصناعات الصغيرة. خلال يوم الإجازة، بقيت الفئات العالية والعالية جداً صفر، بينما سجلت الفئات المنخفضة والمنخفضة جداً أكبر المساحات، مثل (132.13، 85.91، 68.00 كم²)، نتيجة انخفاض حركة المركبات والانبعاثات الصناعية، ما أدى إلى انخفاض مستويات الفورمالديهايد بشكل عام.

وبشكل عام، يظهر التحليل أن NO_2 يرتبط ارتباطاً قوياً بكثافة الطرق وحركة المرور ويزداد تركيزه خلال أيام الدوام وينخفض في الإجازة، بينما الهباء الجوي يتأثر جزئياً بكثافة الطرق ولكنه يعتمد بشكل كبير على العوامل الطبيعية، أما الفورمالديهايد فيظهر نمطاً معتدلاً في الارتباط بكثافة الطرق ويتركز في الفئات المنخفضة والمتوسطة، مع انخفاض واضح خلال الإجازة. وتوضح هذه النتائج الدور الحاسم للنشاط البشري في زيادة تراكيز الملوثات خلال أيام العمل مقارنة بأيام العطلة.

جدول (5) التحليل المكاني لمساحة وفئات كثافة الطرق وعلاقتها بتوزيع تراكيز الملوثات الهوائية في مدينة البصرة

	يوم دوام					يوم اجازة (عطلة)			
كثافة تركيز NO2 / كثافة الطرق	عالية	عالية جداً	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً	عالية جداً	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً
منخفضة جداً	7.84	7.52	4.24	12.82	23.41	33.79	12.90	39.08	111.00
منخفضة	5.32	9.40	4.46	10.05	18.56	26.32	7.91	10.19	82.88
متوسطة	4.51	11.62	2.93	14.08	24.55	8.91	10.34	18.42	48.78
عالية	17.33	12.30	22.75	41.26	68.46	8.20	18.59	30.31	45.17
عالية جداً	40.63	52.41	29.70	16.09	9.98	4.72	16.45	37.20	67.63
كثافة تركيز الهباء الجوي / كثافة الطرق	عالية	عالية جداً	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً	عالية جداً	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً
منخفضة جداً	0	0	122.64	29.29	42.54	0	0	38.46	155.74
منخفضة	0	0	70.45	30.89	25.80	0	0	27.34	99.83
متوسطة	0	0	74.05	9.99	2.28	0	0	16.77	69.62
عالية	0	0	96.37	5.68	0	0	0	17.16	84.58
عالية جداً	0	0	120.54	5.46	0	0	0	4.22	121.77
كثافة تركيز الفورمالديهايد	عالية	عالية جداً	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً	عالية جداً	متوسطة	منخفضة	منخفضة جداً

كثافة الطرق									
منخفضة جداً	0	0	7.80	128.38	7.65	0	0	11.97	132.13
منخفضة	0	0	2.88	84.38	7.00	0	0	8.34	85.91
متوسطة	0	0	3.37	56.37	4.23	0	0	5.83	58.17
عالية	0	0	6.89	62.80	5.96	0	0	8.85	66.63
عالية جداً	0	0	17.83	59.87	15.57	0	0	25.26	68.00

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (4 - 7)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

الاستنتاجات :

1- يوضح التحليل كثافة لطرق أن أغلب شبكة الطرق في البصرة تتركز في المناطق ذات الكثافة العالية والعالية جداً (نحو 68%)، مما يزيد من التدفق المروري والانبعاثات، ويرفع مستويات تلوث الهواء، بينما توفر المناطق منخفضة الكثافة هواء أنقى، ما يجعل إدارة المرور في المناطق المكتظة أولوية لتحسين جودة الهواء.

2- يوضح التحليل كثافة التقاطعات المرورية في المدينة أن معظم مساحة مدينة البصرة تقع في مناطق منخفضة جداً ومنخفضة كثافة التقاطعات (نحو 70%)، مما يتيح انسيابية مرورية نسبية ويحد من تراكم الانبعاثات، بينما تشكل المناطق ذات الكثافة العالية والعالية جداً نقاطاً حرجة لتلوث الهواء نتيجة التوقف المتكرر وبطء الحركة المرورية.

3- اظهرت الدراسة أن التباين المكاني لحركة المرور في مدينة البصرة يؤدي إلى تفاوت واضح في مستويات تلوث الهواء، حيث تمثل المناطق ذات الكثافة العالية والعالية جداً نحو ثلث مساحة المدينة وتتعرض لانبعاثات مرتفعة من أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والجسيمات العالقة نتيجة التوقف المتكرر والتباطؤ في الحركة، بينما تسجل المناطق منخفضة الكثافة ومستوى منخفض جداً معدلات أقل من التلوث بفضل انسيابية الحركة وانتشار الملوثات، ما يؤكد أهمية إدارة توزيع الحركة المرورية للحد من التأثيرات البيئية والصحية.

4- وأظهرت الدراسة ان مؤشرات تلوث الهواء في المدينة تتأثر بشكل مباشر بالنشاط البشري وكثافة حركة المرور، حيث يظهر يوم الدوام زيادة واضحة في تركيز غازات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، والهباء الجوي (AI)، والفورمالديهايد (HCHO) مقارنة بيوم الإجازة. خلال الإجازة، تسيطر الفئات منخفضة ومنخفضة جداً على معظم مساحة المدينة نتيجة انخفاض حركة المركبات والنشاط الصناعي، بينما تتحول معظم المساحات إلى فئات عالية أو متوسطة التركّز خلال الدوام نتيجة تزايد الانبعاثات من المركبات والأنشطة الصناعية والخدمية. هذا التباين المكاني الزمني يبرز أهمية إدارة المرور والنشاط الصناعي في المناطق المكتظة لتقليل الانبعاثات وتحسين جودة الهواء وصحة السكان.

5- يظهر التحليل أن تراكيز الملوثات الهوائية في البصرة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالنشاط البشري وكثافة الطرق، حيث يزداد NO_2 بشكل واضح في المناطق عالية الكثافة خلال الدوام، بينما الهباء الجوي يتأثر جزئياً بالعوامل الطبيعية، والفورمالديهايد يتركز في الفئات المنخفضة والمتوسطة، ويقل جميعها خلال الإجازة نتيجة انخفاض حركة المركبات والنشاط الصناعي، مما يؤكد أهمية إدارة المرور والنشاط الحضري للحد من تلوث الهواء.

التوصيات:

1- تقليل الازدحام في المناطق عالية الكثافة عن طريق تحسين الإشارات الضوئية، إنشاء مسارات بديلة، وتنظيم أوقات الذروة لتقليل الانبعاثات.

2- تشجيع استخدام الحافلات الكهربائية ووسائل النقل الجماعي لتقليل الاعتماد على المركبات الخاصة، خاصة في المناطق ذات الحركة المرورية المرتفعة.

3- فرض رقابة صارمة على المصانع والمنشآت الواقعة قرب الطرق الرئيسة لتقليل انبعاث الغازات الضارة والجسيمات الدقيقة.

4- إنشاء أسوار خضراء أو مساحات نباتية على طول الطرق الرئيسية لتقليل تراكم الغازات والجسيمات العالقة.

5- نشر حملات توعية حول تأثير حركة المركبات والانبعاثات على جودة الهواء وصحة السكان، وتشجيع السلوكيات المستدامة مثل مشاركة المركبات أو استخدام الدراجات.

6- تصميم شبكات طرق جديدة بطريقة تقلل من التركز المروري وتوزع الحركة بشكل متوازن لتقليل البؤر الحرجة لتلوث الهواء.

المصادر:

الحسن، شكري إبراهيم الحسن، الناصر، خديجة، عبد الزهرة، النمذجة المكانية لمستويات التلوث بالضوضاء المرورية في مدينة البصرة، مجلة دراسات البصرة، العدد 31، 2019.

العيداني، عباس عبد الحسن كاظم، والمولى، طارق جمعة علي، التغيرات المستقبلية المقترحة لاستعمالات الأرض الحضرية وفق منظور الاستراتيجية توير مدينة البصرة وتحديث التصميم الأساسي لها، مجلة أبحاث البصرة للعلوم الانسانية، العدد 5 ، المجلد 42، 2017.

كرابيديان، سيتا ارام كيورك ، دراسة الملوثات الرئيسية الناتجة من حركة وسائل النقل في مدينة البصرة، وقائع المؤتمر العلمي لعلوم البحار ، 2008.

الحمداني، ثائر صينخ ثامر ، دراسة تطوير الواقع المروري لمحافظة البصرة، مؤتمر البصرة الأول للتطوير والبناء والأعمار، 2003.

السعد، حامد طالب وسلمان ، نادر عبد، التلوث الهاء، مطبعة الأجيال ، عشار البصرة، العراق، 2006.

محمد، احمد جاسم، و يحيى، عبد الرحمن عبد الكريم، نعمان ، مروج طاهر، "تأثير جائحة COVID -19 على تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) في محافظة البصرة باستخدام بيانات القمر الاصطناعي Sentinel-5P ، وقائع بحوث المؤتمر العلمي الدولي لكلية التربية للبنات بالتعاون مع مؤسسة الذكوات للثقافة والفكر الفنون، 2022.

يحيى، عبد الرحمن عبد الكريم، توظيف الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية لمراقبة غازات الاحتباس الحراري في العراق باستخدام مستشعر TROPOMI-5P لعام 2024، مجلة كلية التربية، جامع واسط ، المجلد 59، العدد 1، 2025.