دور الذكاء الاصطناعي في قياس جودة الهواء وتأثيره على تخطيط استخدامات الأراضي (بالتطبيق على المنطقة الحضرية بشرق القاهرة)

The role of artificial intelligence in measuring air quality and its impact on land use planning (applied to the urban area in East Cairo)

وسام مصطفى إمام محمد[1]*
مدرس بقسم التخطيط البيئي والبنية الأساسية، كلية التخطيط الإقليمي والعمراني، جامعة القاهرة
wesam_moustafa@cu.edu.eg

أحمد محمد السيد مرزوق[2]
مدرس بقسم التنمية العمرانية الإقليمية، كلية التخطيط الإقليمي والعمراني، جامعة القاهرة
ahmedmarzouk81@cu.edu.eg

ملخص البحث

يعتبر الذكاء الاصطناعي تقنية قوية يمكن أن تساعد بشكل كبير وفعال في تفعيل المراقبة البيئية التي يتجه العالم حالياً إلى إدماجها بكافة المجالات التنموية لما لها من أهمية حيث أنها توجه إلى التخطيط السليم وإدارة الكوارث، والسيطرة على التلوث ومعالجة التحديات البيئية فهي تتعامل مع الأنظمة البيئية المختلفة مثل تلوث المياه، وتلوث الهواء، والإشعاعات الخطيرة، والتغيرات الجوية، ويساهم الذكاء الاصطناعي في توفير تحليل دقيق وفي الوقت المناسب للبيانات المختلفة التي يمكن من خلالها التنبؤ والتخفيف من الآثار السلبية على البيئة، ومن هذا المنطلق يهتم البحث بالتعرف على مفهوم المراقبة البيئية وأنواعها وأهميتها في تحقيق التنمية المستدامة واتجاهات وتطبيقات الذكاء الاصطناعي وتحديد أهميته في تحقيق المراقبة البيئية في مجال تلوث الهواء وتطبيقه على المنطقة الحضرية بشرق القاهرة حتى يمكن الاستفادة منه في تحقيق المراقبة البيئية وتوجيه متخذي القرار بالتوصيات التخطيطية الملائمة التي تساعد في التخفيف من الآثار السلبية الحالية والتخطيط المستقبلي الملائم مما يساهم ذلك في الحفاظ على البيئة وتحقيق التنمية العمرانية المستدامة.

Abstract

Artificial intelligence is considered a powerful technology that can help significantly and effectively in activating environmental monitoring, which the world is currently moving to integrate into all development fields because of its importance as it directs to proper planning and disaster management, controlling pollution and addressing environmental challenges. It deals with various environmental systems such as Water pollution, air pollution, dangerous radiation, and weather changes. Artificial intelligence contributes to providing accurate and timely analysis of various data through which negative impacts on the environment can be predicted and mitigated. Research focuses on understanding the concept of environmental monitoring, its types, and its significance in achieving sustainable development. Exploring AI trends and applications in air pollution monitoring, particularly in urban areas like East Cairo, allows decision makers informed decision. By implementing appropriate planning recommendations, we can mitigate current adverse effects and plan for

a sustainable urban environment. This approach contributes to environmental preservation and fosters sustainable urban development for future generations.

الكلمات الدالة: المراقبة البيئية– الذكاء الاصطناعي – تلوث الهواء – الاستشعار عن بعد

Keywords: Environmental monitoring – Artificial intelligence – Air pollution – Remote sensing.

1) المقدمة

على الرغم من النمو الاقتصادي في المدن والجهود الكبيرة لإدخال المبادرات الخضراء وبيئة حضرية مريحة، إلا أنه تواجه النظم البيئية الحضرية مشاكل مختلفة، بما في ذلك الهواء، والمياه، تلوث التربة؛ زيادة التهديدات على صحة الإنسان بسبب الكثافة السكانية العالية مما يؤدي إلى مشاكل صحية [1].

يمكن للذكاء الاصطناعي (AI) في سياق التنمية العمرانية أن يوفر العديد من الحلول في مجالات مختلفة، بدءًا من تحسين إدارة النظم العمرانية ودعم اتخاذ القرار، إلى إطلاق خدمات جديدة أو محسنة للمواطنين وخلق فرص اقتصادية جديدة.

فتساهم المراقبة البيئية في إعداد السياسات واتخاذ القرارات التخطيطية حيث أنها تعتمد على الرصد من خلال توفير البيانات الأساسية عن الضغوط البيئية، حيث يعد الرصد أداة مساعدة لواضعي السياسات والحكومات وأصحاب المصلحة لاتخاذ القرارات الملائمة وتتبع التقدم نحو أهداف التنمية المستدامة [2]، ومع التوجهات العالمية ولقومية في الحفاظ على البيئة اتجهت الدول إلى تفعيل دور المراقبة البيئية في مختلف المجالات فعلى سبيل المثال يدعم مبادرة REMdb الجهود البحثية والمراقبة في مجال النشاط الإشعاعي البيئي في أوروبا، ويوفر للمجتمع العلمي والسلطات والجمهور العام أرشيفًا قيمًا لموضوعات النشاط الإشعاعي.

تلعب قياسات الجسيمات (PM) دورًا حاسمًا في تخطيط استعمالات الأراضي، والتأثير على القرارات المتعلقة بالتنمية العمرانية، والبنية التحتية، والجودة البيئية. حيث أن تركيز الأنشطة البشرية يتسبب في ارتفاع تركيزات الجسيمات الدقيقة، مما يزيد من خطر التعرض للجسيمات الدقيقة. لذلك، من المتوقع أن تنخفض مستويات الجسيمات الدقيقة إذا تم تقليل كثافة استعمالات الأراضي [4].

ومع التقدم التكنولوجي الحالي والاتجاهات الحديثة للاتجاه إلى تكنولوجيا المعلومات والاستشعار عن بعد والذكاء الاصطناعي في العالم وفي مصر لما له من ميزة في التعامل مع تحليل قدر كبير من البيانات أصبح هناك اهتمام بالاستفادة من تلك التكنولوجيا في المراقبة البيئية.

حيث تتيح بيانات مراقبة الأقمار الصناعية أيضا التنبؤ من منظور مكاني بانتشار تلوث الهواء في المناطق التي لا يتم فيها تركيب أجهزة استشعار [6]، ومن هذا المنطلق يهتم البحث بكيفية تفعيل الذكاء الاصطناعي في مراقبة جودة الهواء ومن ثم توجيه خطط التنمية العمرانية بها.

2) أهداف البحث والمنهجية المتبعة

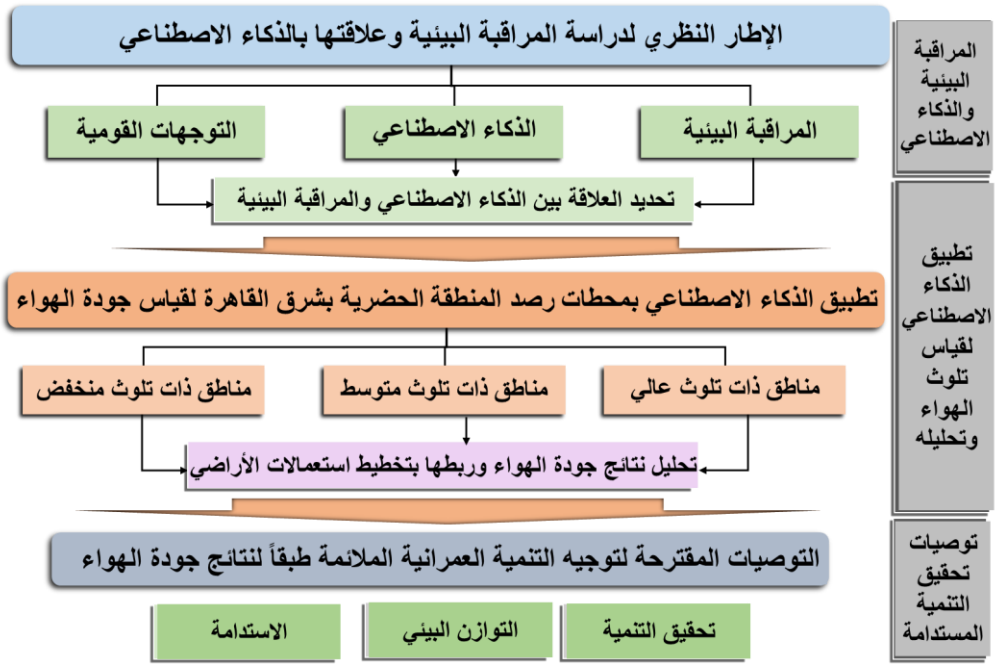
أهداف البحث:

- التعرف على مفهوم المراقبة البيئية وأنواعها.
- تحديد أهمية ودور المراقبة البيئية في تحقيق التنمية المستدامة في مصر

- تطبيق الذكاء الاصطناعي في تحديد التلوث الهوائي بالمنطقة الحضرية بشرق القاهرة بمحطات رصد القاهرة الجديدة، بدر، السلام، مدينة نصر، مصر الجديدة، مطار القاهرة صالة 3.
- اقتراح آليات تفعيل الذكاء الاصطناعي في مراقبة جودة الهواء في مصر وتوجيه خطط التنمية العمرانية بها.

منهجية البحث

يتم أولاً في البحث التعرف على مفهوم المراقبة البيئية وأنواعها وتحديد دور الذكاء الاصطناعي بها مع التعرف على التوجهات القومية لتحقيق المراقة البيئية في مصر والجهود الحالية للاستفادة من الذكاء الاصطناعي في تحقيق التنمية المستدامة، ومن ثم تم تطبيق الذكاء الاصطناعي في تلوث الهواء طبقاً لمحطات رصد جودة الهواء بالمنطقة الحضرية بشرق القاهرة لتحديد تصنيف المناطق من حيث التلوث (مناطق ذات تلوث عالي - مناطق ذات تلوث متوسط مناطق ذات تلوث منخفض) وبالتالي استنتاج مجموعة التوصيات المقترحة لتوجيه التنمية العمرانية الملائمة طبقاً لنتائج جودة الهواء كما يوضح الشكل رقم (1).



شكل (1) منهجية البحث

المصدر: الباحثين

3) الإطار النظري للمراقبة البيئية والذكاء الاصطناعي

3-1 مفهوم المراقبة البيئية وأنواعها

المراقبة البيئية هي عملية يتم بها جمع البيانات وتحليلها بشكل منهجي لتقييم حالة البيئة ومكوناتها المختلفة بفترة زمنية محددة، ويشمل ذلك الرصد البيئي متغيرات المناخ، جودة الهواء، جودة المياه، صحة التربة، التنوع البيولوجي، وتساعد تلك البيانات التي يتم جمعها من خلال المراقبة البيئية متخذي القرار وصانعي السياسات على فهم وتحديد الاتجاهات والقضايا البيئية وبالتالي وضع استراتيجيات ملائمة وفعالة لتحقيق الإدارة المستدامة للموارد والحد من المخاطر البيئية والحفاظ على التنوع البيولوجي[7] [8].

2-3 أنواع المراقبة البيئية

مراقبة جودة الهواء والتي تعتبر مقياس لمدى تلوث الهواء حيث تعد مراقبة جودة الهواء من الأمور بالغة الأهمية لأن الهواء الملوث يتسبب في ضرر صحة الأفراد وصحة البيئة[9] ، وإن تحسين جودة الهواء سيؤدي إلى فوائد صحية وتنموية وبيئية[5]

المراقبة البيئية للتنوع الحيوي وهي عملية ديناميكية لرصد وتقييم النظم الإيكولوجية والتنوع الحيوي وتحليلها بهدف رصد التغيرات بتلك النظم البيئية لفترة زمنية [10] [11]

مراقبة جودة المياه وتلوث البحيرات حيث تشير مراقبة جودة المياه بشكل أساسي إلى الحصول على معلومات درجة الحرارة ودرجة الحموضة والأكسجين المذاب والعكارة والطحالب ونيتروجين الأمونيا والمواد العضوية وغيرها من معلومات جودة المياه من خلال أجهزة استشعار جودة المياه وتقوم مراقبة جودة المياه بالتنقيب عن الأنماط غير الطبيعية من أجل اكتشاف وتحديد مصادر المخاطر وتحليل الأسباب غير الطبيعية [12] [13].

مراقبة ورصد جودة التربة حيث يعد رصد جودة التربة بالغ الأهمية لتقييم صحة النظم البيئية والإنتاجية الزراعية وتحديد المخاطر المحتملة على صحة الإنسان من تلوث التربة من خلال مراقبة خصوبة التربة ومستويات المغذيات لتحسين إنتاجية المحاصيل، والتوجيه بتقليل الآثار البيئية الناجمة عن الممارسات الزراعية.

وتقييم تلوث التربة الناتج عن التخلص من المخلفات الأنشطة الصناعية وعمليات التعدين، مما يساهم في توجيه قرارات تخطيط وإدارة الأراضي وتحديد استراتيجيات الحفاظ على التربة، والتعامل مع المناطق المتدهورة أو الملوثة[14] [15].

3-3 أهمية المراقبة البيئية في تحقيق التنمية المستدامة

يعتمد النمو العمراني المستدام على عدة عوامل مثل الزراعة والاقتصاد والصناعة ويعتبر البعد البيئي أحد العوامل الأساسية التي تلعب الدور الأكثر أهمية، حيث تعد الصحة والأمان البيئي عنصرين أساسيين لاستدامة المجتمعات وتقدم أي بلد، والتي بدورها تأتي من بيئة نظيفة وخالية من التلوث والكوارث البيئية، وبالتالي تصبح مراقبتها ضرورية جدا للتأكد من أن السكان يمكنهم أن يعيشوا حياة صحية، حيث توجه المراقبة البيئة (EM) إلى التخطيط السليم وإدارة الكوارث، والسيطرة على التلوث ومعالجة التحديات البيئية حيث أنها تتعامل مع الأنظمة البيئية المختلفة مثل تلوث المياه، وتلوث الهواء، والإشعاعات الخطيرة، والتغيرات الجوية، بهدف حماية البيئة والحفاظ عليها وبالتالي الحفاظ على المجتمع [16]، كما أنه عندما يتم الضغط على الموارد البيئية ويزداد العبء البيئي عن الحد الذي يمكن أن يتحمله النظام البيئي فإنه يضعف تدريجياً وينضب. ولذلك فإن مراقبة البيئة الطبيعية ذات أهمية في حماية الموارد البيئية وإدارتها من خلال رصد التغيرات بها والتعرف على المشكلات التي يمكن أن تحدث بها [17].

4-3 أهمية استخدام الذكاء الاصطناعي في المراقبة البيئية للتنمية العمرانية

يلعب الذكاء الاصطناعي (AI) دورًا مهمًا في المراقبة البيئية والتنمية العمرانية بعدة طرق تشمل:

أ- **تحليل البيانات:** يستطيع الذكاء الاصطناعي معالجة وتحليل كميات هائلة من البيانات المجمعة من أجهزة الاستشعار البيئية المختلفة. يمكن أن تشمل هذه البيانات مؤشرات جودة الهواء والماء ودرجة الحرارة والرطوبة. ومن خلال تحليل هذه البيانات، يمكن للذكاء الاصطناعي تقديم رؤى قيمة حول الظروف والاتجاهات البيئية.

ب- **التنبؤات البيئية:** يمكن للذكاء الاصطناعي استخدام البيانات التاريخية للتنبؤ بالظروف البيئية المستقبلية. وهذا يمكن أن يساعد في تخطيط مشاريع التنمية العمرانية المستدامة والصديقة للبيئة.

ج- **المدن الذكية:** يعد الذكاء الاصطناعي عنصراً رئيسيًا للمدن الذكية، حيث يتم استخدامه لتحسين استهلاك الموارد وتحسين جودة الخدمات. على سبيل المثال، يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين الطاقة المستخدمة في المباني، وإدارة تدفق حركة المرور للحد من الازدحام والانبعاثات، وتحسين إدارة النفايات.

د- **الاستشعار عن بعد:** يمكن استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات من صور الأقمار الصناعية وتقنيات الاستشعار عن بعد الأخرى. يمكن أن يساعد ذلك في مراقبة التغيرات البيئية بمرور الوقت، مثل إزالة الغابات والزحف العمراني والتغيرات في المسطحات المائية.

ه- **التخفيف من آثار تغير المناخ:** يمكن أن يساعد الذكاء الاصطناعي في تصميم حلول للتخفيف من آثار تغير المناخ. ويشمل ذلك تحسين إنتاج الطاقة المتجددة، وتصميم المباني الموفرة للطاقة، وتطوير تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه.

و- **التخطيط العمراني:** يمكن للذكاء الاصطناعي أن يساعد المخططين العمرانيين في تصميم مدن أكثر استدامة وصالحة للعيش. ويشمل ذلك تحسين طرق النقل العام، وتصميم المساحات الخضراء، وتخطيط التطويرات السكنية والتجارية.

5-3 علاقة التغيرات المناخية بالتلوث الهوائي

يعتبر تلوث الهواء وتغير المناخ وجهان لعملة واحدة، وعادةً ما يتم التعامل معهما بشكل منفصل ولكن يجب معالجتهما معًا والتركيز على حماية صحة الأفراد خاصة في البلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط، فغالبًا ما تأتي الملوثات الهوائية وغازات الاحتباس الحراري من نفس المصادر، كمحطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم والمركبات التي تعمل بالديزل وبعض الملوثات الهوائية لا تدوم طويلًا في البيئة كالكربون الأسود الذي يعتبر جزء من الجسيمات الدقيقة ؛ PM10و (PM2.5) والميثان، والأوزون التروبوسفيري وهذه الملوثات أقوى بكثير من ثاني أكسيد الكربون في تسخين المناخ، [18] ويعتبر غاز الميثان هو مقدمة لأوزون مستوى سطح الأرض، والذي يعتبر وفقًا لتحالف المناخ والهواء النظيف ومعهد ستوكهولم للبيئة أنه يتسبب في مقتل حوالي مليون شخص كل عام، ويعتبر أقوى بـ80 مرة في تسخين الأرض من ثاني أكسيد الكربون على مدى فترة 20 عامًا، وتعتبر عناصر ملوثات الهواء من العناصر الأساسية التي تساهم في ارتفاع درجة حرارة الجو، وبالتالي فإن التصدي لقضية تلوث الهواء الناتج عنها يساهم في التخفيف من تغير المناخ.

6-3 مؤشرات رصد تلوث الهواء

تعتمد جودة الهواء ومقياس التلوث على عدد من المؤشرات والتي هي:

الجسيمات الدقيقة (PM): تتم مراقبة PM2.5 (الجسيمات الدقيقة) وPM10 (الجسيمات الخشنة) لتقييم المخاطر على صحة الجهاز التنفسي ومستويات تلوث الهواء.

ثاني أكسيد النيتروجين (NO2): يعد NO2 مؤشرًا رئيسيًا لتلوث الهواء وعمليات الاحتراق المرتبطة بحركة المرور [20].

ثاني أكسيد الكبريت (SO2): تنشأ انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في المقام الأول من الأنشطة الصناعية واحتراق الوقود الأحفوري، مما يساهم في مشاكل الجهاز التنفسي وتكوين الأمطار الحمضية.

الأوزون (O3): الأوزون الأرضي هو ملوث ثانوي يتكون من التفاعلات الكيميائية بين أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، مع آثار ضارة على صحة الجهاز التنفسي [21] .

وتعتبر المصادر الرئيسية للجسيمات الدقيقة هي حركة المرور والصناعة وحرق الوقود المنزلي (بما في ذلك الطهي والتدفئة وما إلى ذلك)، والمصادر الطبيعية (بما في ذلك غبار التربة وملح البحر). على الصعيد العالمي، تبلغ مساهمة المصادر الطبيعية في 22% PM10، وبعبارة أخرى، فإن 78% من PM10 تنشأ من الأنشطة البشرية. وتتمثل مساهمة المصادر المتعلقة بالنشاط البشري في حركة المرور (25%)، والصناعة (18%)، وحرق الوقود المنزلي (15%)، ومصادر غير محددة ذات أصل بشري (20%). وتبلغ مساهمة المصادر الطبيعية في كوريا 16%، وهي أقل من المتوسط العالمي، وبالتالي فهي دولة يكون للأنشطة البشرية فيها تأثير كبير على تركيز PM10 [22].

4) مراقبة جودة الهواء عبر الأقمار الصناعية والذكاء الاصطناعي

تساعد أنظمة تكنولوجيا المعلومات مثل أجهزة الاستشعار وتقنيات الاستشعار عن بعد وتحليلات البيانات، في مراقبة وإدارة العوامل البيئية مثل جودة الهواء والمياه وإزالة الغابات والتنوع البيولوجي، وتمكن هذه المعلومات من تحديد الاتجاهات الإيكولوجية، ونظم الإنذار المبكر بالكوارث الطبيعية ووضع استراتيجيات للاستخدام المستدام للموارد وحفظها فعلى سبيل المثال يتم تطبيق تكنولوجيا الاستشعار عن بعد في رصد ومراقبة تلوث البحيرة وخاصة في تقييم التلوث العضوي، والتلوث بالمعادن الثقيلة، فهو يساعد في تقييم فعالية استراتيجيات إدارة التلوث، والمساهمة في جهود تدهور البحيرة وترميمها وإدارتها [13].

وتلعب مراقبة جودة الهواء باستخدام الأقمار الصناعية دور حاسم في فهم اتجاهات تلوث الهواء الإقليمية والعالمية، ويوفر معلومات كمية عن كميات الملوثات والانبعاثات لإجراء تقييم دقيق وطويل الأجل للتعرض لتلوث الهواء، وهو أمر بالغ الأهمية للدراسات الصحية وتقييم السياسات وتطوير خطط إدارة جودة الهواء واستراتيجيات خفض الانبعاثات التي تهدف إلى تقليل تركيزات الملوثات وتحسين الصحة العامة، كما أنها تساعد في التقييم الموضوعي للامتثال لمعايير جودة الهواء[23] [24].

ومن الأساليب والتقنيات الخاصة برصد جودة الهواء محطات مراقبة أرضية مجهزة بأدوات مثل أجهزة استشعار الأرصاد الجوية، وتقنيات الاستشعار عن بعد باستخدام الأقمار الصناعية والمنصات الجوية لمراقبة جودة الهواء في المناطق الجغرافية، منصات مراقبة متنقلة بما في ذلك المركبات والطائرات بدون طيار لتقييم جودة الهواء في مواقع محددة أو أثناء أحداث مثل حرائق الغابات أو الحوادث الصناعية.

ونظرا لصعوبة تركيب محطات رصد الهواء في كل المناطق وتكلفتها فيمكن استخدام الذكاء الاصطناعي في توقع مؤشرات جودة الهواء بالمناطق التي ليس بها محطات.

5) تأثير استخدام المراقبة البيئية الذكية على تخطيط استعمالات الأراضي

يمكن أن تؤثر المراقبة البيئية لجودة الهواء بشكل كبير على استخدام الأراضي بعدة طرق:

تقييمات الأثر البيئي (EIA): تعتبر دراسة تقييم الأثر البيئي من الدراسات المطلوب القيام بها للمشروعات العمرانية المختلفة. ويتضمن هذا التقييم دراسة التأثير المحتمل للمشروع على جودة الهواء. فإذا كان من المحتمل أن يؤدي المشروع إلى تدهور جودة الهواء بشكل كبير، قد لا تتم الموافقة عليه، أو قد تكون هناك حاجة إلى اتخاذ تدابير تخفيف [25].

اشتراطات تخصيص الأراضي: يمكن تعيين المناطق ذات نوعية الهواء الرديئة كمناطق صناعية، في حين يمكن تخصيص المناطق ذات نوعية الهواء الجيدة للاستخدام السكني أو التجاري. وهذا يمكن أن يساعد في حماية السكان من التعرض للملوثات الضارة [25].

اتخاذ القرار للمخطط العمراني: يمكن للمعلومات المتعلقة بجودة الهواء أن توجه قرارات التخطيط العمراني. على سبيل المثال، إذا كانت نوعية الهواء في منطقة معينة سيئة بسبب الازدحام

المروري، فقد يقرر مخططو المدينة تحسين وسائل النقل العام في تلك المنطقة لتقليل انبعاثات المركبات [25][26] .

تقييمات الأثر الصحي: يمكن استخدام بيانات جودة الهواء في تقييمات الأثر الصحي، والتي يمكن أن تؤثر على قرارات استخدام الأراضي. على سبيل المثال، إذا كانت هناك منطقة بها مستويات عالية من تلوث الهواء يمكن أن تضر بصحة الإنسان، فقد لا تكون مناسبة للتنمية السكنية[25] .

قيم العقارات: يمكن أن تؤثر جودة الهواء على قيم العقارات، حيث غالبًا ما تتمتع المناطق ذات نوعية الهواء الجيدة بقيم عقارات أعلى من المناطق ذات نوعية الهواء الرديئة. يمكن أن يؤثر ذلك على القرارات المتعلقة بمكان التطوير أو الاستثمار في العقارات[4] .

المساحات الخضراء: يمكن استهداف المناطق ذات نوعية الهواء السيئة لإنشاء مساحات خضراء، مثل المتنزهات والحدائق العامة. حيث يمكن أن تساعد هذه المساحات في تحسين جودة الهواء عن طريق امتصاص الملوثات وإنتاج الأكسجين[27] .

باختصار، يوفر الرصد البيئي لجودة الهواء بيانات قيمة يمكن أن تفيد قرارات استخدام الأراضي، بهدف إنشاء مجتمعات أكثر صحة واستدامة.

6) العلاقات التبادلية بين مؤشرات تلوث الهواء واستخدامات الأراضي

هناك علاقة قوية بين استخدامات الأراضي وتلوث الهواء حيث يتأثر كل منهما بالآخر حيث تعتبر الصناعات واستخدام الوقود بالمركبات في الطرق من أهم مصادر التلوث الهوائي، كما أنه يجب مراعاة توطين الأنشطة والتوجهات التنموية لمستوى الملوثات في المناطق المراد تنميتها خاصة من الأنشطة التي تسبب الملوثات التي تؤثر بشكل كبير على صحة الإنسان (pm10، pm2.5) واستخدامات الأراضي التي تزيد من مؤشر PM10 هي:

- المناطق الصناعية: حيث تطلق المصانع ومواقع البناء ومحطات الطاقة انبعاثات من خلال عمليات الاحتراق وتوليد الغبار [22] [28]
- المناطق ذات حركة المرور العالية حيث أن حركة المرور العالية على الطرق تؤدي إلى إطلاق جزيئات من تآكل الإطارات وإعادة تعليق غبار الطريق [28] [29].
- المناطق التجارية الكثيفة ذات النشاط العالي للمركبات.

أما استخدامات الأراضي التي يمكن أن تقلل من مؤشر PM10 هي:

- الأراضي الزراعية حيث تعمل النباتات الصحية كمرشح طبيعي فتحبس جزيئات PM10. [22]
- المساحات الخضراء الحضرية: يمكن للمتنزهات والحدائق وأشجار الشوارع أن تساعد في التقاط PM10 والاحتفاظ بها، مما يحسن جودة الهواء [30].
- التطوير متعدد الاستخدامات: حيث يمكن أن يؤدي الجمع بين المساحات السكنية والتجارية على مقربة من بعضها البعض إلى تقليل الازدحام المروري وانبعاثات PM10 المرتبطة به [28].
- المناطق السكنية: تأثير المناطق السكنية على PM10 أقل وضوحًا في حين أن بعض الدراسات لم تجد صلة مباشرة بين الكثافة السكنية وتركيز PM10، تشير دراسات أخرى إلى أنها يمكن أن تساهم في تقلب PM10 [28].
- الخدمات الصحية والخدمات التعليمية: من المحتمل أن يكون لاستخدامات الأراضي هذه تأثير مباشر ضئيل على PM10، [31]

وبالتالي فيمكن تحديد استخدامات الأراضي بمناطق التلوث الخاصة بمؤشر pm10 في الآتي

- المناطق ذات تلوث الهواء المرتفع تعتبر هذه المناطق غير مناسبة بشكل عام للمناطق السكنية والمدارس والمستشفيات والملاعب ومرافق رعاية المسنين.

- المناطق ذات تلوث الهواء المعتدل يمكن بتلك المناطق تحقيق التوازن بين النشاط الاقتصادي وصحة الأفراد وتكون الاستخدامات المناسبة المحتملة المستودعات، المناطق التجارية، الصناعة الخفيفة (مع إجراءات مكافحة التلوث).
- المناطق ذات تلوث الهواء المنخفض يتم إعطاء الأولوية لهذه المناطق لاستخدامات المناطق السكنية والمدارس والمنتزهات والمستشفيات والمناطق متعددة الاستخدامات التي تشجع على ركوب الدراجات.

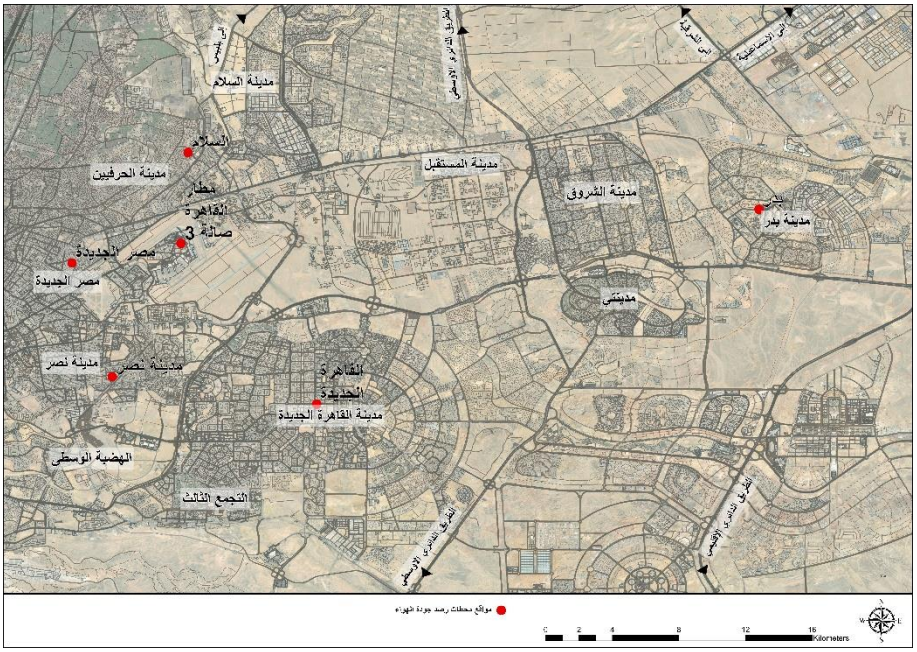
7) التوجهات القومية في مصر للحد من التلوث الهوائي والتوجه إلى تفعيل الذكاء الاصطناعي في التنمية

يعتبر تلوث الهواء أحد القضايا الأساسية في مصر حيث إنه لا تقتصر تأثيرات تلوث الهواء على الجوانب الصحية فقط، بل تمتد لتشمل الجوانب الاقتصادية والاجتماعية الأخرى.
وتتخذ مصر خطوات فعالة للتصدي لتلوث الهواء والذي يتبعه تغير المناخ، حيث تضمنت استراتيجية رؤية مصر 2030 هدف تقليل تركيزات الجسيمات الدقيقة العالقة (PM10) بنسبة 50% بحلول عام 2030، بالإضافة إلى أنها وضعت خطة عمل لتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والذي يعتبر جزء من التزامها باتفاق باريس للمناخ وفي إطار جهودها لمواجهة التحديات البيئية والمناخية العالمية [32].
وأطلقت مصر الاستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي عام 2021 والتي تهدف إلى استخدام هذه التكنولوجيا في دعم تحقيق أهداف التنمية المستدامة والتي من المهام الموضحة بها أن يشمل صناعة الذكاء الاصطناعي في مصر النظام البيئي واستخدام الذكاء الاصطناعي في القطاعات التنموية الرئيسية لإحداث تأثير اقتصادي وحل المشكلات المحلية والإقليمية ولدعم استراتيجية التنمية المستدامة في مصر بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة [33]

- وبالتالي مع التوجهات القومية الحالية لخفض انبعاثات مؤشرات جودة الهواء وتحسينه والوجه إلى الذكاء الاصطناعي فيمكن الاستفادة منه في المراقبة البيئية لجودة الهواء.

8) تطبيق الذكاء الاصطناعي وتقنيات الاستشعار عن بعد لرصد جودة الهواء مؤشر pm10

تم تطبيق الذكاء الاصطناعي على منطقة في نطاق محطات رصد القاهرة الجديدة، بدر، السلام، مدينة نصر، مصر الجديدة، مطار القاهرة صالة 3، كما هو موضح بالشكل رقم 2.



شكل رقم 2 موقع محطات رصد جودة الهواء بمنطقة حضرية

المصدر: [34]

وتم استخدام قياسات pm10 الشهرية لتقرير شئون البيئة (التقارير الشهرية لجودة الهواء في مصر) الصادرة عن جهاز شئون البيئة لسنة 2022 عن شهور الصيف (يونيو، يوليو، أغسطس) وعن شهور فصل الشتاء (يناير، فبراير) وشهر 12 لسنة 2021، بالإضافة إلى المتوسط السنوي لملوث pm10 بالتقرير السنوي لجودة الهواء في مصر لسنة 2022 كما هو موضح بالجدول رقم 1.

والاعتماد على قياسات الاستشعار عن بعد باستخدام القمر الصناعي land sat 8 من موقع Google earth engine في حساب المؤشرات التالية:

- البيئة المبنية Built up index
- درجة حرارة سطح الأرض Land surface temperature (LST)
- الغطاء النباتي المعدل للتربة SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)
- وقياسات القمر الصناعي من نطاق 2 إلى نطاق 6 The remote sensing dataset includes thematic layers of bands 2 to 6, SAVI

واستخدام بيانات OpenStreetMap لحساب القرب والبعد عن الطرق.

جدول رقم1: استخدام قياسات pm10 الشهرية لتقرير شئون البيئة

	اسم المحطة	PM10 Winter 2022	PM10 Summer 2022	متوسط سنوي 2022
المنطقة محل الدراسة	القاهرة الجديدة	123	76	74
	بدر	111	62	66
	السلام	156	116	114
	مدينة نصر	155	90	83
	مصر الجديدة	213	156	137
	مطار القاهرة صالة 3	235	176	153

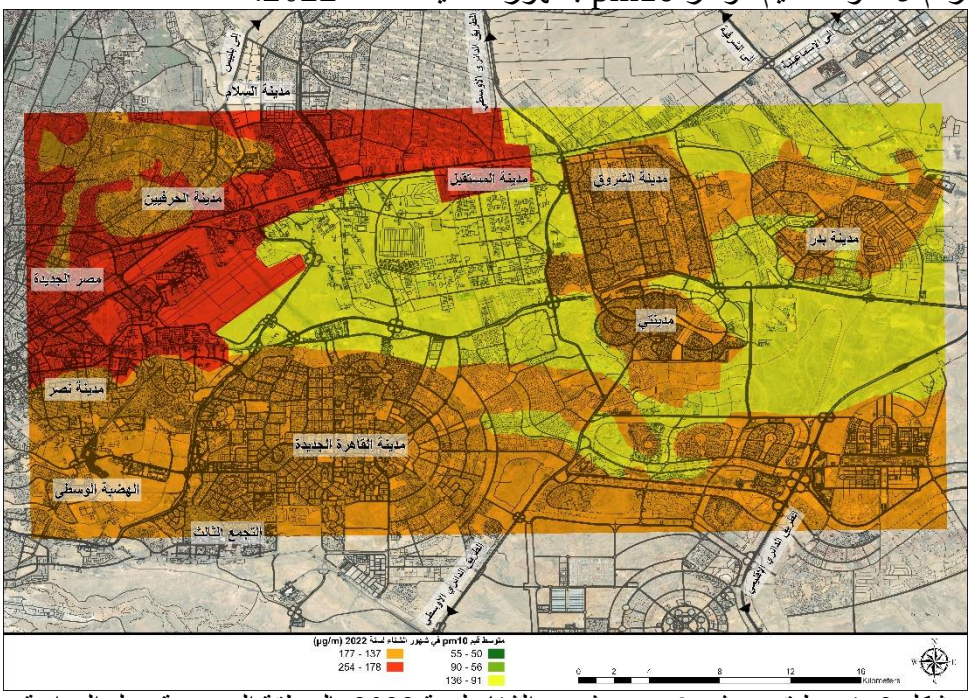
المصدر: الباحثين من [35] [34]

وتم إعداد قاعدة بيانات لتلك المؤشرات وقياسات pm10 بالمحطات باستخدام برنامج arc gis pro 3.0 وتقسيم الداتا المتاحة بمنطقة الدراسة باستخدام scikit-learn إلى جزأين 70% بهدف

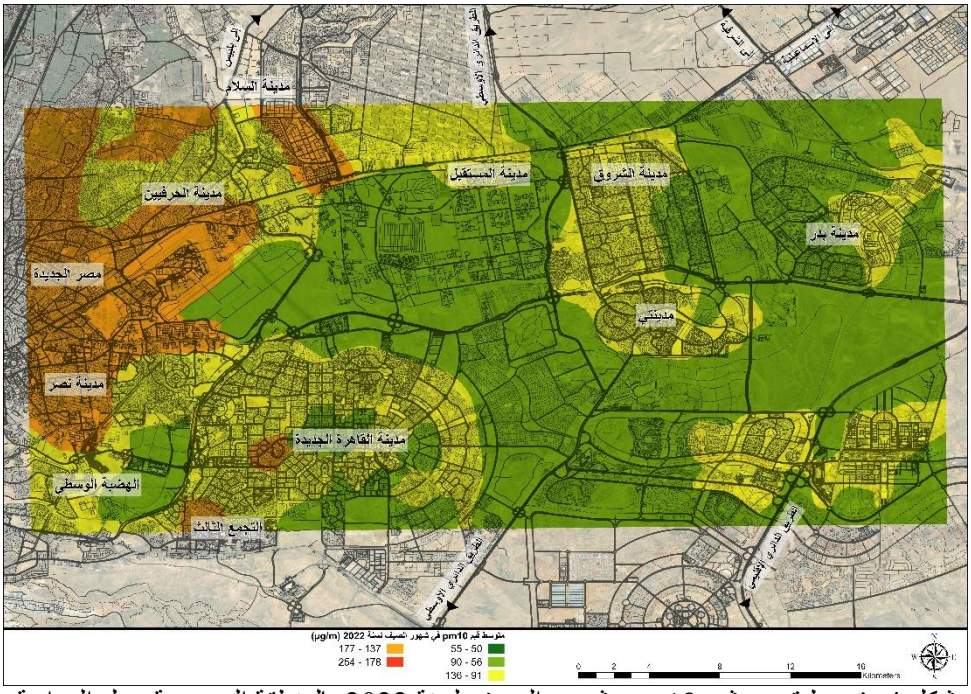
استخدامهم لتدريب النموذج على التنبؤ بتركيز ملوث pm10 و30% تستخدم لتقييم النموذج من حيث الدقة، ثم استخدام النموذج في تنبؤ قيم تركيز ملوث pm10 لمنطقة الدراسة كاملة.
وبعد استخراج النتائج تم إظهارها على خرائط باستخدام arc gis pro لإظهار وتقسيم منطقة الدراسة إلى مناطق على حسب قياسات pm10.
ومن خلال نتائج متوسطات قيم مؤشر pm10 السنوي لسنة 2022 يتم مقارنته بالحد المسموح به طبقاً للائحة التنفيذية لقانون البيئة والمقدر ب 70 ميكروجرام/ متر مكعب وتحديد المناطق التي تعدت الحد المسموح والمناطق التي ليس بها تلوث وتقسيمها إلى فئات، ومن ثم استنتاج التوصيات التخطيطية بالمناطق لتوجيه التنمية العمرانية.

1-7 نتائج التطبيق على المنطقة محل الدراسة

من خلال تطبيق الذكاء الاصطناعي وإنتاج الخرائط فطبقا للنتائج بفصل الشتاء يتضح ارتفاع نسب قيم pm10 بمصر الجديدة ومنطقة الحرفيين ومدينة نصر من 178-254 والقيم المتوسطة بمدينة بدر والقاهرة الجديدة والشروق ومدينتي والقيم المنخفضة بالمناطق البينية منخفضة البناء كما هو موضح بالشكل رقم 4 متوسط قيم مؤشر pm10 بشهور الشتاء لسنة 2022 وبمتوسط شهور الصيف يتضح انخفاض عام بقيم المؤشرات بالمنطقة حيث أصبحت مناطق مصر الجديدة ومنطقة الحرفيين ومدينة نصر بالفئة من 137 إلى 177 وأصبحت أغلب مدينة القاهرة الجديدة والشروق ومدينتي بالفئة 91-136 والمناطق البينية منخفضة البناء أصبح أغلبها بالفئة الأقل كما هو موضح بالشكل رقم 5 متوسط قيم مؤشر pm10 بشهور الصيف لسنة 2022.

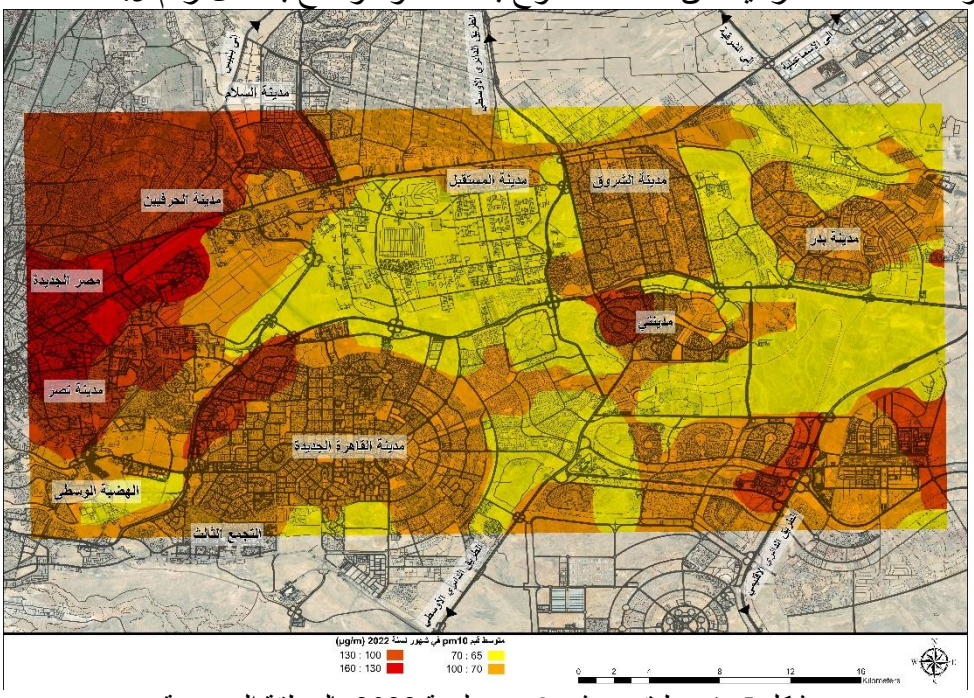


شكل 3 متوسط قيم مؤشر pm10 بشهور الشتاء لسنة 2022 بالمنطقة الحضرية محل الدراسة
المصدر: الباحثين



شكل 4 متوسط قيم مؤشر pm10 بشهور الصيف لسنة 2022 بالمنطقة الحضرية محل الدراسة
المصدر: الباحثين

ومن خلال تطبيق الذكاء الاصطناعي بمتوسط قيم pm10 لسنة 2022 بالمنطقة ومقارنتها بالحد السنوي المسموح والمقدر بـ70 ميكروجرام /متر مكعب يتضح ارتفاع قيم المؤشر بنسبة عالية بمصر الجديدة ومدينة الحرفيين حيث تقع بالفئة 130-160 مع وجود ارتفاع بسيط عن الحد المسموح بمدينتي ومدينة الشروق والقاهرة الجديدة بالفئة من 70إلى 100 مع انخفاض المناطق البينية والامتدادات العمرانية عن الحد المسموح به كما هو موضح بالشكل رقم 5.



شكل 5 متوسط قيم مؤشر pm10 لسنة 2022 بالمنطقة الحضرية
المصدر: الباحثين

9) تأثير تلوث الهواء على تخطيط استخدامات الأراضي

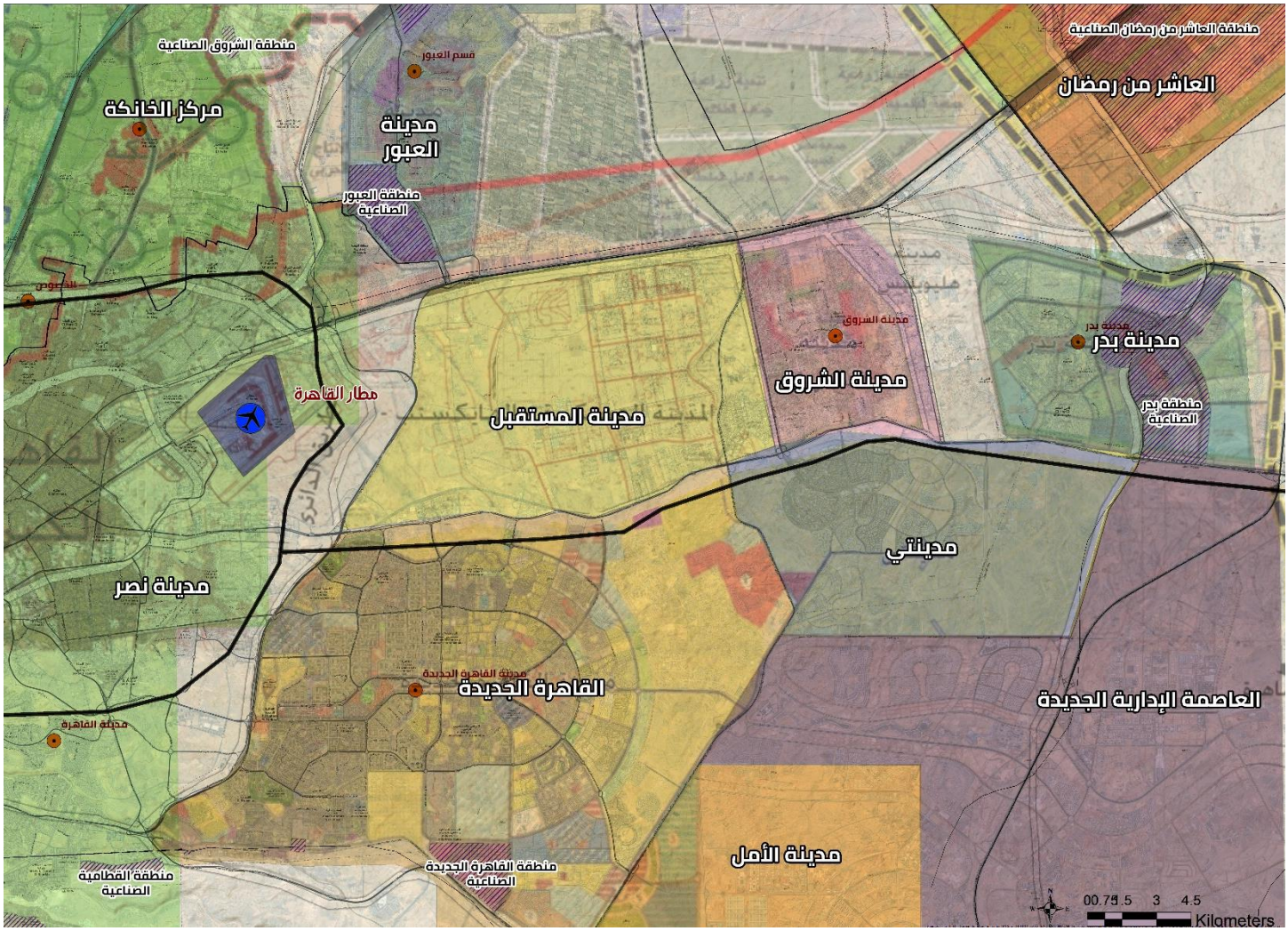
يمكن أن يؤدي تخطيط استخدام الأراضي إلى زيادة انبعاثات الملوثات الهوائية في الغلاف الجوي ويؤدي إلى تدهور الجودة البيئية؛ ولذلك فمن الضروري النظر في التأثير على البيئة الجوية أثناء تخطيط استخدام الأراضي، وذلك من خلال تقييم تأثير تخطيط استخدام الأراضي على الغلاف الجوي والبيئة الجوية في المنطقة المحيطة بكل استخدام من استخدامات الأراضي سواء القائمة أو الجديدة.

حيث ترتبط بعض أنواع استخدام الأراضي مثل الأراضي السكنية وأراضي النقل في المناطق الحضرية بارتفاع الانبعاثات، ومن المتوقع تحسين جودة الغلاف الجوي بفضل تنفيذ تخطيط استخدام الأراضي. وتتوزع التركيزات العالية في الغالب في وسط المناطق الحضرية وحول قطع الأراضي الرئيسية، ولذلك، هناك قلق من أن سكان الحضر في المناطق المتضررة سوف يتعرضون لتركيزات عالية من التلوث. على الرغم من أن تحليل التراكب يكشف أن تخطيط الأراضي الحضرية الجديدة والريفية المخططة حديثًا صديق للبيئة، إلا أنه يجب اتخاذ تدابير لخفض الانبعاثات للأراضي الحضرية المخططة حديثًا الواقعة في المناطق ذات التركيزات العالية لثاني أكسيد الكبريت والجسيمات PM10.

9-1 استعمالات الأراضي الحالية والمقترحة في المنطقة الحضرية محل الدراسة

من خلال مراجعة استعمالات الأراضي الحالية والمقترحة بالمنطقة محل الدراسة (والتي يتم استعراضها من خلال الشكل رقم 6) يتبين أنها يغلب عليها المدن والتجمعات الجديدة المختلطة الاستعمالات مثل:

- **العاصمة الإدارية الجديدة:** والتي تتنوع بها استعمالات الأراضي بين الاستعمالات السكنية والإدارية والخدمية، وكذلك الاستعمالات الرياضية والترفيهية المتنوعة.
- بالإضافة إلى محطات البنية الأساسية الرئيسية (الكهرباء، مواقف النقل الإقليمي، محطات القطار السريع، .... الخ).
- **مدينة العبور:** والتي تضم مناطق سكنية وخدمية ومنطقة صناعية.
- **مدينة بدر:** تضم مناطق سكنية وخدمية ومنطقة صناعية.
- **مدينة القاهرة الجديدة:** منطقة للإسكان مختلف المستويات في ظهير القاهرة بالإضافة إلى منطقة القاهرة الجديدة الصناعية.



شكل 6 متوسط قيم مؤشر pm10 لسنة 2022 بالمنطقة الحضرية واستعمالات الأراضي الحالية والمقترحة

2-9 العلاقة بين استعمالات الأراضي الحالية والمقترحة بالنطاق محل الدراسة ونطاقات رصد قيم مؤشر pm10 للمنطقة والتوصيات المقترحة لها

خلال المرحلة التالية يتم مراجعة استعمالات الأراضي الحالية والمقترحة بالمنطقة محل الدراسة (والتي يتم استعراضها من خلال الشكل رقم 6) مع نتيجة تقسيم منطقة الدراسة طبقاً لتقسيمها طبقاً لدرجات انبعاثات مؤشر pm10 بها، ومن ثم يتم تحديد التوصيات الخاصة بها للتعامل مع الاستعمالات المتوطنة بها:

جدول رقم2: العلاقة بين استعمالات الأراضي المتوطنة ونطاقات رصد قيم مؤشر pm 10 للمنطقة

نطاق رصد قيم مؤشر pm 10	الاستعمالات الحالية والمقترحة بها	التوصيات المقترحة
المناطق المنخفضة الانبعاث من 70:65 ميكروجرام	مناطق الاستعمالات السكنية الجديدة لمختلف مستويات الإسكان في مدينة المستقبل والهضبة الوسطى، الاستعمالات الخدمية، مناطق الامتداد العمراني المستقبلي	**تتركز المنطقة منخفضة الانبعاث في المناطق الأقل كثافة التي تتخللها العديد من مناطق الامتداد العمراني المستقبلي، والتي يوصى أن:** ▪ محاولة الحفاظ على مستويات الانبعاثات المنخفضة من خلال اقتراح الاستعمالات الخفيفة والتي يمكن أن تتمثل في الاستعمالات الترفيهية أو الخدمية الخفيفة. ▪ مراعاة توزيع الاستعمالات المقترحة التي يتم توطينها في تلك المناطق بشكل متزن لا يرفع من معدلات الانبعاثات التي تعمل على تلوث الهواء.
المناطق المتوسطة الانبعاث من 100:70 ميكروجرام	يتوطن بتلك المنطقة الاستعمالات المتمثلة في مدينة الشروق، ومدينة بدر، بالإضافة إلى الأجزاء الشرقية لمدينة القاهرة القائمة (مدينة نصر، مصر الجديدة)، وأجزاء من مدينة القاهرة الجديدة.	**تتركز المنطقة متوسطة الانبعاث في المناطق ذات كثافات البناء المتوسطة التي تتخللها العديد من مناطق الإسكان مختلفة المستويات، والتي يوصى أن:** ▪ زيادة النسب المخصصة للمناطق الخضراء والترفيهية المفتوحة بتلك المنطقة وذلك للعمل على تقليل الانبعاثات بها قدر الإمكان. ▪ العمل على تقليل الكثافات الخاصة بالمناطق السكنية بتلك المنطقة من خلال تقليل النسب البنائية، وبالتالي خفض الانبعاثات الخاصة بالاستعمالات السكنية والاقتصادية المرتبطة بارتفاع الكثافات.
المناطق المرتفعة الانبعاث من 130:100 ميكروجرام	تضم مدينة الحرفيين، وأجزاء من منطقة مدينتي، وأجزاء من مدينة القاهرة الجديدة	**تتركز المنطقة مرتفعة الانبعاث في المناطق التي تشتمل على استعمالات صناعية أو التي بها تركز للاستعمالات على طرق رئيسية ذات كثافات مرورية عالية، والتي يوصى أن:** ▪ العمل على تخفيض الكثافات المرورية على الطرق الرئيسية بالمنطقة المرتفعة الانبعاث والتي ينتج عن حركة السيارات المرتفعة عليها انبعاثات تعمل على تلوث الهواء، وبحث إمكانية تحويل جزء من الكثافات المرورية بها نحو طرق بديلة، أو الاتجاه نحو عمل حزام شجري حول تلك الطرق للعمل على تخفيض الانبعاثات الخاصة بها. ▪ العمل على نقل الاستعمالات ذات الانبعاثات المرتفعة (الاستعمالات الصناعية والحرفية) خارج المناطق محل الدراسة ونقلها نحو المناطق الجديدة لتقليل الانبعاثات الخاصة بها قدر الإمكان، أو الإبقاء عليها في أماكنها مع تشديد الاشتراطات البيئية الخاصة بها والتي تساهم في خفض الانبعاثات الخاصة بهم.
المناطق المرتفعة جدا ذات الانبعاث من	تضم مناطق الكثافات والضغوط العمرانية المرتفعة في شرق القاهرة (مدينة نصر، مصر الجديدة، نطاق مطار	**تتركز المنطقة ذات الانبعاثات المرتفعة جداً في مناطق الكثافات المرتفعة جداً في نطاق شرق القاهرة والتي تتركز بها العديد من الاستعمالات السكنية مرتفعة الكثافة وأياً الاستعمالات التجارية ذات الكثافات المرورية المرتفعة،**

160:130 **ميكروجرام**	القاهرة)	**والتي يوصى أن:** ▪ العمل على تخفيض الكثافات السكانية وكثافات الإسكان البنائية في النطاق ذات الانبعاثات المرتفعة جداً من خلال توجيه الزيادات السكانية بها نحو المناطق الجديدة، وأيضاً من خلال تنظيم القوانين واللوائح المنظمة للعمران والتي تعمل على تقييد عمليات البناء في تلك المناطق. ▪ العمل على نقل الاستعمالات ذات الانبعاثات المرتفعة خارج النطاق محل الدراسة من خلال وضع القيود والاشتراطات البيئية الصارمة في تجديد الرخص الخاصة بتلك الاستعمالات أو يتم نقلها في المناطق ذات الكثافات المنخفضة. ▪ محاولة خلق المحاور الترفيهية والمناطق الخضراء التي يمكن اعتبارها متنفساً طبيعياً لمناطق الانبعاثات المرتفعة والتي يمكن أن تساهم في خفض تلك القيم المرتفعة لها قدر الإمكان. ▪ إمكانية استغلال مناطق الامتداد العمراني المستقبلي في المناطق ذات الانبعاثات المنخفضة في تفريغ جزء من الاستعمالات المتوطنة في النطاق ذات الانبعاثات المرتفعة وذلك بهدف خفض قيم الانبعاثات الخاصة به قدر الإمكان.

10) نتائج وتوصيات البحث

يتضح أهمية المراقبة البيئية وقياس جودة الهواء لتحقيق التنمية المستدامة، ويساعد الذكاء الاصطناعي وأدوات الاستشعار عن بعد في ذلك حيث أنه يمكن من خلاله توقع قيم المؤشرات التي تحدد مدى التلوث بالهواء الخارجي بالتجمعات ومن خلال التطبيق بمنطقة حضرية يتضح بصفة عامة ارتفاع قيم المؤشرات بالمنطقة الحضرية في المناطق ذات الكثافات المرتفعة والاستعمالات الملوثة كالصناعات والمناطق الحرفية والذي بدوره كانعكاس لأنشطة استخدامات الأراضي بالمناطق حيث كلما زاد التحضر والأنشطة الحضرية كلما ازدادت قياسات قيم المؤشرات، كما تزداد قيم المؤشرات بمتوسط شهور الشتاء عن متوسط شهور الصيف.

ويمكن الخروج بمجموعة من التوصيات بالمنطقة محل الدراسة كالتالي:

- بمناطق مصر الجديدة ومدينة الحرفيين توطين المناطق الخضراء التي تساعد في خفض انبعاثات قيم 10 pm
- بمدينتي ومدينة الشروق والقاهرة الجديدة الحرص على استخدام الطاقة الجديدة والمتجددة في وسائل النقل ومراعاة عدم توطين استعمالات تلوث البيئة أما بالمناطق الأخرى التي يقل بها قيم تلوث الهواء عن الحد المسموح فيمكن توطين الاستعمالات المختلفة مع مراعاة أن تكون تلك الاستعمالات صديقة للبيئة حتى لا تزداد القيم عن الحد المسموح.
- العمل على زيادة نسب توطين الاستعمالات الترفيهية والمناطق الخضراء التي تعمل على خفض الانبعاثات الضارة وتساعد على خفض القيم الحالية للمؤشر.
- تخفيض الضغوط عن مناطق الكثافات المرتفعة من خلال تفريغ جزء من الكثافات والاستعمالات الحيوية بها نحو المناطق الجديدة الأقل في الانبعاثات.
- إمكانية تحويل جزء من الكثافات المرورية بالطرق الرئيسية التي تخترق المنطقة نحو طرق بديلة أقل كثافة لتقليل الانبعاثات، أو عمل سياجات أو أحزمة شجرية حول تلك الطرق تعمل على خفض الانبعاثات قدر الإمكان.

وبصفة عامة يوصي البحث باستخدام الذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بعد بالمناطق على مستوى مصر لإمكانية توجيه القرارات التخطيطية الملائمة وتوجيه خطط التنمية العمرانية لتحقق الاستدامة البيئية.

المراجع

[1] P. Nakhle, I. Stamos, P. Proietti and A. Siragusa, "Environmental monitoring in European regions using the sustainable development goals (SDG) framework," Environmental and Sustainability Indicators, vol. 21, pp. 1-14, 2024 .

[2] M. Sangiorgi, M. A. H. Ceballos, G. Iurlaro, G. Cinelli and M. d. Cort, "30 years of European Commission Radioactivity Environmental Monitoring data bank (REMdb) – an open door to boost environmental radioactivity research," Earth System Science Data, vol. 11, p. 589–601, 2019 .

[3] UNEP, "Pollution Action Note – Data you need to know," 2023. [Online]. Available: https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw48-vBhBbEiwAzqrZVHVrmNNFYvnyIFNLmmwZR4KGke8B42-Gl5bv8CL0KJ6xIsA0tv_XNBoCUA4QAvD_BwE. [Accessed 10 12 2023].

[4] أ. الضرغامي، م. عطية و ح. علام، "ورقة سياسات: المناطق منخفضة الانبعاثات (LEZs) والمتطلبات الأساسية لإنشاء مدن مستدامة وتوفير هواء نظيف في مصر،" وزارة البيئة، القاهرة، 2021.

[5] J. Zhang, G. Yang, L. Yang, Z. Li, M. Gao, C. Yu, E. Gong, H. Long and H. Hu, "Dynamic Monitoring of Environmental Quality in the Loess Plateau from 2000 to 2020

Using the Google Earth Engine Platform and the Remote Sensing Ecological Index," remote sensing, vol. 14, no. 5094, pp. 1-20, 2022 .

[6] A. González, "Strategic environmental assessment monitoring: the enduring forgotten sibling," Impact Assessment and Project Appraisal, vol. 40, no. 2, p. 168–176 , 2022 .

[7] National Oceanic and Atmospheric Administration, "How Is Air Quality Measured," [Online]. Available: https://scijinks.gov/air-quality/. [Accessed 12 2023].

[8] UNECE, "Guidelines for developing national biodiversity monitoring systems," United Nations Publications, New York, 2023.

[9] F. Urbano, R. Viterbi, L. Pedrotti, E. Vettorazzo, C. Movalli and L. Corlatti, "Enhancing biodiversity conservation and monitoring in protected areas through efficient data management," Environmental Monitoring and Assessment, vol. 196, no. 12, pp. 1-16, 2024 .

[10] J. Zhang, L. Zhuang, G. Zhou, Y. Zhu and Y. Zhang, "An Integrated Device for Online Monitoring Water Quality," in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Changsha, China, 2021 .

[11] S. Huang, "Application of Remote Sensing Technology in the Field of Lake Pollution Control and Monitoring," Highlights in Science, Engineering and Technology, vol. 69, pp. 135-141, 2023 .

[12] R. R. Weil and N. C. Brady, The Nature and Properties of Soils (Fifteenth Edition), Columbus: Pearson, 2017 .

[13] European Commission Joint Research Centre, "Soil Atlas of Africa," Publications Office of the European Union, Belgium, 2021.

[14] S. L. Ullo and R. G. Sinha, "Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors," Sensors, vol. 20, no. 11, pp. 1-18, 2020 .

[15] J. Li, Y. Pei, S. Zhao, R. Xiao, X. Sang and C. Zhang, "A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China," remote sensing, vol. 12, no. 1130, pp. 1-25, 2020 .

[16] البنـك الـدولي، "مـا يجـب معرفتـه عـن تغيـر المنـاخ وتلـوث الهـواء،" 9 2022. Available: https://www.albankaldawli.org/ar/news/feature/2022/09/01/what-you-need-to-know-about-climate-change-and-air-pollution. [تاريخ الوصول 5 2023].

[17] L. L. Thy, K.-B. V. Quang, T.-V. Vo and T.-M. T. Nguyen, "Environmental and health impacts of air pollution: A mini-review," Ministry of Science and Technology, vol. 66, no. 1, pp. 120-128, 2024 .

[18] U.S. Environmental Protection Agency, "Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution," 2023. [Online]. [Accessed 11 2023].

[19] "Air quality, energy and health," 2023. [Online]. Available: https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/sectoral-interventions/ambient-air-pollution. [Accessed 12 2023].

[20] S. K. Gupta and B. Singh , "Instruments for Monitoring Air Pollution and Air Quality," in Handbook of Metrology and Applications, springer, 2023, p. 1657–1705.

[21] World Health Organization, "Monitoring air pollution levels is key to adopting and implementing WHO's Global Air Quality Guidelines," 10 2023. [Online]. Available: https://www.who.int/news/item/10-10-2023-monitoring-air-pollution-levels-is-key-to-adopting-and-implementing-who-s-global-air-quality-guidelines. [Accessed 2023].

[22] H. Kim and S. Hong, "Relationship between Land-Use Type and Daily Concentration and Variability of PM10 in Metropolitan Cities: Evidence from South Korea," land, vol. 11, no. 1, pp. 1-24, 2022 .
[23] S. Sohrab, N. Csikos and P. Szilassi, "Effects of land use patterns on PM10 concentrations in urban and suburban areas. A European scale analysis," Atmospheric Pollution Research, vol. 14, no. 12, pp. 1-20, 2023 .
[24] N. Pérez, J. Pey, M. Cusack, C. Reche, X. Querol, A. Alastuey and M. Viana, "Variability of Particle Number, Black Carbon, and PM10, PM2.5, and PM1 Levels and Speciation: Influence of Road Traffic Emissions on Urban Air Quality," Aerosol Science and Technology, vol. 44, no. 7, pp. 487-499, 2010 .
[25] D. P. M. Junior, C. Bueno and C. M. da Silva, "The Effect of Urban Green Spaces on Reduction of Particulate Matter Concentration," Bull Environ Contam Toxicol, vol. 108, p. 1104–1110, 2022 .
[26] world health organization, "WHO European Healthy Cities Network," 2022. [Online]. Available: https://www.who.int/europe/groups/who-european-healthy-cities-network. [Accessed 10 2023].
[27] N. Daito, D. Lotayef and A. Ardila-Gomez, "Reducing air pollution in Greater Cairo involves switching from private vehicles to improved public transport," The World Bank, Washington, 2021.
[28] وزارة الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات، "الاستراتيجية الوطنية للذكاء الاصطناعي،" وزارة الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات، القاهرة، 2021.
[29] وزارة البيئة، "تقرير جودة الهواء في مصر: الشبكة القومية لرصد ملوثات الهواء المحيط،" وزارة البيئة، القاهرة، 2022.
[30] وزارة البيئة، "التقارير الشهرية عن جودة الهواء في مصر- الشبكة القومية لرصد ملوثات الهواء المحيط،" وزارة البيئة، القاهرة، شهر 12 لسنة 2021، شهور من 1-12 لسنة 2022.