



مجلة

مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية

مجلة علمية محكمة تصدر عن
مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية
كلية الآداب - جامعة المنوفية

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: 2357-0091

الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: 2735-5284

مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية

بكلية الآداب – جامعة المنوفية

مجلة علمية مُحَكَّمَة

استخدام البيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد لتحليل التغير في مرونة المناخ الحضري بالمدينة المنورة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٢٢م

إعداد

أ. أروى عبد العزيز سالم الصاعدي

طالبة دراسات عليا قسم الجغرافيا جامعة الملك سعود

د. محمد بن سعد المقرئ

أستاذ الجغرافيا المشارك قسم الجغرافيا جامعة الملك سعود

مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية بكلية الآداب – جامعة المنوفية

مجلة علمية مُحَكَّمة

هيئة التحرير للمجلة	
رئيس التحرير	أ.د/ لطفي كمال عبده عزاز
نائب رئيس التحرير	أ.د/ إسماعيل يوسف إسماعيل
مساعد رئيس التحرير	أ.د/ عادل محمد شاويش
السادة أعضاء هيئة التحرير	أ.د/ عبد الله سيدي ولد محمد أبنو
	د/ سالم خلف بن عبد العزيز
	د/ محمد فتح الله محمد الننتيفة
	د/ طوفان سظام حسن البياتي
	د/ سهام بنت صالح سليمان العلولا
	د/ محمود فوزي محمود فرج
سكرتير التحرير	د/ صابر عبد السلام أحمد محمد
	د/ صلاح محمد صلاح دياب

[موقع المجلة على بنك المعرفة المصري: https://mkgc.journals.ekb.eg/](https://mkgc.journals.ekb.eg/)

الترقيم الدولي الموحد للطباعة: ٢٣٥٧-٠٠٩١
الترقيم الدولي الموحد الإلكتروني: ٢٧٣٥-٥٢٨٤

تتكون هيئة تحكيم إصدارات المجلة من السادة الأساتذة المحكمين من داخل وخارج اللجنة العلمية الدائمة لترقية الأساتذة والأساتذة المساعدين في جميع التخصصات الجغرافية

بحث:

استخدام البيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد لتحليل التغير في مرونة المناخ الحضري بالمدينة المنورة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٢٢م

أ. أروى عبد العزيز سالم الصاعدي *

د. محمد بن سعد المقرّي **

* طالبة دراسات عليا قسم الجغرافيا جامعة الملك سعود
** أستاذ الجغرافيا المشارك قسم الجغرافيا جامعة الملك سعود

ملخص البحث:

تعد دراسة التغيرات المكانية والزمانية في مرونة المناخ الحضري ذات أهمية كبيرة حيث أن فهمها يُمكن صناع القرار من تحديد المناطق المعرضة للخطر وتتبع تطورها مع مرور الوقت وتطوير التدخلات المناسبة للتخفيف من تأثيرها. هدفت هذه الدراسة إلى تحليل التغير في مرونة المناخ الحضري في المدينة المنورة. وذلك من خلال البيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد في الخدمة السحابية Google Earth Engine (GEE) باستخراج المؤشرات التي تم الاعتماد عليها كدرجة حرارة سطح الأرض ومؤشرات جودة الهواء. وخلصت الدراسة إلى انخفاض مرونة المناخ الحضري في المدينة المنورة بمرور الزمن؛ وأوصت الدراسة بدمج النتائج المتعلقة بالتغيرات المكانية والزمانية في مرونة المناخ الحضري بالعمليات الحضرية، مثل تخطيط البنية التحتية الخضراء. وضرورة التنسيق المؤسسي متعدد النطاقات ومتعدد التخصصات بين جميع السلطات التي تتعامل مع السياسة الحضرية والبيئية مثل التخطيط والبيئة والنقل، ومواءمة أدوات التخطيط والإدارة في نهج حوكمة متعدد المستويات يسعى إلى دمج توقعات تغير المناخ بالتخطيط الحضري.

الكلمات المفتاحية:

مرونة المناخ الحضري، الجزر الحرارية الحضرية، جودة الهواء، البيانات الضخمة، الاستشعار عن بعد، المدينة المنورة.

١ - مدخل الدراسة:

١-١ المقدمة:

من المسلم به على نطاق واسع أن التحضر في اتجاه تصاعدي حيث من المتوقع أن يعيش ٦٦٪ من سكان العالم في المدن بحلول عام ٢٠٥٠م (UN, 2014, P. 7). كما تُظهر توقعات تغير المناخ زيادة وتيرة وشدة الظواهر الجوية المتطرفة كموجات الحرارة؛ ومن المتوقع أن تؤدي مثل هذه الأحداث إلى ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية (UHI) مما يؤدي إلى تضخيم التحديات التي تواجه هذا النمو الحضري (IPCC, 2021, P. 100). لهذه الأسباب جذبت العلاقة بين استخدام الأراضي والمناخ الحضري اهتماماً متزايداً باستمرار من مخططي المدن إلى صانعي السياسات أثناء محاولتهم تحديد استراتيجيات النمو التي تهدف إلى تعزيز رفاحية سكان المناطق الحضرية وصياغتها وتنفيذها في نهاية المطاف (Gunawardena et al, 2017, P. 1041).

فالمناطق المكتظة بالسكان تفرض على المدن أن تتطور إما رأسياً أو أفقياً، مما يؤدي إلى المزيد من الحرارة البشرية المنشأ وزيادة تأثير الانسداد ضد التهوية الحضرية، وزيادة امتصاص الإشعاع الشمسي بسبب تنفيذ المواد الاصطناعية، مما يؤدي في النهاية إلى انخفاض انبعاث الموجات الطويلة إلى السماء بسبب تأثير انسداد المباني (Ashtiani et al, 2014, P. 600). وبالتالي يمكن اعتبار تأثير الجزر الحرارية الحضرية ظاهرة تراكم حراري وهي أكثر الظروف وضوحاً للمناخ الحضري الذي يسببه البناء الحضري والأنشطة البشرية. (Yang, 2014, P. 13) فتأثير (UHI) له علاقة وثيقة بإطلاق الحرارة في المناطق الحضرية وخصائص وهيكل السطح الأساسي والتغطية النباتية والكثافة السكانية والظروف الجوية. وفي الوقت نفسه سيكون حجم وشدة تأثير (UHI) خطيراً بشكل متزايد مع التحضر المستمر. (Yang et al, 2016, P.11)

فالمرونة المناخية الحضرية تشير إلى قدرة المدن على التكيف والتأقلم مع التغيرات المناخية وتأثيراتها داخل البيئة الحضرية. حيث تتأثر المدن بتغيرات درجات الحرارة والجزر الحرارية ومؤشرات جودة الهواء، وتحتاج إلى إدارة فعّالة لتحسين جودة الحياة والحفاظ على البيئة. وتعتبر جودة الهواء من المؤشرات الهامة التي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالبيئة الحضرية؛ والتي تتجاوز الرفاهية إلى التأثير المباشر على صحة الإنسان. فقد أدى التحضر والنمو الاقتصادي المتسارع إلى التغير في النمط العام للغطاء الأراضي وبالتالي زيادة المساحة المبنية على حساب الأراضي الفضاء إلى جانب انخفاض الغطاء النباتي والأراضي الزراعية والمسطحات المائية ومن ثم زيادة انبعاثات ملوثات الهواء مما أدى إلى تدهور جودة الهواء. فالنمو السكاني للمدن وخاصة في المدن المليونية يثير قضايا بيئية ملحة وحساسة مثل جودة الهواء (WHO, 2021, P. 60). حيث جاء تلوث الهواء في المدن بالمرتبة

الرابعة من ضمن ٥٠ عامل خطر ويؤدي للوفاة المبكرة على نطاق عالمي (HEI, 2020, P. 5). و تم التركيز على المؤشرات التي اعتمدها منظمة الصحة العالمية World Health Organization (WHO) لقياس جودة الهواء. وذلك من خلال توضيح التغير والتباين في المواد الجسيمية والغازات الضارة والتي تعتبر خطيرة وذات تأثير مباشر على صحة الانسان، مثل: الأوزون (O3)؛ وأول أكسيد الكربون (CO)؛ وثاني أكسيد النيتروجين (NO2)؛ والفورمالديهايد (HCHO)؛ وثاني أكسيد الكبريت (SO2)؛ والعمق البصري للهباء الجوي (AOD). وبالتالي تهدف هذه الدراسة إلى تتبع ديناميكيات الجزر الحرارية الحضرية (UHI) ومؤشرات جودة الهواء، وذلك بالاعتماد على تقنيات التحليل المكاني والبيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد، وتحليل السلاسل الزمنية باستخراج المتوسطات لهذه المؤشرات لاكتشاف التغيرات المكانية والزمانية خلال الفترة (٢٠١٨/٢٠٠٠ - ٢٠٢٢).

٢-١ مشكلة الدراسة:

تكتسب فكرة المرونة الحضرية زخماً متزايداً في الأدبيات حول المدن وتغير المناخ؛ حيث تؤكد المصطلحات المستخدمة بشكل متكرر مثل المرونة المناخية والمدينة المرنة؛ على أن المدن والأنظمة الحضرية والهيئات الحضرية تحتاج إلى أن تكون قادرة على التعافي بسرعة من الصدمات والضغوط المرتبطة بالمناخ (Pelling, 2003- Boyed et al, 2008- Sperling et al, 2008- ECAWG, 2009). وربما تكمن الخطوة الأولى للوصول للتعافي بتقييم هذه الصعوبات في البداية؛ إذ تعتبر الجزر الحرارية الحضرية من أولى تأثيرات التحضر على المناخ الحضري؛ إلى جانب التغير في جودة الهواء.

حيث يشير مفهوم الجزر الحرارية الحضرية إلى المناطق داخل المدن التي تكون فيها درجات الحرارة أعلى باستمرار من المناطق المحيطة بها. وتنتج بسبب عدة عوامل مختلفة، منها استبدال الغطاء الأرضي الطبيعي بأسطح غير منفذة للحرارة، والحرارة الناتجة عن الأنشطة البشرية، ومحدودية المساحات الخضراء. وفي المدينة المنورة قد يؤدي توسع المناطق المبنية وتكثيف الأنشطة الصناعية وأنشطة النقل إلى تفاقم تأثير هذه الجزر.

كما تعد جودة الهواء جانباً مهماً آخر من جوانب مرونة المناطق الحضرية في مواجهة تغير المناخ، مما يؤثر بشكل مباشر على الصحة العامة والاستدامة البيئية. إذ يعد غاز الأوزون وأول الكربون والفورمالديهايد وثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت والهباء الجوي من الملوثات الرئيسية التي تؤثر على مستويات جودة الهواء في البيئات الحضرية. ويمكن أن تؤدي التركيزات العالية من هذه الملوثات إلى مشاكل في الجهاز التنفسي وأمراض القلب والأوعية الدموية والتدهور

البيئي (WHO, 2021, P. 60). وتشهد المدينة المنورة تطوراً سريعاً ونموً سكانياً، مما يؤدي إلى تغيرات كبيرة في ظروفها المناخية. ويعد فهم التغيرات المكانية والزمانية في مرونة المناخ الحضري أمراً بالغ الأهمية للتخطيط الحضري الفعال واستراتيجيات التخفيف.

١- ٣ أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى التالي:

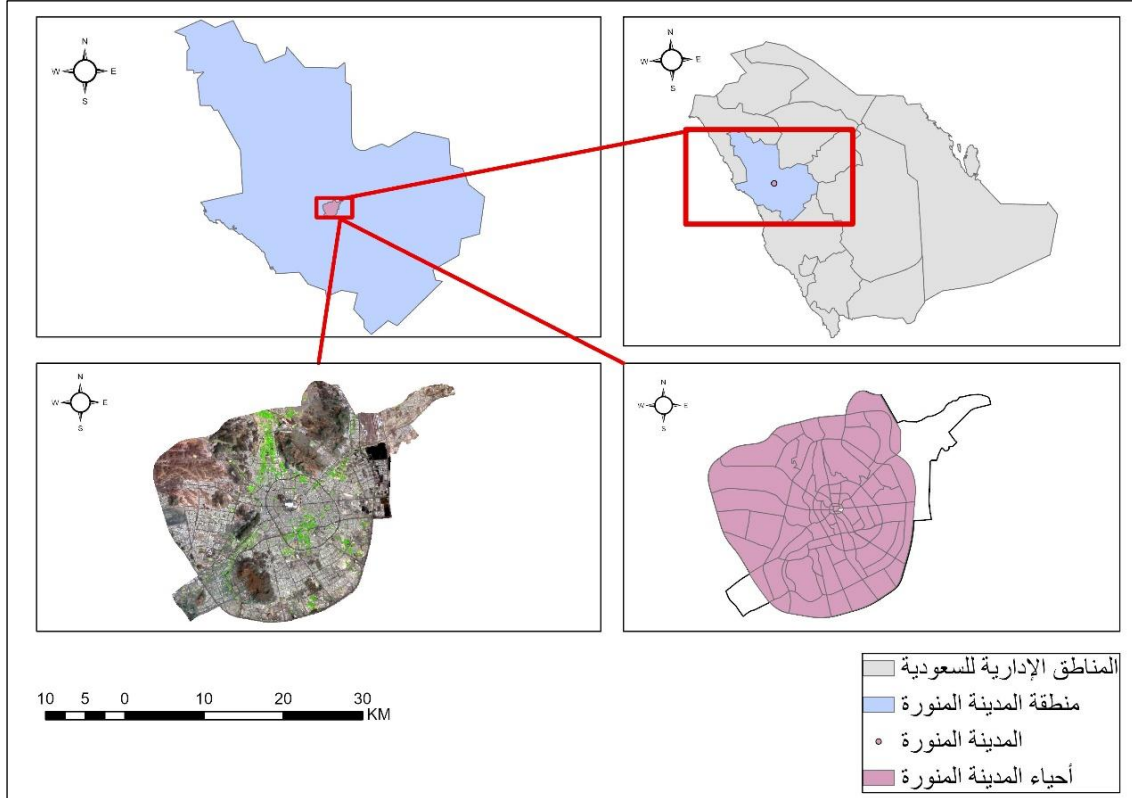
- ١- تحليل السلاسل الزمنية لدرجات الحرارة في المدينة المنورة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٢٢م.
- ٢- تحليل السلاسل الزمنية لمؤشرات جودة الهواء في المدينة المنورة خلال الفترة ٢٠١٨-٢٠٢٢م.
- ٣- تتبع التغيرات المكانية في الجزر الحرارية الحضرية في المدينة المنورة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٢٢م.
- ٤- تتبع التغيرات المكانية في مؤشرات جودة الهواء في المدينة المنورة خلال الفترة ٢٠١٨-٢٠٢٢م.

١- ٤ حدود الدراسة وأهميتها:

تعد دراسة التغيرات المكانية والزمانية في مرونة المناخ الحضري ذات أهمية كبيرة حيث أن فهم الجزر الحرارية الحضرية يُمكن صناع القرار من تحديد المناطق المعرضة للخطر وتتبع تطورها مع مرور الوقت، وتطوير التدخلات المناسبة للتخفيف من تأثيرها على الصحة العامة والبنية التحتية الحضرية. كما أن تقييم جودة الهواء وتتبع المتغيرات به يُسهم في تحديد بؤر التلوث الساخنة، وتقييم فعالية تدابير التحكم في الانبعاثات، ووضع استراتيجيات لتحسين جودة الهواء بشكل عام في المناطق الحضرية. كما أن التحليلات الشاملة لمرونة المناخ في المناطق الحضرية توفر لصانعي السياسات والمخططين الحضريين رؤى قابلة للتنفيذ. ومن خلال فهم الديناميكيات المكانية والزمانية لهذه المرونة، يمكن لصناع القرار صياغة سياسات قائمة على الأدلة وتصميم بنية تحتية حضرية مرنة. ويشمل ذلك دمج المساحات الخضراء، وتحسين تصميمات المباني، وتنفيذ استراتيجيات النقل للتخفيف من آثار (UHI) وتقليل مستويات تلوث الهواء.

كذلك تساهم أبحاث المرونة المناخية في المناطق الحضرية في مبادرات الصحة العامة من خلال تحديد المناطق المعرضة للأمراض المرتبطة بالحرارة وأمراض الجهاز التنفسي بسبب سوء نوعية الهواء. وتخطيط المساحات الخضراء الحضرية لحماية الفئات السكانية الضعيفة وتحسين رفاهية المجتمع بشكل عام. كذلك تعزز الاستدامة البيئية من خلال تعزيز ممارسات التنمية الحضرية ذات الكفاءة في استخدام الموارد. ويدعم هذا المنهج التحول نحو بيئات حضرية أكثر مرونة واستدامة بيئياً، مما يعود بالنفع على الأجيال الحالية والمستقبلية.

وتتمثل حدود الدراسة المكانية في المدينة المنورة والتي تقع بين دائرتي عرض (٢٠° ٢٤' و ٤٠° ٢٤') شمالاً وخطي طول (٢٥° ٣٩' و ٥٠° ٣٩') شرقاً، في منطقة تتوسط الإقليم الغربي من المملكة العربية السعودية، ويبلغ ارتفاعها عن سطح البحر ٦٢٠ م (أمانة المدينة المنورة، ٢٠١٧، ص ١). كما يبين الشكل (١) والذي يوضح موقع المدينة المنورة بالنسبة للمملكة العربية السعودية. وبإجمالي مساحة معمورة تبلغ ٥٣٠.٤٤ كم^٢ (أمانة المدينة المنورة، ٢٠٢٢). من إجمالي مساحة المدينة المنورة التي تبلغ ٦٠٦ كم^٢. وتتمثل حدود الدراسة الزمانية في الفترة ٢٠١٨/٢٠٠٠-٢٠٢٢ م.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على بيانات أمانة المدينة المنورة، ٢٠٢٢ م.
المرئية الفضائية: من إعداد الباحثان بالاعتماد على Landsat 8 ، ٢٠٢٣ بواسطة (GEE).
شكل (١) موقع المدينة المنورة بالنسبة للمملكة العربية السعودية.

٢- أدبيات الدراسة:

من الدراسات التي ناقشت مرونة المناخ الحضري دراسة "ليو" (Liu et al, 2015) والتي هدفت إلى دراسة ديناميكيات الجزر الحرارية الحضرية في شنغهاي، الصين، استخدمت هذه الدراسة بيانات MODIS لتحليل الاختلافات المكانية والزمانية في الظروف الحرارية الحضرية. كذلك دراسة منصور (٢٠١٦) عن العلاقة بين التغيرات العمرانية ونشأة الجزر الحرارية بمدينة طنطا باستخدام الاستشعار من البعد ونظم المعلومات الجغرافية. إلى جانب دراسة "تشين" (Chen et al, 2016) والتي قامت بالتركيز على مراقبة جودة الهواء في المناطق الحضرية في لوس أنجلوس، كاليفورنيا،

استخدمت هذه الدراسة عمليات الرصد المعتمدة على الأقمار الصناعية لتتبع التغيرات الزمنية في تركيزات ملوثات الهواء.

إلى جانب دراسة "وانغ" (Wang et al, 2017) حيث ركزت على الديناميكيات المكانية والزمانية للجزر الحرارية الحضرية في فينيكس، أريزونا، وعلاقتها باستخدام الأراضي وخصائص الغطاء الأرضي. كذلك دراسة "لي وآخرون" (Li et al, 2018) حيث استخدمت هذه الدراسة صور لاندسات وأساليب التعلم الآلي لتقييم الديناميكيات المكانية والزمانية للجزر الحرارية الحضرية (UHI) في المناطق الحضرية. بالإضافة إلى دراسة الجشعمي (٢٠١٨) والتي تتعلق بتحليل المكاني للجزر الحرارية في مدينة النجف الأشرف باستخدام التقنيات الجغرافية. و دراسة "يانغ" (Yang et al, 2019) عن التغيرات الزمنية في (UHI) في بكين، الصين، استكشفت هذه الدراسة العلاقة بين كثافة (UHI) وديناميكيات استخدام الأراضي و الغطاء الأرضي.

إلى جانب دراسة "تشانغ" (Zhang et al, 2020) والتي ركزت على مراقبة جودة الهواء، باستخدام الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية لتتبع التغيرات الزمنية في جودة الهواء. قدمت الدراسة لمحة عامة عن المنهجيات والتطبيقات لتقييم مستويات تلوث الهواء باستخدام عمليات الرصد عبر الأقمار الصناعية. بالإضافة إلى دراسة "القناوي وآخرون" (El Kenawy et al, 2021) حيث هدفت هذه الدراسة إلى فهم تأثير إغلاق كوفيد-١٩ على جودة الهواء والجزر الحرارية الحضرية في ٢١ منطقة حضرية بالشرق الأوسط، وأظهرت النتائج انخفاضاً كبيراً في مستويات الملوثات الجوية، خاصة NO₂ و SO₂ و CO، مع تحسن ملحوظ في جودة الهواء خلال الإغلاق، خصوصاً في المدن الصغيرة، بينما كان التحسن أقل في المدن الكبيرة.

كذلك دراسة "جارسيا" (Garcia et al, 2021) والتي ركزت على مراقبة جودة الهواء ومؤشرات الصحة العامة في مدريد، إسبانيا، باستخدام صور Sentinel-2. ومن خلال تحليل بيانات الأقمار الصناعية، قام الباحثون بتقييم التغيرات المكانية والزمانية في تركيزات ملوثات الهواء والظروف الحرارية. ودراسة السني وآخرون (٢٠٢٢) عن تأثير موقع المساحات الخضراء الحضرية على الجزيرة الحرارية الحضرية في المدن باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد: دراسة حالة مدينة السادس من أكتوبر في مصر. بالإضافة إلى دراسة الرحيلي وعبد الرحمن (٢٠٢٣) عن دور الجزر الحرارية في الكشف عن الازدحام المروري باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في مكة المكرمة.

إلى جانب دراسة "القناوي وآخرون" (El Kenawy et al, 2024) هدفت هذه الدراسة إلى فهم تأثير الحرارة الحضرية في ٢١ مدينة رئيسية في الشرق الأوسط منذ عام ٢٠٠٣ حتى ٢٠١٩،

وأظهرت النتائج زيادة في درجات حرارة سطح الأرض، خاصة في مدن الخليج وشبه الجزيرة العربية، بينما أظهرت المدن ذات الارتفاع العالي أقل درجة ارتفاع. كما تبين أن التعرض لضغوط الحرارة يزداد، مما يشير إلى ضرورة اتخاذ إجراءات تخفيفية لحماية السكان الحضريين.

٣- الإجراءات المنهجية

٣-١- منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة على المناهج العلمية التي تسعى لتحقيق أهدافها وذلك من خلال تحليل البيانات الكمية باستخدام تحليل السلاسل الزمنية لتحليل البيانات المستخدمة في الدراسة، وتحليل التباين الزمني والمكاني. و التحليل الجغرافي والمكاني من خلال استخدام الأدوات الجغرافية الحاسوبية لتحليل البيانات الجغرافية وتمثيلها بشكل مكاني، مما يسهل فهم الأنماط والاتجاهات للتغيرات المناخية الحضرية.

٣-٢- البيانات ومعالجتها

تم الاعتماد على البيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد كما يوضحها الجدول (١) من خلال الحوسبة السحابية لخوارزميات Google Earth Engine (GEE) بالاعتماد على البرمجة بلغة الجافا سكريبت JavaScript، حيث أصبح Google Earth Engine (GEE) أداة المعالجة السحابية الأكثر انتشاراً في الوقت الحاضر فهو يوفر دوراً حاسماً لتحليل البيانات الجغرافية الضخمة في الاستشعار عن بعد (Tamiminia et al, 2020, P.154) إلى جانب التكامل مع نظم المعلومات الجغرافية من خلال برنامج (ArcGIS Pro) الإصدار (3.0.1). حيث تم استخراج المؤشر التالي:

٣-٢-١ مؤشر درجة حرارة سطح الأرض

تم الاعتماد على مؤشر درجة حرارة سطح الأرض Land Surface Temperature (LST) من أجل استخراج الجزر الحرارية الحضرية (UHI) Urban Heat Island باعتبارها مؤشر لقياس مرونة المناخ الحضري في منطقة الدراسة. فرغم الجهود الدولية للحد من ظاهرة الاحتباس الحراري إلى (١.٥) درجة مئوية إلا أن درجات حرارة المدن تجاوزت درجات الحرارة في المناطق الريفية أو الضواحي المحيطة بمقدار (٢-٥) درجة مئوية، وفي الحالات القصوى حتى (١٢) درجة مئوية. وغالباً ما تتفاقم هذه الظاهرة المعروفة باسم الجزيرة الحرارية الحضرية (UHI) بسبب موجات الحرارة والتي تعتبر مظهر شائع لتغير المناخ؛ مما يؤدي إلى احتراق حضري مستدام وشديد. ونتيجة لذلك تتعرض الراحة الحرارية الخارجية للخطر بشكل كبير وتتأثر كذلك البيئات الداخلية (Le et al, 2019, P.2).

جدول (١) بيانات الدراسة

درجة الدقة/ م	المستشعر/ الباند	البيانات
30	QA_PIXEL B2 B3 B4 B5 B6 B7 B10	USGS Landsat 9 Collection 2 Tier 1 Raw Scenes
1000	Optical_Depth_055	MCD19A2.006: Terra & Aqua MAIAC Land Aerosol Optical Depth Daily 1km
1000	LST_Day_1km	MOD11A2.006 Terra Land Surface Temperature and Emissivity 8-Day Global 1km
2.1113	CO_column	Sentinel-5P NRTI CO: Near Real-Time Carbon Monoxide
2.1113	tropospheric_HCHO_column	Sentinel-5P NRTI HCHO: Near Real-Time Formaldehyde
2.1113	NO2_column	Sentinel-5P NRTI NO2: Near Real-Time Nitrogen Dioxide
2.1113	O3_column	Sentinel-5P NRTI O3: Near Real-Time Ozone
2.1113	SO2_column	Sentinel-5P NRTI SO2: Near Real-Time Sulfur Dioxide
30	QA_PIXEL B1 B2 B3 B4 B5 B6_VCID_1 B7	USGS Landsat 7 Collection 2 Tier 1 and Real-Time data Raw Scenes
30	pixel_qa B2 B3 B4 B5 B6 B7 B10	USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1
27830	mean_2m_air_temperature	ERA5 Monthly Aggregates - Latest Climate Reanalysis Produced by ECMWF / Copernicus Climate Change Service

حيث تمتص الهياكل مثل المباني والطرق والبنى التحتية الأخرى حرارة الشمس وتعيد بثها أكثر من المناظر الطبيعية مثل الغابات والمسطحات المائية. وتتحول المناطق الحضرية التي تتركز بها هذه الهياكل بشكل كبير مع توفر محدود للمساحات الخضراء إلى جزر ذات درجات حرارة أعلى مقارنة بالمناطق الأخرى ويشار إلى جيوب الحرارة هذه باسم الجزر الحرارية الحضرية (US Environmental Protection Agency). ولتوضيح (UHI) يتم غالباً الاعتماد على صور الأقمار الصناعية لاستخراج مؤشر (LST) وفي هذه الدراسة تم استخراج هذا المؤشر من خلال بيانات (Landsat 7) للأعوام (٢٠٠٠ - ٢٠٠٥ - ٢٠١٠) وبيانات (Landsat 8) للعام (٢٠١٥) وبيانات (Landsat 9) للعام (٢٠٢٢). حيث تتطلب الطريقة العامة لاستخراج (LST) من

مجموعات بيانات لاندسات الخام تحويل قيم النطاقات الحرارية إلى قيم إشعاع؛ والتي تستخدم بعد ذلك لاشتقاق سطوع القمر الصناعي ودرجات الحرارة كما يوضح الشكل (٢) وذلك من خلال الخطوات التالية (Avdan & Jovanovska, 2016, P.2):

حساب الإشعاع الطيفي (TOA) Top of Atmospheric Spectral Radiance

يتم حساب الإشعاع الطيفي (أعلى الغلاف الجوي) Top of Atmospheric Spectral

TOA Radiance (TOA) من خلال المعادلة رقم (١):

$$\text{TOA (L)} = \text{ML} * \text{Q cal} + \text{AL} \quad (1)$$

حيث أن:

ML = عامل القياس المضاعف للنطاق ويتم الحصول عليه من ملف البيانات التعريفية للمرئية (RADIANCE_MULT_BAND_x، حيث x هو رقم النطاق).

Qcal = يتوافق مع النطاق ١٠.

AL = عامل إعادة القياس الإضافي الخاص بالنطاق من البيانات التعريفية (RADIANCE_ADD_BAND_x، حيث x هو رقم النطاق).

تحويل الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة السطوع (BT) Brightness Temperature

يتم تحويل الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة السطوع (BT) Brightness Temperature

من خلال المعادلة رقم (٢):

$$\text{BT} = (\text{K2} / (\ln (\text{K1} / \text{L}) + 1) - 273.15) \quad (2)$$

حيث أن:

K1 = ثابت التحويل الحراري الأول الخاص بالنطاق من البيانات التعريفية (K1_CONSTANT_BAND_x، حيث x هو رقم النطاق الحراري).

K2 = ثابت التحويل الحراري الخاص بالنطاق من البيانات الوصفية (K2_CONSTANT_BAND_x؛ حيث x هو رقم النطاق الحراري).

L = الإشعاع الطيفي TOA

و للحصول على النتائج بالدرجة المئوية يتم ضبط درجة حرارة الإشعاع بإضافة الصفر

المطلق (حوالي -273.15 درجة مئوية) وذلك بتعويض قيم المعادلة (٢) كالتالي:

$$\text{BT} = (1321.0789 / (774.8853 / \text{TOA}) + 1) - 273.15.$$

حساب مؤشر NDVI

حساب (NDVI) مهم لأنه بعد ذلك يجب حساب نسبة الغطاء النباتي proportion of vegetation (P_v) والتي ترتبط بشكل كبير بـ (NDVI)، والانبعائية (ϵ)، المرتبطة بـ (P_v).

حساب نسبة الغطاء النباتي (P_v) proportion of vegetation

يتم حساب نسبة الغطاء النباتي (P_v) proportion of vegetation من خلال المعادلة رقم (٣):

$$P_v = \text{Square} (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (3)$$

حيث أن:

$NDVI_{\max}$ = القيمة العظمى في مؤشر التباين في الغطاء النباتي NDVI

$NDVI_{\min}$ = القيمة الدنيا في مؤشر التباين في الغطاء النباتي NDVI

حساب قيم الانبعائية الطيفية (ϵ) Emissivity

يتم حساب قيم الانبعائية الطيفية (ϵ) Emissivity من خلال المعادلة رقم (٤):

$$\epsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (4)$$

حساب درجة حرارة سطح الأرض (LST) Land Surface Temperature

يتم حساب درجة حرارة سطح الأرض (LST) Land Surface Temperature من خلال المعادلة رقم (٥):

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * (BT / 1.4388) * (\epsilon))) \quad (5)$$

حيث أن:

BT = درجة حرارة السطوع

ϵ = الانبعائية الطيفية

الحصول على درجة حرارة السطح بالدرجة السليزية (Celsius)

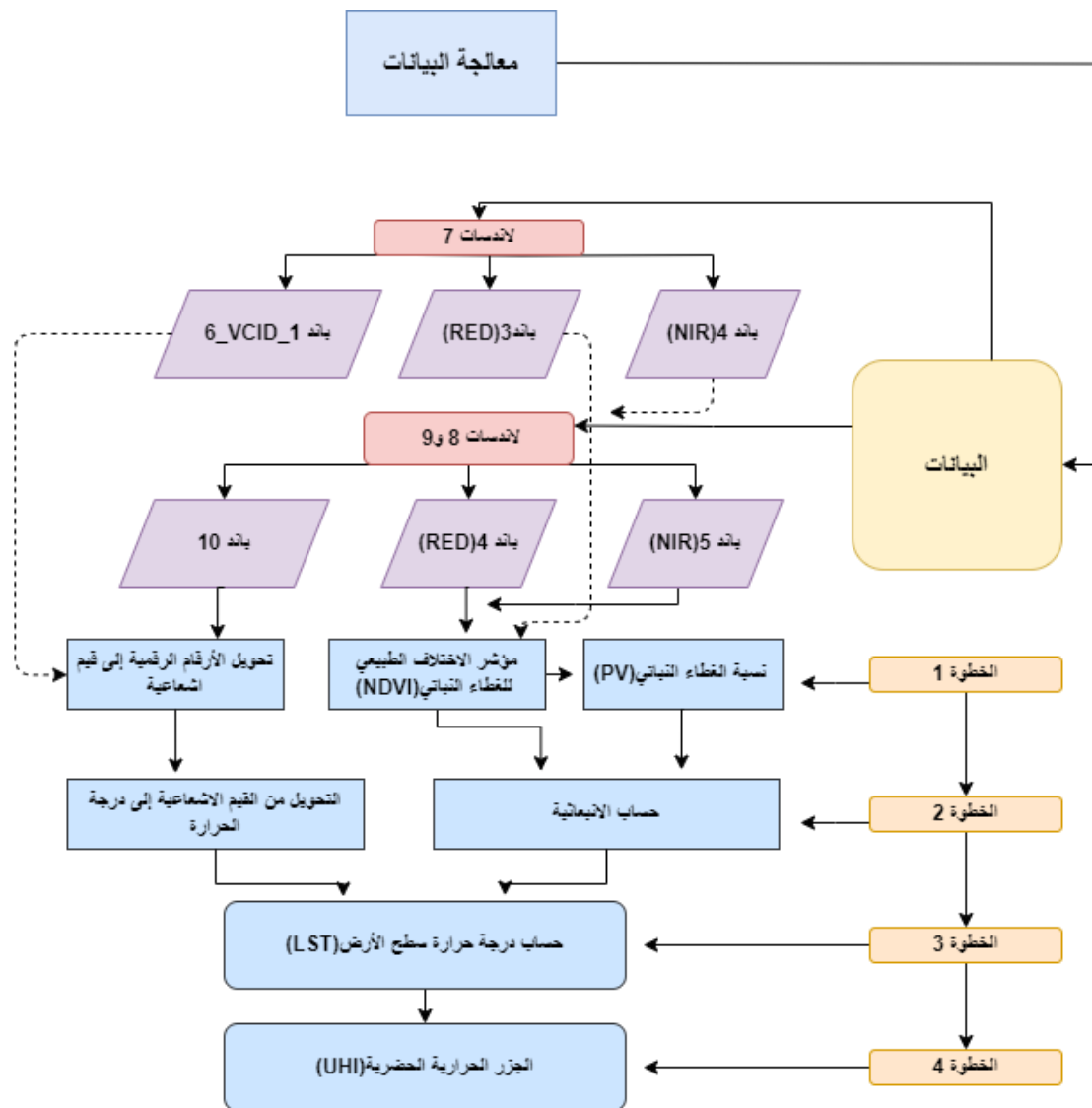
للحصول على درجة حرارة السطح بالدرجة السليزية (Celsius) يتم إضافة الصفر المطلق

(Kelvin) بالمعادلة رقم (٦) كالتالي:

$$(LST - 273.15)$$

ومن خلال (GEE) تم حساب متوسط التركيزات السنوية للغازات الضارة وذلك باستخدام مجموعة بيانات وكالة الفضاء الأوروبية التي تم الحصول عليها من مهمة القمر الصناعي (Copernicus Sentinel-5 Precursor) كبيانات أولية عن محتوى الملوثات المختلفة في الغلاف

الجوي. حيث تتكون مهمة (Sentinel-5) من نظام طيفي عالي الدقة يعمل ضمن نطاق الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء ذات الموجات القصيرة باستخدام عدة نطاقات طيفية (European Space Agency). فلقياس تركيز الأوزون تم الاعتماد على المجموعة (Sentinel-5P NRTI O3)؛ ومن خلال مجموعة بيانات (Sentinel-5P NRTI CO) تم حساب تركيز غاز أول أكسيد الكربون؛ ولحساب تركيز ثاني أكسيد النيتروجين تم الاعتماد على المجموعة (Sentinel-5P NRTI HCHO)؛ ومن خلال مجموعة البيانات (Sentinel-5P NRTI SO2) تم استخراج تركيزات غاز الفورمالديهايد؛ ولحساب تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت تم الاعتماد على مجموعة البيانات (Sentinel-5P NRTI SO2).



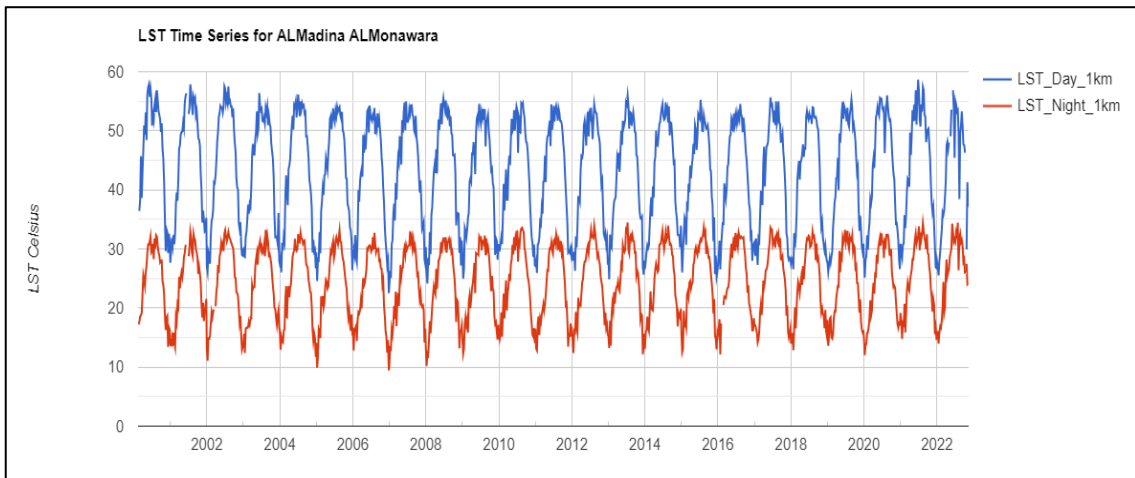
شكل (٢) خطوات استخراج مؤشر درجة حرارة سطح الأرض

٤ - النتائج والمناقشة:

٤-١ التغير في مرونة المناخ الحضري:

٤-١-١ التغير في الجزر الحرارية الحضرية (UHI).

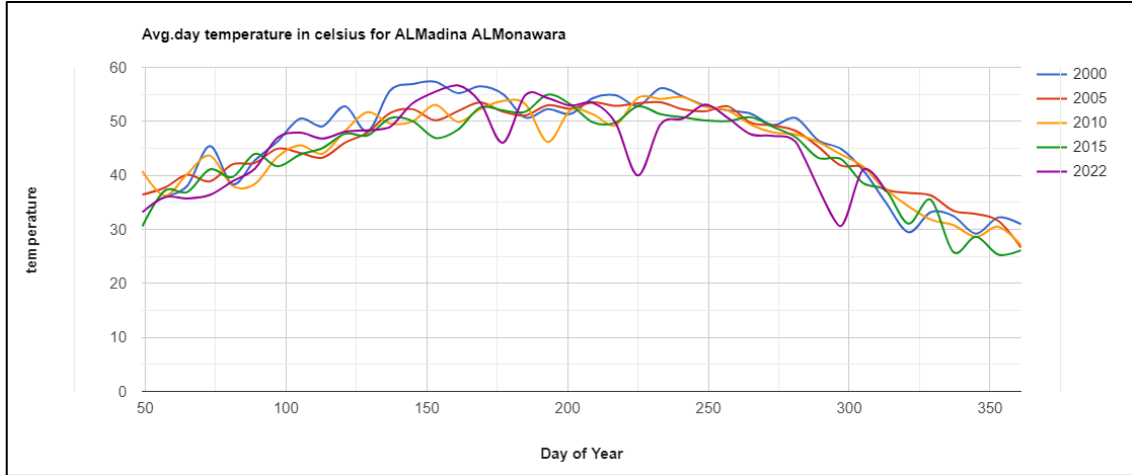
تتبع التغير في توزيع درجات الحرارة يعطي صورة واضحة لصانعي القرار في إدارة واستراتيجية التخطيط الحضري؛ من حيث توزيع الخدمات والبنى التحتية وتحليل الأسباب التي أدت إلى زيادة الارتفاع في منطقة دون غيرها. كما يشير تحليل السلاسل الزمنية لدرجات الحرارة أثناء الليل والنهار الشكل (٣) إلى التغير في درجات الحرارة خلال فترة الدراسة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)، حيث يشير المخطط باللون الأزرق للدرجات أثناء النهار بينما يشير اللون الأحمر للدرجات أثناء الليل. ويُمكن من خلاله إلى جانب الشكلين (٤) و (٥) ملاحظة الارتفاع في متوسط درجات الحرارة مع مرور السنوات حيث سُجلت أقل درجة حرارة أثناء النهار والتي بلغت ٢٢.٥ م° في ديسمبر عام ٢٠٠٦م بينما أعلى درجة حرارة سُجلت في شهر جون عام ٢٠٢١م حيث بلغت ٥٨.٧ م°. وكذلك الحال بالنسبة لدرجات الحرارة أثناء الليل حيث سُجلت أعلى درجة حرارة والتي بلغت ٣٤.٥ م° في أغسطس عام ٢٠٢١م؛ بينما أقل درجة أثناء الليل في ديسمبر عام ٢٠٠٦م والتي بلغت ٩.٤ م°. في دلالة على الارتفاع بمتوسط درجات الحرارة خلال فترة الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra) بواسطة (GEE).

شكل (٣) تحليل السلاسل الزمنية لدرجات الحرارة خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)

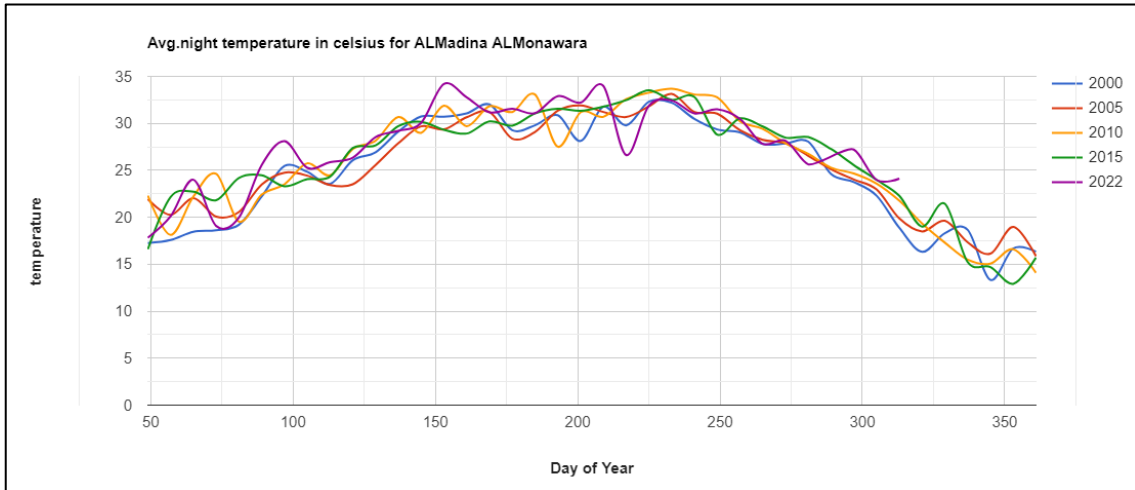
في المدينة المنورة.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra) بواسطة (GEE).

شكل (٤) متوسط درجات الحرارة أثناء النهار بالمدينة المنورة للأعوام

(٢٠٢٢، ٢٠١٥، ٢٠١٠، ٢٠٠٥، ٢٠٠٠).



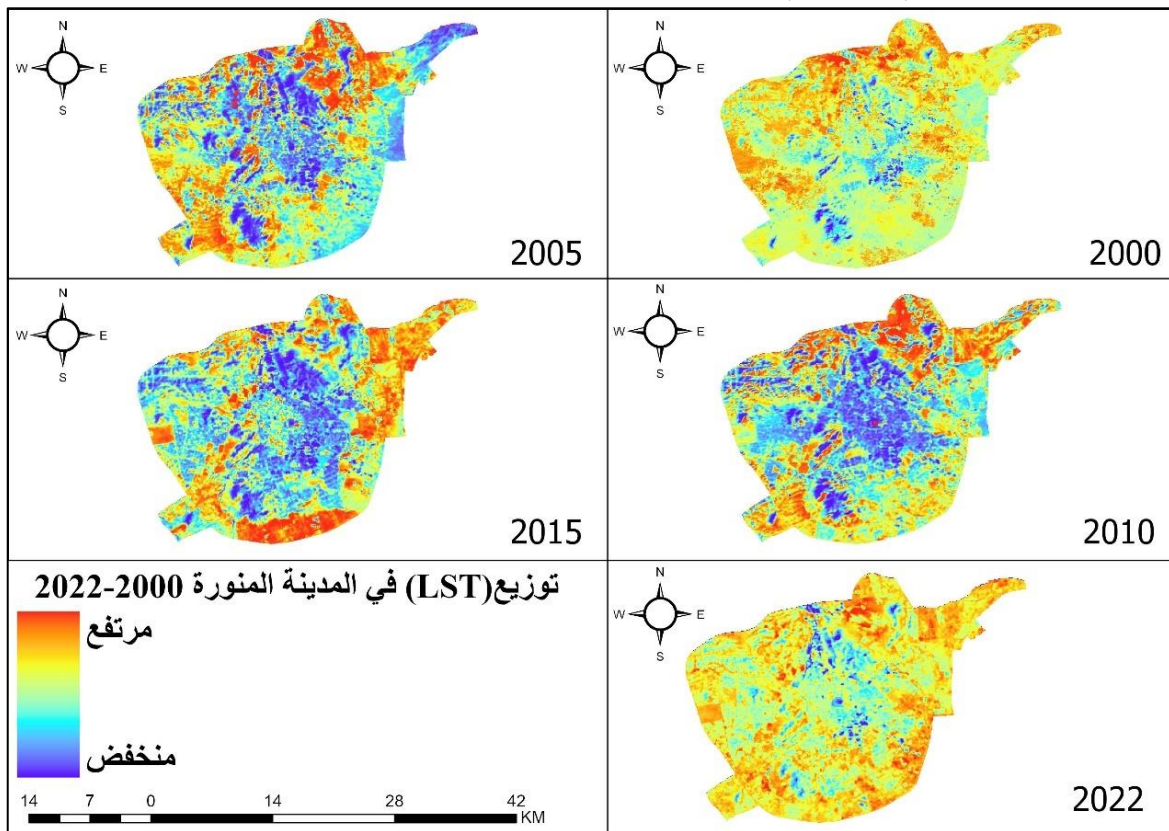
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra) بواسطة (GEE).

شكل (٥) متوسط درجات الحرارة أثناء الليل بالمدينة المنورة للأعوام

(٢٠٢٢، ٢٠١٥، ٢٠١٠، ٢٠٠٥، ٢٠٠٠).

وبالاطلاع على الشكل (٦) الذي يمثل التوزيع المكاني لمتوسط درجات الحرارة في المدينة المنورة خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)؛ يمكن استنتاج توزيع الجزر الحرارية الحضرية وتغيرها مكانياً في منطقة الدراسة. فبعد أن كانت في عام ٢٠٠٠م تتركز في الأطراف الشمالية مع الامتداد بشكل ضئيل نحو الوسط من الاتجاه الشمالي الغربي والأطراف الغربية وبعض الأجزاء الشرقية إلى جانب الأطراف الجنوبية. تذبذبت بالارتفاع والانخفاض إلى أن أصبحت في عام ٢٠٢٢م تتوزع في معظم أطراف منطقة الدراسة؛ مع الامتداد نحو الوسط؛ لاسيما أقصى الشمال والشمال الشرقي والجنوب بشقيه الشرقي والغربي والشمال الشرقي بامتداد متوغل نحو الوسط.

بينما المناطق التي سجلت انخفاض في درجات الحرارة عام ٢٠٠٠م تتركز في منطقة الوسط بالاتجاه نحو الشمال وكذلك في المناطق الجبلية المنتشرة في المدينة المنورة في الغرب والجنوب الغربي. وفي المقابل لوحظ الانخفاض في درجات الحرارة في ٢٠٢٢م في الامتداد من الوسط ناحية الشمال، وبعض المناطق الجبلية، ولكن بشكل أقل من الانخفاض في عام ٢٠٠٠م. ويمكن تفسير الانخفاض بدرجات الحرارة بوسط منطقة الدراسة إلى المباني العالية التي تنتشر في المنطقة المركزية بجوار الحرم النبوي الشريف؛ مما يعني زيادة في الظل الناتج عن تراص المباني وبالتالي التقليل من فرصة نفاذ الاشعاع الشمسي للمباني التي تمتاز بالسعة الحرارية العالية حيث تستغرق وقتاً أطول للتسخين من المناطق العارية التي تتمثل في أطراف المدينة المنورة.



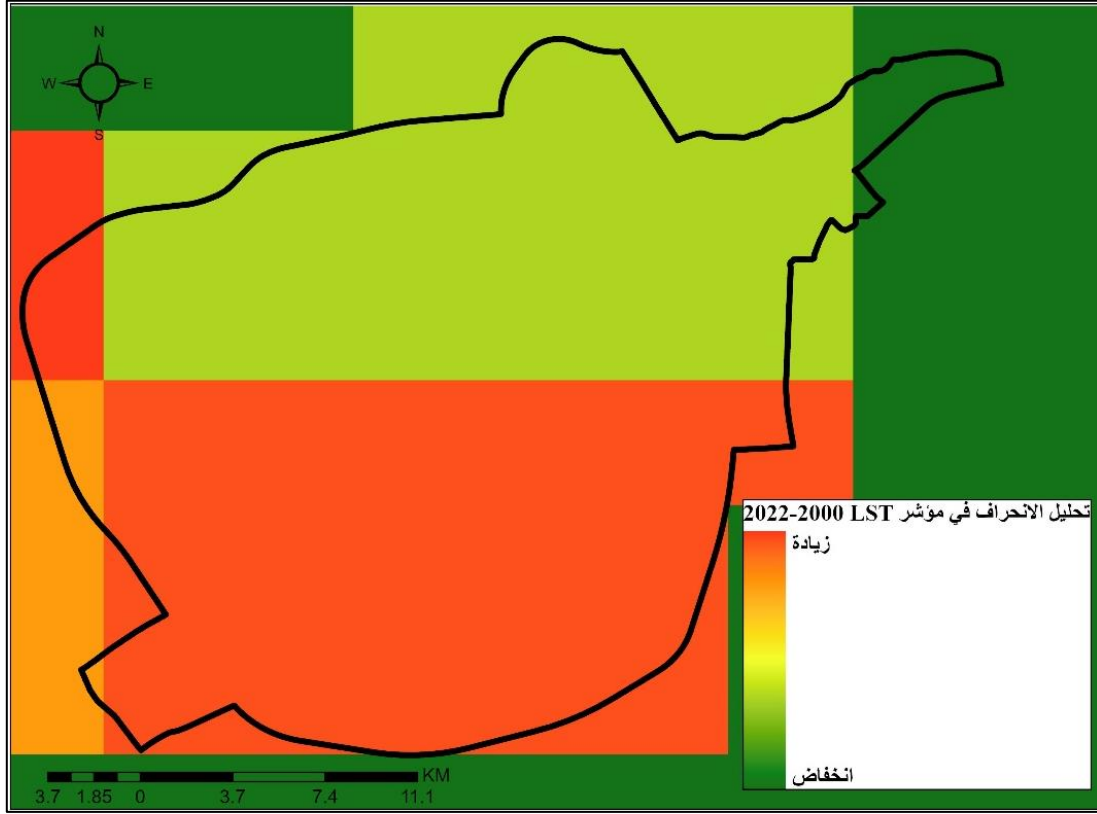
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Landsat7) وذلك لمتوسط الحرارة للأعوام (٢٠١٠، ٢٠٠٥، ٢٠٠٠) و (Landsat8) لمتوسط العام (٢٠١٥) و (Landsat9) لمتوسط العام (٢٠٢٢) بواسطة (GEE).

شكل (٦) توزيع درجات الحرارة بالمدينة المنورة للأعوام

(٢٠٢٢، ٢٠١٥، ٢٠١٠، ٢٠٠٥، ٢٠٠٠).

ويمثل الشكل (٧) تحليل الشذوذ التراكمي لكشف الانحراف في درجات الحرارة، حيث تم الاعتماد على الفترة (٢٠١٠-٢٠٠٠م) كخريطة أساس أو مرجع للتحليل؛ بينما الفترة (٢٠١١-٢٠٢٢م) مثلت الفترة اللاحقة. ويتضح أن المناطق التي باللون الأحمر الغامق تمثل المناطق التي حدث فيها ارتفاع كبير في متوسط درجات الحرارة خلال الفترة اللاحقة مقارنةً بالفترة السابقة، وتتركز

في وسط المدينة المنورة بالامتداد ناحية الجنوب والجنوب الشرقي والجنوب الغربي وأقصى الشمال الغربي. بينما الأجزاء الشمالية والشمالية الشرقية جاءت أقل ارتفاعاً في متوسط درجة الحرارة خلال فترة الدراسة.



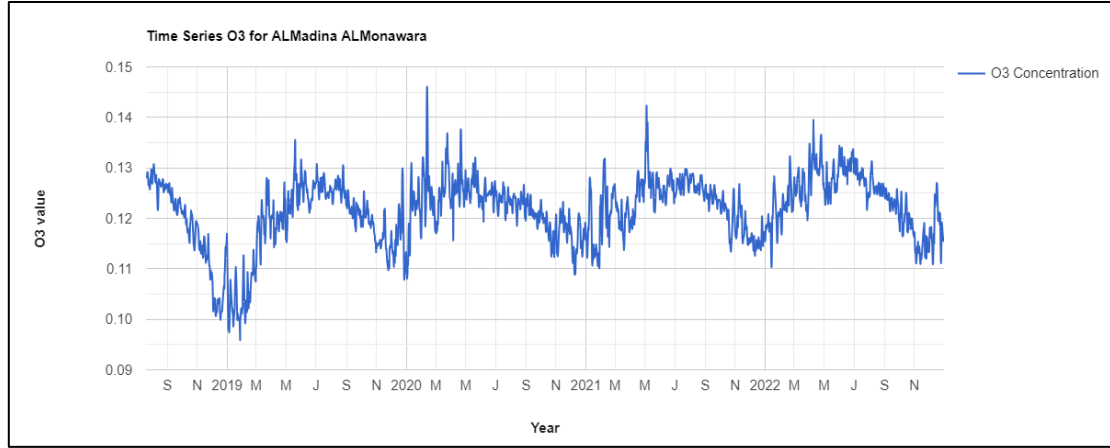
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على (Copernicus Climate Change) بواسطة (GEE).
شكل (٧) تحليل الشذوذ التراكمي لكشف الانحراف في درجات الحرارة
خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.

٤-١-٢ التغير في جودة الهواء

يُمكن تتبع التغير بالملوثات على النحو التالي:

٤-١-٢-١ غاز الأوزون (O3)

غاز الأوزون (O3) الموجود في طبقات الجو السفلى هو أحد المكونات الأساسية للضباب الضوئي الكيميائي، ويتشكل عن طريق التفاعل مع الغازات في وجود ضوء الشمس (منظمة الصحة العالمية، ٢٠٢٢) بملاحظة تحليل السلاسل الزمنية لتركز غاز (O3) في الشكل (٨) يتبين أن أعلى نسبة تركيز لغاز الأوزون في فبراير ٢٠٢٠م حيث بلغت ٠.١٤ مول/م^٢ في حين أن أقل نسبة تركيز كانت في يناير ٢٠١٩م إذ بلغت ٠.٠٩ مول/م^٢.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

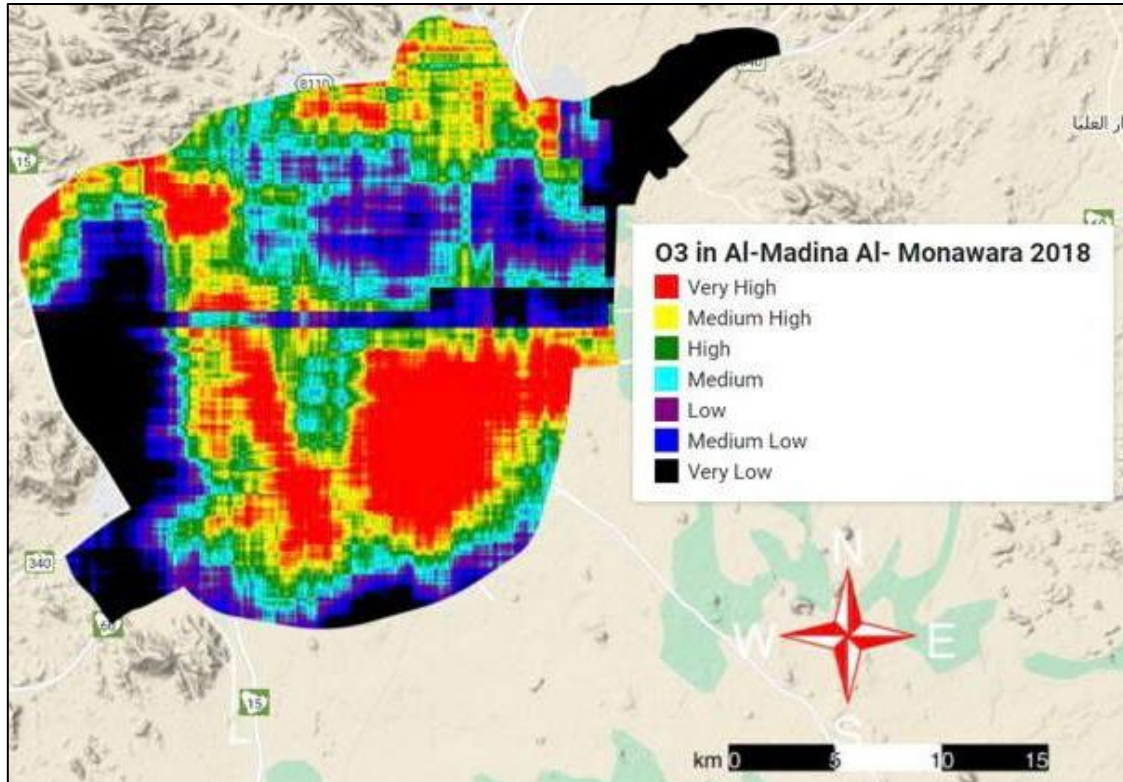
شكل (٨) تحليل السلاسل الزمنية لتركز متوسط غاز الأوزون

خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.

ويبين الشكل (٩) التوزيع المكاني لتركز (O3) عام ٢٠١٨م؛ حيث جاء أعلى تركيز في الجنوب الشرقي بالامتداد نحو الشرق والوسط وكذلك الجنوب الغربي بمحاذاة الوسط بالامتداد نحو أقصى الشمال الغربي وبعض الأطراف الشمالية. بينما في عام ٢٠٢٢م الشكل (١٠) يُلاحظ حدوث العكس حيث أصبحت المناطق المنخفضة بتركيز (O3) عام ٢٠١٨م مرتفعة به في عام ٢٠٢٢م، حيث جاء أعلى تركيز في الجهة الغربية والشمالية الغربية بالامتداد نحو الوسط وكذلك في الجزء الشمالي الشرقي.

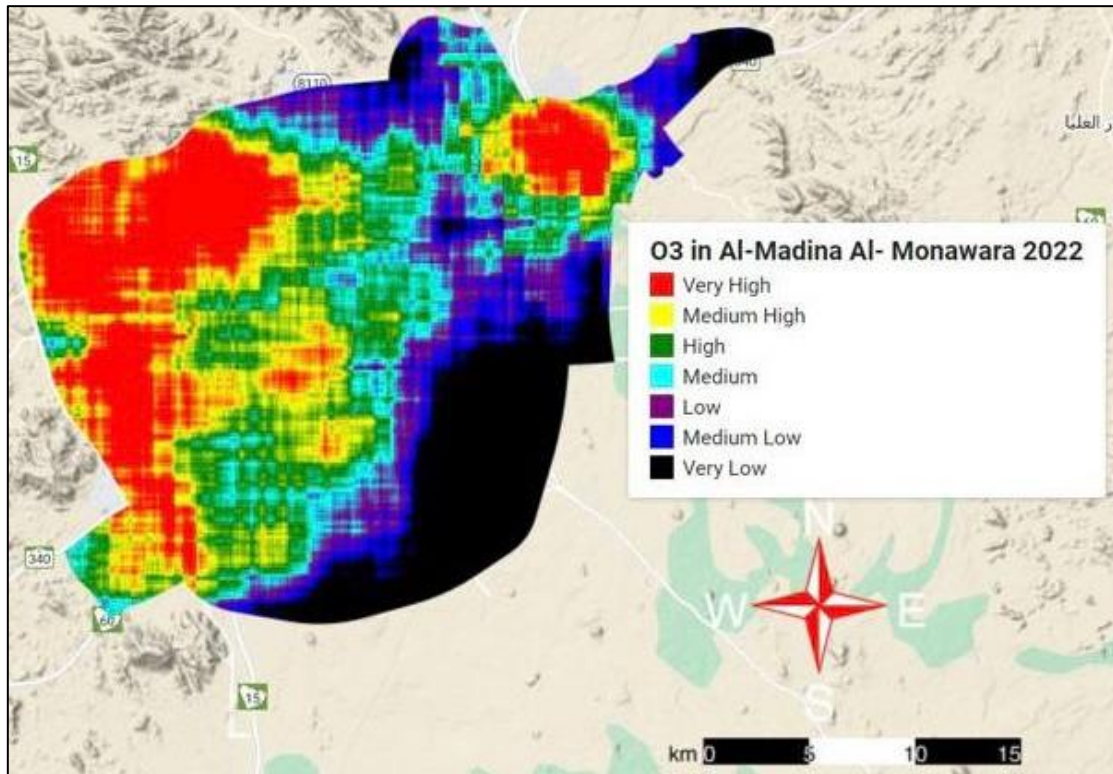
٤-٢-١-٢ التغيير في غاز أول أكسيد الكربون (CO)

أول أكسيد الكربون (CO) غاز سام عديم اللون والرائحة والطعم ينتج عن الاحتراق غير الكامل للوقود الكربوني مثل الخشب والبنزين والفحم والغاز الطبيعي والكيروسين (منظمة الصحة العالمية، ٢٠٢٢). فمن خلال تحليل السلاسل الزمنية لتركز غاز (CO) بالشكل (١١) يتضح أن أعلى تركيز كان في شهر فبراير عام ٢٠١٩م حيث بلغ ٠.٠٥٥ مول/م^٢؛ في حين أن أقل نسبة تركيز كانت في شهر نوفمبر ٢٠٢٢م حيث بلغ ٠.٠٠٢ مول/م^٢.



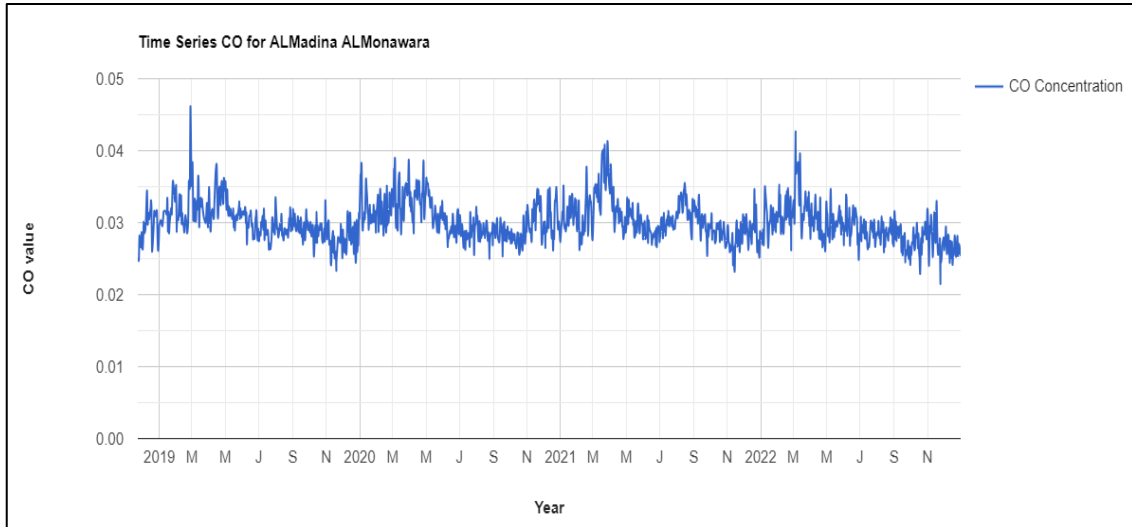
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (٩) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز الأوزون في المدينة المنورة عام (٢٠١٨م).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (١٠) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز الأوزون في المدينة المنورة عام (٢٠٢٢م).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرنيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

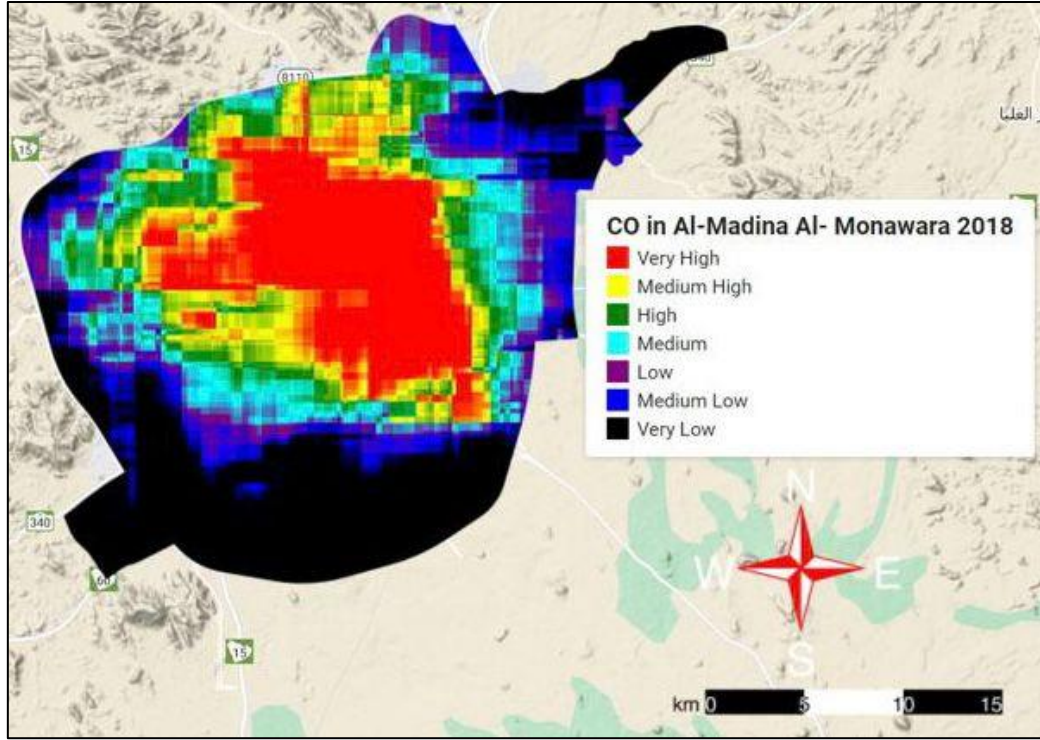
شكل (١١) تحليل السلاسل الزمنية لتركز متوسط غاز أول أكسيد الكربون

خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.

ومن خلال الشكل (١٢) يتضح التوزيع المكاني لتركز (CO) عام ٢٠١٨م حيث استأثرت منطقة وسط المدينة بأعلى تركيز مع الامتداد نحو الأطراف الشمالية والشمالية الغربية والجنوبية الشرقية. وفي العام ٢٠٢٢م الشكل (١٣) استمر تركيز (CO) في المنطقة الوسطى للمدينة المنورة مع الامتداد نحو الغرب وأقصى الشمال الغربي إلى جانب الجهة الشرقية، ولكن بصورة أقل من بقية الجهات.

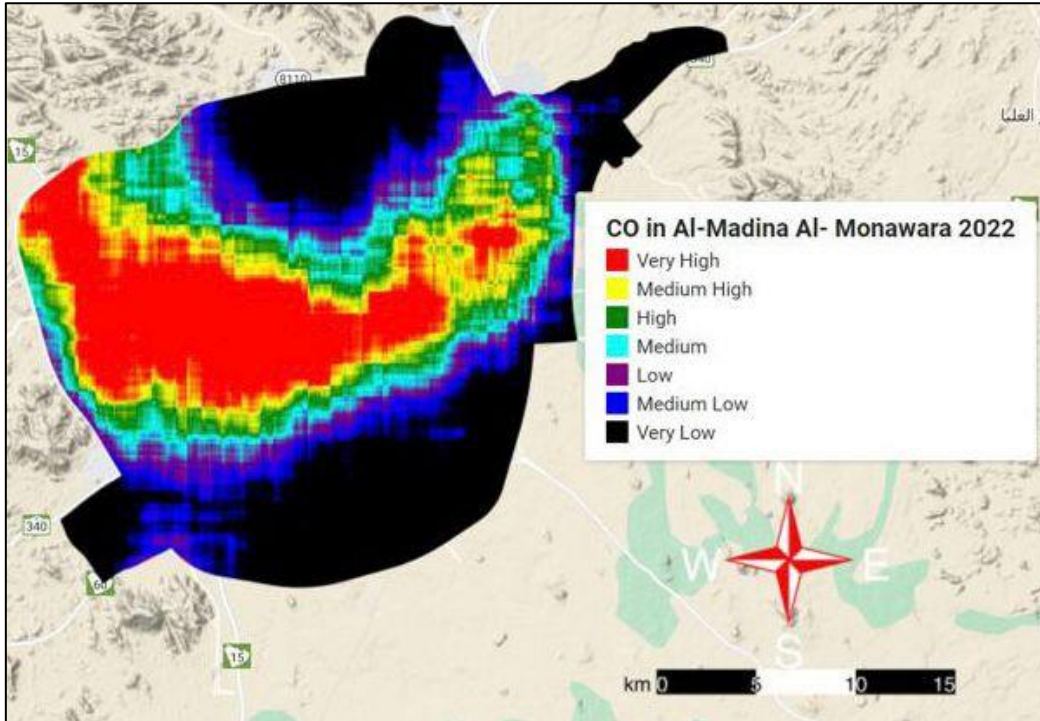
٤-١-٢-٣ التغيير في غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO₂)

ثاني أكسيد النيتروجين (NO₂) غاز ينبعث عادة من احتراق الوقود في قطاعي النقل والصناعة (منظمة الصحة العالمية، ٢٠٢٢). ويتتبع تحليل السلاسل الزمنية لتركز (NO₂) في الشكل (١٤) يتضح أن أعلى تركيز سُجل في ديسمبر ٢٠١٩م حيث بلغ ٠.٠٠٠٠٣ مول/م^٢؛ وبالمقابل أقل تركيز كان في ديسمبر عام ٢٠٢١م حيث بلغ ٠.٠٠٠٠٠٥ مول/م^٢.



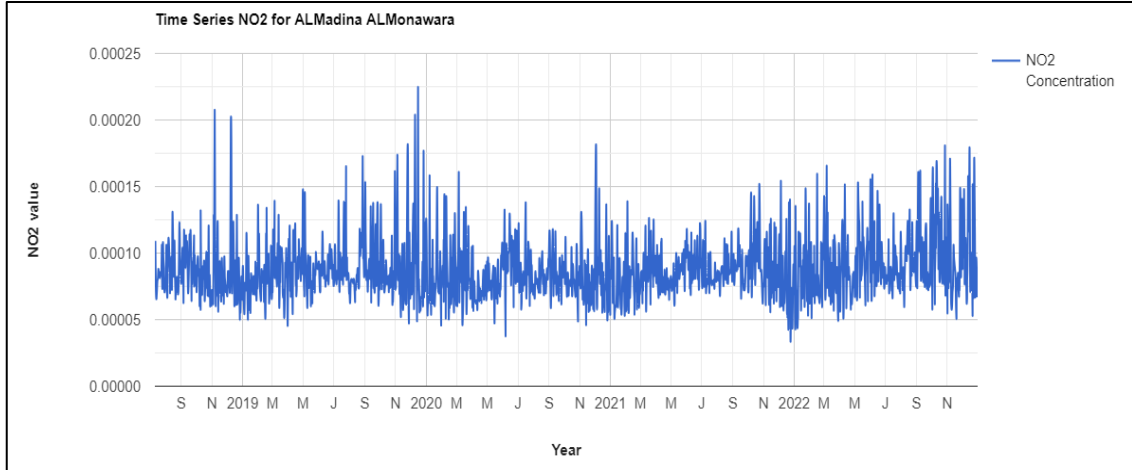
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (١٢) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز أول أكسيد الكربون في المدينة المنورة عام (٢٠١٨م).



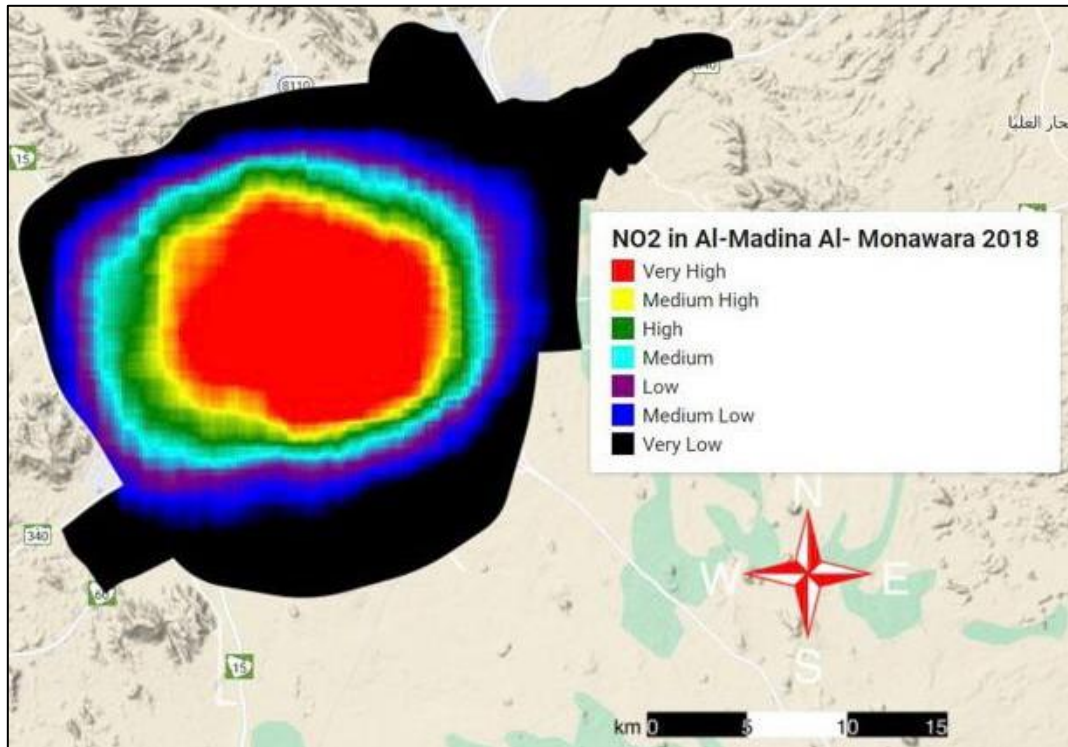
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (١٣) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز أول أكسيد الكربون في المدينة المنورة عام (٢٠٢٢م).

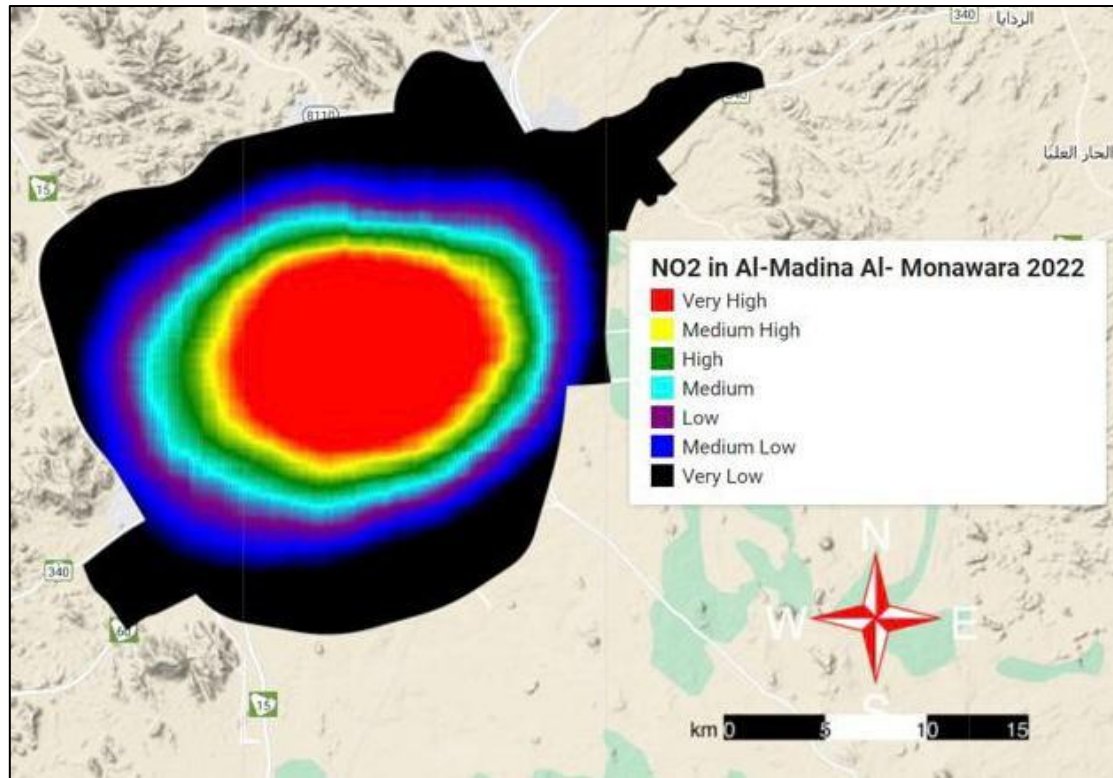


المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).
شكل (١٤) تحليل السلاسل الزمنية لتركز متوسط غاز ثاني أكسيد النيتروجين
خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.

ويتبين من الشكل (١٥) التوزيع المكاني لتركز (NO₂) عام ٢٠١٨م حيث تدرج في الانتشار من وسط المدينة نحو الأطراف إذ سجلت منطقة الوسط أعلى نسبة تركيز؛ والذي يقل بالاتجاه نحو الأطراف. وكذلك الحال في عام ٢٠٢٢م الشكل (١٦)؛ ولكن في ٢٠١٨م كان التوغل نحو الشمال والجنوب وفي العام ٢٠٢٢م نحو الشرق والجنوب بشكل أكبر من بقية الجهات.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).
شكل (١٥) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز ثاني أكسيد النيتروجين
في المدينة المنورة عام (٢٠١٨م).

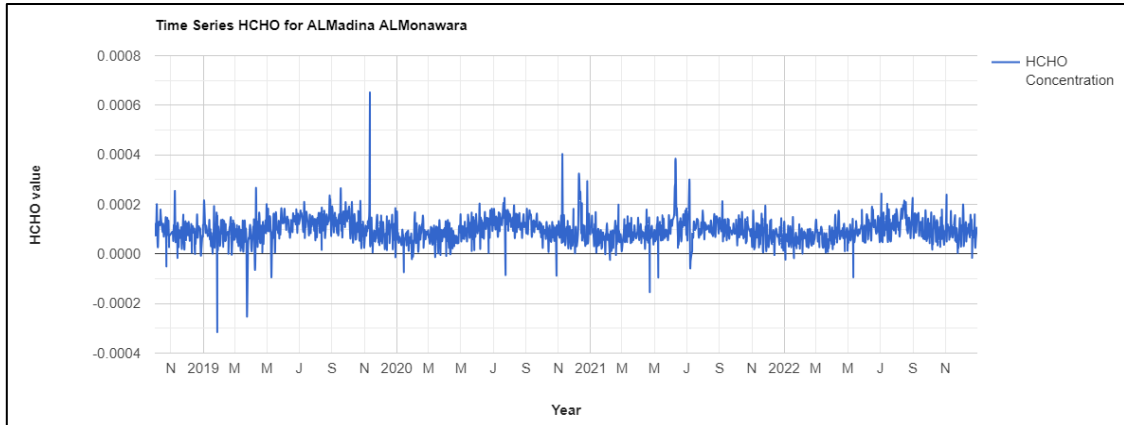


المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرنيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

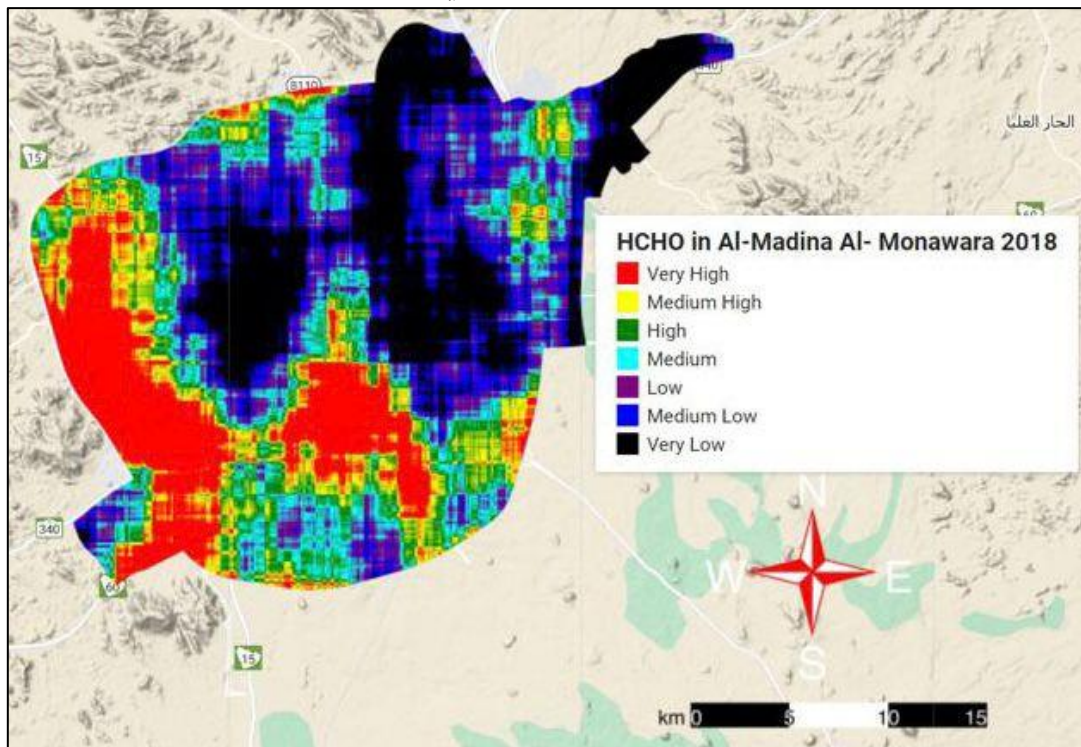
شكل (١٦) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز ثاني أكسيد النيتروجين في المدينة المنورة عام (٢٠٢٢م).

٤-١-٢-٤ التغيير في غاز الفورمالديهايد (HCHO)

الفورمالديهايد (HCHO) هو غاز عديم اللون ذو رائحة نفاذة وهو أحد المركبات العضوية المتطايرة الأكثر شيوعاً، ينبعث من مواد البناء بالإضافة إلى منتجات العناية المنزلية والشخصية؛ إلى جانب عمليات الاحتراق (منظمة الصحة العالمية، ٢٠٢٢). وبالإطلاع على تحليل السلاسل الزمنية لغاز (HCHO) في الشكل (١٧) يتضح أن أعلى تركيز بلغ ٠.٠٠٠١ مول/م^٣ وذلك في نوفمبر ٢٠١٩م؛ في حين أن أقل تركيز بلغ - ٠.٠٠٠٣ وذلك في يناير عام ٢٠١٩م. ويُلاحظ تركيز غاز (HCHO) في الجهتين الغربية والجنوبية بالامتداد نحو الوسط وبعض الأجزاء الجنوبية الشرقية والأطراف الشمالية وذلك في عام ٢٠١٨م الشكل (١٨)؛ بينما في عام ٢٠٢٢م الشكل (١٩) تركيز (HCHO) في الجزء الشمالي والشمالي الغربي بالإضافة إلى الجنوب الغربي امتداداً نحو الوسط وكذلك الأطراف الشمالية بالاتجاه نحو وسط المدينة.



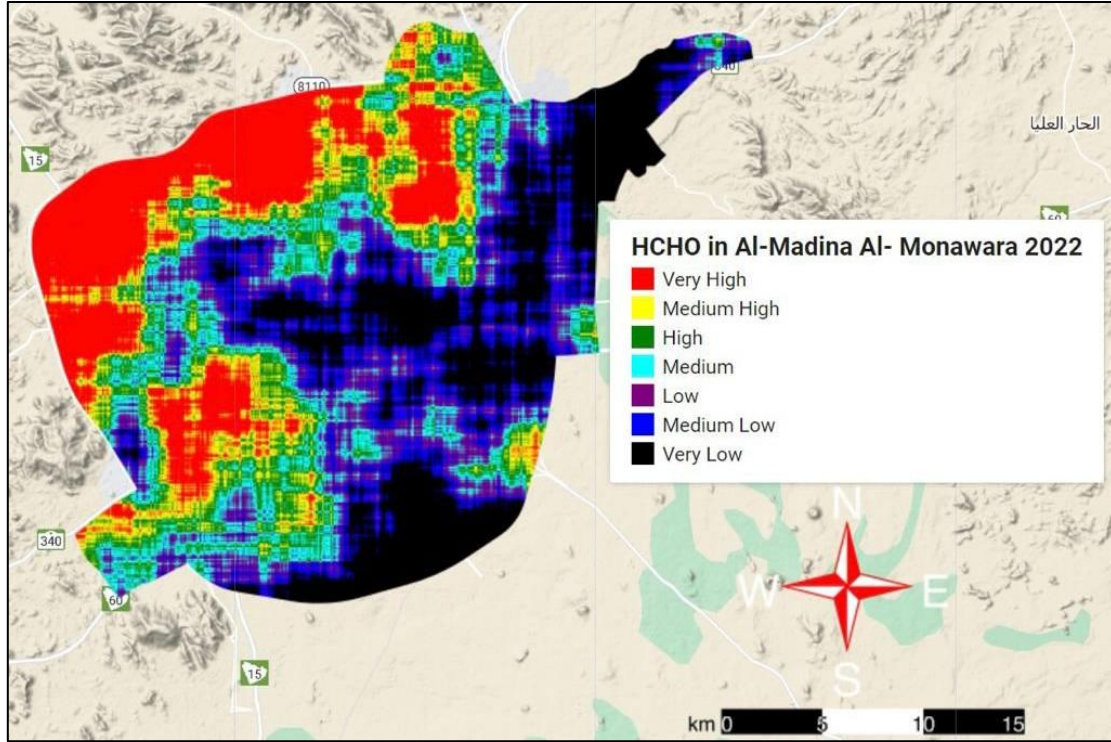
المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرنيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).
شكل (١٧) تحليل السلاسل الزمنية لتركز متوسط غاز الفورمالديهايد خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرنيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).
شكل (١٨) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز الفورمالديهايد في المدينة المنورة عام (٢٠١٨م).

٤-١-٢-٥ التغيير في غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO₂)

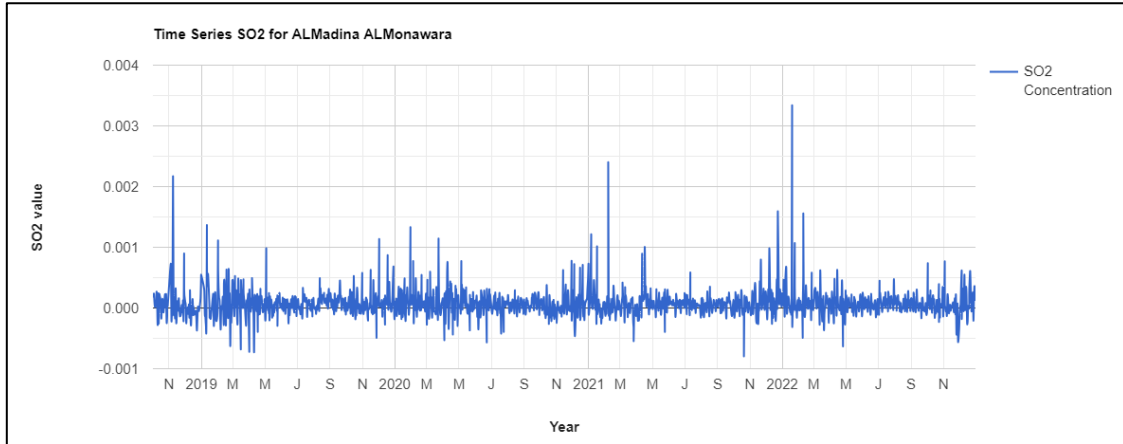
ثاني أكسيد الكبريت (SO₂) غاز عديم اللون ذو رائحة نفاذة ينتج عن حرق أنواع الوقود الأحفوري (الفحم والنفط) وانصهار الخامات المعدنية المحتوية على الكبريت (منظمة الصحة العالمية، ٢٠٢٢). وجاء أعلى تركيز لغاز (SO₂) خلال شهر يناير من العام ٢٠٢٢م حيث بلغ ٠.٠٠٠٣ مول/م^٣؛ بينما أقل تركيز بلغ ٠.٠٠٠١ مول/م^٣ وذلك في أكتوبر ٢٠٢١م، كما يتبين من الشكل (٢٠).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرنيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (١٩) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز الفورمالديهايد

في المدينة المنورة عام (٢٠٢٢م).

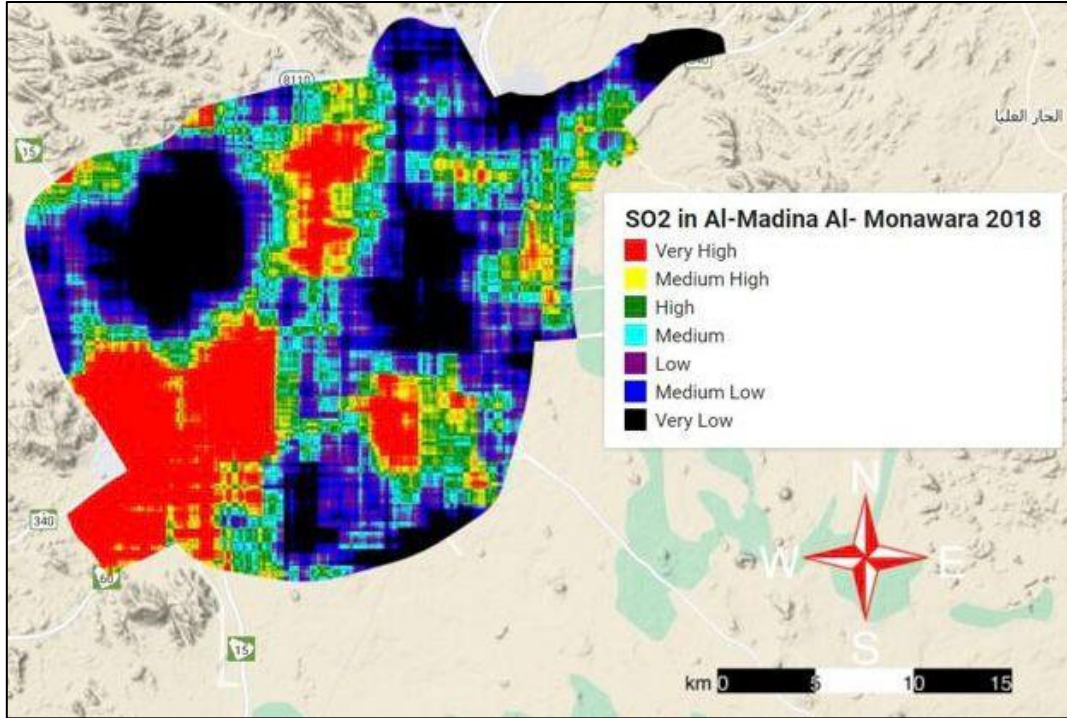


المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرنيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (٢٠) تحليل السلاسل الزمنية لتركز متوسط غاز ثاني أكسيد الكبريت

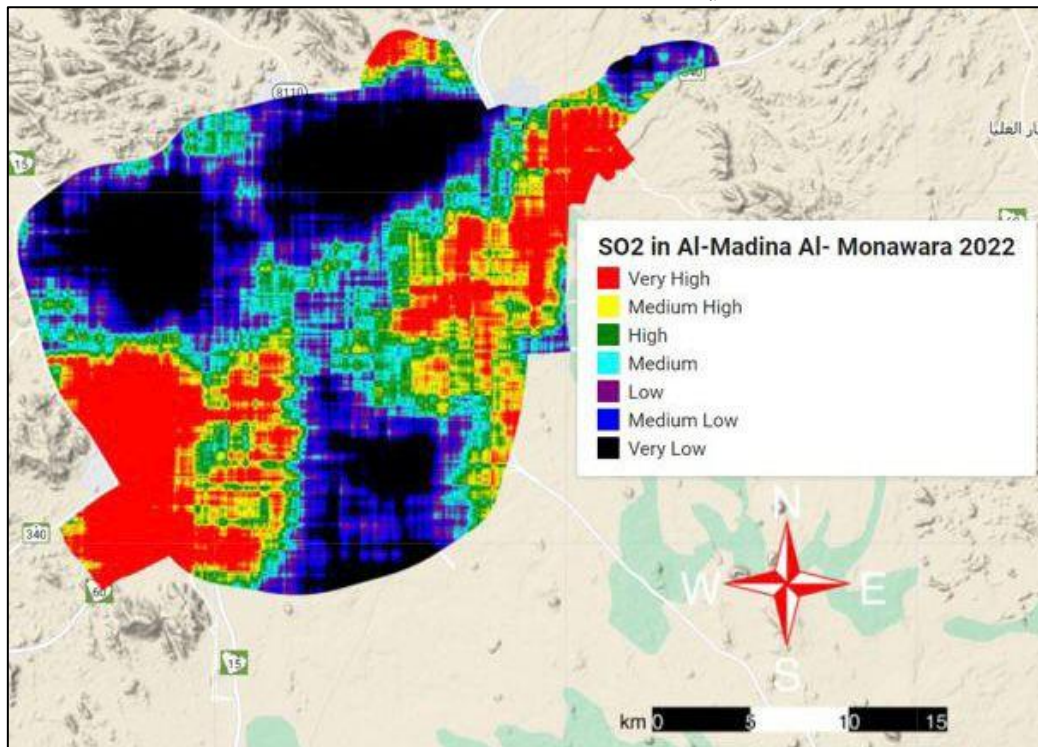
خلال الفترة (٢٠١٨-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.

وفي عام ٢٠١٨م الشكل (٢١) تركيز غاز (SO₂) في الجهة الغربية والجنوبية الغربية مع الامتداد نحو الشمال وبعض الأجزاء الجنوبية والشرقية؛ وكذلك الحال في عام ٢٠٢٢م الشكل (٢٢) ولكن الاختلاف كان في الجهة الشرقية حيث تركيز انبعاث هذا الغاز في الشرق امتداداً إلى أقصى الشمال الشرقي وبعض الأطراف الشمالية.



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (٢١) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز ثاني أكسيد الكبريت في المدينة المنورة عام (٢٠١٨م).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Sentinel-5P) بواسطة (GEE).

شكل (٢٢) التوزيع المكاني لتركز متوسط غاز ثاني أكسيد الكبريت في المدينة المنورة عام (٢٠٢٢م).

٤-١-٢-٦ التغيير في العمق البصري للهباء الجوي (AOD)

العمق البصري للهباء الجوي (AOD) Aerosol Optical Depth من ضمن المؤشرات التي تم الاعتماد عليها لقياس مرونة المناخ الحضري في منطقة الدراسة؛ و يتم قياس كمية حمولة الهباء الجوي في الغلاف الجوي عن طريق استرجاع الأقمار الصناعية لـ (AOD)، والذي يصف انقراض الأشعة الشمسية بواسطة جزيئات الهباء الجوي عند المرور عبر الغلاف الجوي (Hands Schuh et al, 2022, P.2). فالهباء الجوي عبارة عن جسيمات متعددة المراحل تحتوي على مكونات صلبة وسائلة في الغلاف الجوي، ويمكن أن تؤدي العمليات الطبيعية أو الأنشطة البشرية إلى تكوين هذه الملوثات، كما يمكن للهباء الجوي على الرغم من صغر حجمه أن يغير بشكل كبير بيئة الأرض وحياة الإنسان (Sharma et al, 2022, P. 2). فهو تعليق الجسيمات الصلبة أو القطرات السائلة في الهواء؛ بنصف قطر أو أقل من عدة قطرات عشرات الميكرومتر؛ ومن الأمثلة على ذلك الدخان والضباب المحيطي والضباب الدخاني وذرات الغبار الذي تحمله الرياح؛ والضباب الحضري؛ وأملاح البحر؛ والرماد البركاني؛ والتلوث الناتج عن المصانع. وهذه الجسيمات مهمة لدراساتها لأنها تؤثر على المناخ والطقس والصحة والرفاهية للإنسان (Zhu, -Nasa, 2011, P. 1194). فأسوأ ملوث يؤثر على المدن الكبرى هو الجسيمات العالقة أو الهباء الجوي. وهذا أمر مثير للقلق بشكل خاص (Papachristopoulou et al, 2022, P.4). فالهباء الجوي يؤدي إلى زيادة معدل الوفيات والأمراض (Banerjee et al, 2017, P. 6400). حتى أن الزيادة في الهباء الجوي قد تؤدي إلى العديد من الحوادث على الطريق؛ لأنها تقلل أيضاً من مستويات الرؤية (Han et al, 2012, P. 215). وفي المناطق الحضرية كثيراً ما ترتبط بارامترات نوعية الهواء ارتباطاً وثيقاً بالتحضر (Ku, 2020, P. 4). ويتم اشتقاق بيانات (AOD) من صور الأقمار الصناعية (MODIS) والتي تم استخدامها على نطاق واسع لتقييم جودة الهواء بالاعتماد على مجموعة البيانات (MCD19A2.006: Terra & Aqua MAIAC) بدقة ١ كم، وهي عبارة عن منتج بيانات شبكي من المستوى ٢ مدمج من (MODIS Aqua and Terra) متعدد الزوايا لتصحيح الغلاف الجوي (MAIAC) والعمق البصري للهباء الجوي (AOD) وذلك في العمق البصري للهباء الجوي عند ٠.٥٥ ميكرومتر.

وبالنظر إلى التأثير الواسع النطاق للهباء الجوي وبقية الملوثات الأخرى فمن الضروري مراقبة تركيز الهباء الجوي المكاني والزمني؛ حيث يقيس العمق البصري للهباء الجوي (AOD) درجة التلوث في الهواء على مستوى واسع. حيث ارتفع متوسط (AOD) خلال فترة الدراسة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م) بنسبة ٢١.٣٪ كما يشير الجدول (٢) ويتضح أن أقل انخفاض في المتوسط كان خلال

الفترة (٢٠٠٥-٢٠٠٠م) بنسبة -٥.٨٪؛ في حين أعلى ارتفاع كان خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠١٠م) بنسبة ١٦.٩٪.

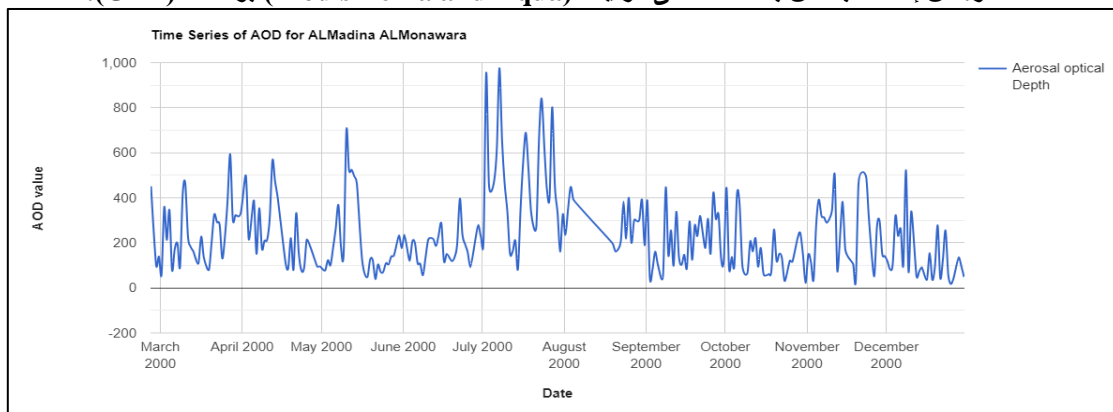
وبتحليل السلاسل الزمنية لمتوسط (AOD) عام ٢٠٠٠م في الشكل (٢٣) يتضح أن أعلى تركيز بلغ ٩٧٥.٤ ميكرومتر وذلك شهر جولاي؛ في حين أن أقل تركيز كان في شهر اكتوبر حيث بلغ ٢١.٩ ميكرومتر. وفي المقابل ومن خلال تحليل السلاسل الزمنية لتركيز متوسط (AOD) عام ٢٠٢٢م والذي يمثله الشكل (٢٤) بلغ أعلى تركيز ١٠٨٦.٧ ميكرومتر في شهر اغسطس؛ في حين أقل تركيز كان في شهر ديسمبر حيث بلغ ١٥ ميكرومتر^(١).

ويمثل الشكل (٢٥) التوزيع المكاني لـ (AOD) خلال فترات الدراسة؛ فبعد أن كان تركيز النسبة الأعلى من الهباء الجوي في الأجزاء الشمالية الشرقية والجنوبية والجهة الشرقية بالامتداد قليلاً نحو وسط المدينة وبعض الأجزاء من الجهة الغربية والجنوبية عام ٢٠٠٠م كما يبين الشكل (أ). أصبحت الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية بالامتداد نحو وسط المدينة حتى الجهة الغربية والجنوبية الغربية وذلك خلال العام ٢٠٢٢م والمُتمثل في الشكل (هـ).

جدول (٢) نسبة التغير في الهباء الجوي خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)

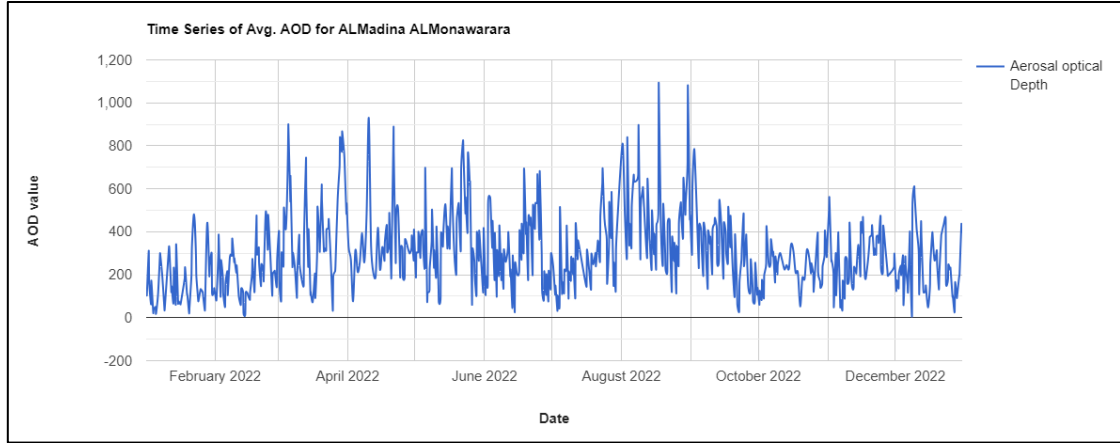
التغير بين الفترات (%)	
التغير	الفترة
٥.٨-	٢٠٠٥-٢٠٠٠
١٦.٩	٢٠١٠-٢٠٠٥
١٤.٢	٢٠١٥-٢٠١٠
٣.٥-	٢٠٢٢-٢٠١٥
٢١.٣	٢٠٢٢-٢٠٠٠

المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).

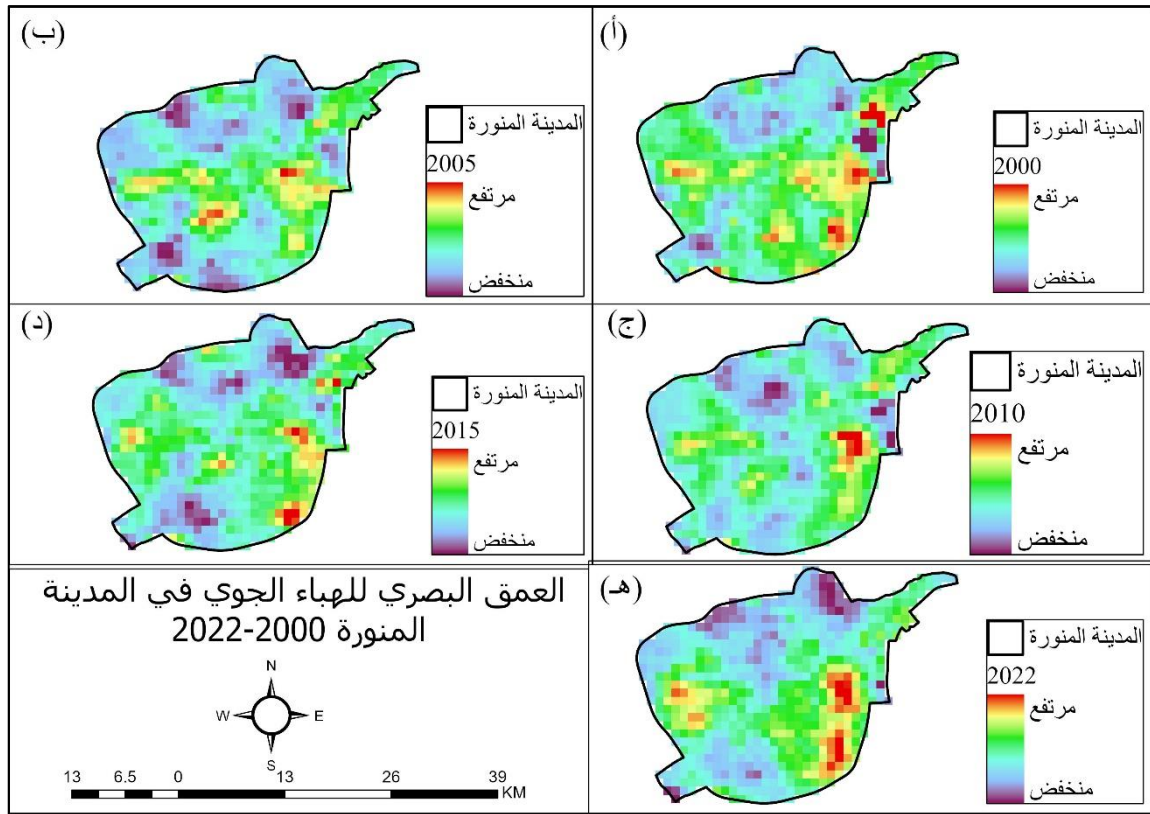


المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).
شكل (٢٣) تحليل السلاسل الزمنية لمتوسط العمق البصري للهباء الجوي في المدينة المنورة عام (٢٠٠٠م).

(١) للاطلاع على تحليل السلاسل الزمنية لمتوسط (AOD) للأعوام (٢٠١٥، ٢٠١٠، ٢٠٠٥) من خلال الملاحق (١)، (٢)، (٣).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).
شكل (٢٤) تحليل السلاسل الزمنية لمتوسط العمق البصري للهباء الجوي في المدينة المنورة عام (٢٠٢٢م).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).
شكل (٢٥) التوزيع المكاني للعمق البصري للهباء الجوي خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م) في المدينة المنورة.

الخاتمة

هدفت هذه الدراسة إلى تتبع ديناميكيات مرونة المناخ الحضري في المدينة المنورة من خلال تحليل التغيرات المكانية والزمانية في الجزر الحرارية الحضرية (UHI) ومؤشرات جودة الهواء، وذلك بالاعتماد على تقنيات التحليل المكاني والبيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد، وتحليل السلاسل الزمنية باستخراج المتوسطات لهذه المؤشرات خلال الفترة (٢٠١٨/٢٠٠٠ - ٢٠٢٢). ومن أبرز نتائجها:

النتائج:

- ١- ارتفعت درجات الحرارة خلال فترة الدراسة حيث سُجلت أقل درجة حرارة أثناء النهار والتي بلغت ٢٢.٥ م° في ديسمبر عام ٢٠٠٦م بينما أعلى درجة حرارة سُجلت في شهر جون عام ٢٠٢١م حيث بلغت ٥٨.٧ م°.
- ٢- ارتفعت درجات الحرارة أثناء حيث سُجلت أعلى درجة حرارة والتي بلغت ٣٤.٥ م° في أغسطس عام ٢٠٢١م؛ بينما أقل درجة حرارة أثناء الليل في ديسمبر عام ٢٠٠٦م والتي بلغت ٩.٤ م°.
- ٣- جاءت أعلى نسبة تركيز لغاز الأوزون في فبراير ٢٠٢٠م حيث بلغت ٠.١٤ مول/ م^٢؛ في حين أن أقل نسبة تركيز كانت في يناير ٢٠١٩م إذ بلغت ٠.٠٩ مول/ م^٢.
- ٤- بالنسبة لغاز أول أكسيد الكربون فإن أعلى تركيز كان في شهر فبراير عام ٢٠١٩م حيث بلغ ٠.٠٥ مول/ م^٢؛ في حين أن أقل نسبة تركيز كانت في شهر نوفمبر ٢٠٢٢م حيث بلغ ٠.٠٢ مول/ م^٢.
- ٥- سُجل أعلى تركيز لغاز ثاني أكسيد النيتروجين في ديسمبر ٢٠١٩م حيث بلغ ٠.٠٠٠٣ مول/ م^٢؛ وبالمقابل أقل تركيز كان في ديسمبر عام ٢٠٢١م حيث بلغ ٠.٠٠٠٠٥ مول/ م^٢.
- ٦- أعلى تركيز لغاز الفورمالديهايد بلغ ٠.٠٠٠١ مول/ م^٢ وذلك في نوفمبر ٢٠١٩م؛ في حين أن أقل تركيز بلغ - ٠.٠٠٠٣ وذلك في يناير عام ٢٠١٩م.
- ٧- جاء أعلى تركيز لغاز ثاني أكسيد الكبريت خلال شهر يناير من العام ٢٠٢٢م حيث بلغ ٠.٠٠٠٣ مول/ م^٢؛ بينما أقل تركيز بلغ - ٠.٠٠٠١ مول/ م^٢ وذلك في أكتوبر ٢٠٢١م.
- ٨- ارتفع متوسط العمق البصري للهباء الجوي بنسبة ٢١.٣٪.

التوصيات:

بناءً على النتائج توصي الدراسة بما يلي:

- ١- إدارة الحرارة والتغيرات المناخية من خلال تطوير استراتيجيات للتكيف مع ارتفاع درجات الحرارة في المنطقة، مثل توفير مساحات خضراء إضافية وتحسين تصميمات المباني لتقليل استهلاك الطاقة. ويمكن أيضاً النظر في تطبيق تقنيات تبريد المدن الذكية واستخدام مواد بناء ذات تأثير بيئي منخفض لتقليل ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية.
- ٢- الجودة الهوائية وصحة البيئة حيث ينبغي أخذ نتائج ارتفاع تركيز غازات الأوزون وثاني أكسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون بعين الاعتبار عند وضع سياسات لتحسين جودة الهواء في المنطقة.
- ٣- التخطيط الحضري المستدام من خلال الحرص على تكامل نتائج الدراسة في العمليات التخطيطية الحضرية، بما في ذلك تخطيط البنية التحتية الخضراء وتطوير الأنظمة الحضرية المستدامة.
- ٤- يجب على السلطات المحلية والجهات ذات الصلة العمل معاً لتبني سياسات تشجع على استخدام وسائل النقل العامة وتشجيع الابتكار في تصميم المباني والمرافق لتحسين جودة الهواء ومرونة المناخ.

المراجع

أولاً: العربية:

- أمانة المدينة المنورة. (٢٠١٧). التقرير الأول: تقييم المخطط الإرشادي للمدينة المنورة المُعد ١٤١٣. المدينة المنورة.
- الجشعمي، سامر هادي. (٢٠١٨). "التحليل المكاني للجزر الحرارية في مدينة النجف الأشرف باستخدام التقنيات الجغرافية". مجلة البحوث الجغرافية. (٢٧). ٣٢٧-٣٥٤.
- الرحيلي، أمينة. عبدالرحمن، منال. (٢٠٢٣). " دور الجزر الحرارية في الكشف عن الازدحام المروري باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد دراسة تطبيقية على مدينة مكة المكرمة". المجلة المصرية للتغير البيئي. (١٥). ٨٩-٢٠١.
- السني، زينب عبدالله. أحمد، عبدالمنطلب محمد. الحنفي، عمر حمدي. (٢٠٢٢). " تأثير موقع المساحات الخضراء الحضرية على الجزيرة الحرارية الحضرية في المدن باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد: دراسة حالة مدينة السادس من أكتوبر في مصر". الجمعية العلمية للمصممين. (١٢). ٢٤٣-٢٦٢.
- منصور، كمال فتحي. (٢٠١٦). " العلاقة بين التغيرات العمرانية ونشأة الجزر الحرارية بمدينة طنطا باستخدام الاستشعار من البعد ونظم المعلومات الجغرافية". مجلة البحث العلمي في الآداب. جامعة عين شمس. (٤). ١-١٨.

ثانياً: غير العربية

- (ECAWG). Economics of Climate Adaptation Working Group. (2009). " Shaping Climate Resilient Development: A Framework for Decision making".
- (HEI) Health Effects Institute. "State of Global Air". (2020). Special Report. Health Effects Institute. Boston. 1-28.
- (IPCC) The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). "Climate change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Summary for Policymakers". (New York). 1-1150.
- (UN) United Nations. (2014). "Population Division, Urban Agglomerations". Department of Economic and Social Affairs.1-517.
- (WHO) World Health Organization. (2021)." global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide". World Health Organization. 1-300.
- Ashtiani, A. Mirzaei, PA. Haghghat, F. (2014)." Indoor thermal condition in urban heat island: comparison of the artificial neural network and regression methods prediction". Energy Build. (76).597_604.
- Avdan,U.Jovanovska,G.(2016)."Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data". Journal of Sensors. (2).1-8.
- Banerjee, T. Kumar, M. Mall, R. Singh. (2017)." Airing 'Clean Air' in Clean India Mission". Environmental Science and Pollution Research. (24). 6399–6413.
- Boyd, E. Osbahr, H. Ericksen, P. Tompkins, E. Lemos, M. Bray, N. Wickings, K. (2019)." The Roles of Invertebrates in the Urban Soil Microbiome". Urban Ecology. (7). 1-9. Chen, L. (2016). "Monitoring Temporal Changes in Urban Air Quality Using Satellite-based Observations: A Case Study in Los Angeles, California". Environmental Monitoring and Assessment. (5). 267.
- El Kenawy, A. M., Aboelkhair, H., Mohamed, E. K., Gaber, I. M., Fernández-Duque, B., Peña-Angulo, D., & Abdelaal, M. M. (2024). "Modes of summertime thermal urban stress over major cities in the Middle East: A comprehensive assessment of heat exposure risks". Sustainable Cities and Society. (102).
- El Kenawy, A. M., Lopez-Moreno, J. I., McCabe, M. F., Domínguez-Castro, F., Peña-Angulo, D., Gaber, I. M., Alqasemi, A. S., Al Kindi, K. M., Al-Awadhi, T., Hereher, M. E., Robaa, S. M., Al Nasiri, N., & Vicente-Serrano, S. M. (2021). "The impact of COVID-19 lockdowns on surface urban heat island changes and air-quality improvements across 21 major cities in the Middle East". Environmental Pollution. (288). 1-13.
- Garcia, M. (2021). "Monitoring Spatio-temporal Changes in Air Quality and Urban Heat Islands using Sentinel-2 Imagery: A Case Study in Madrid, Spain". Science of the Total Environment. (785).
- Gunawardena, K. Wells, M. Kershaw, T. (2017). " Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity". Science of the Total Environment. (584). 1040-1055.
- Han, S. Bian, H. Zhang, Y. Wu, J. Wang, Y. Tie, X. Li, Y. Li, X. Yao, Q. (2012)."Effect of Aerosols on Visibility and Radiation in Spring 2009 in Tianjin, China". Aerosol and Air Quality Research. (12). 211–217.

- Handschuh, J. Erbertseder, T. Schaap, M. Baier, F. (2022). " Estimating PM2.5 surface concentrations from AOD: A combination of SLSTR and MODIS". Remote Sensing Applications: Society and Environment. (26). 1-15.
- Ku, C. (2020)." Exploring the Spatial and Temporal Relationship between Air Quality and Urban Land-Use Patterns Based on an Integrated Method". Sustainability. (12). 1-16.
- Le, M. T. Cao, T. Tran, Q. Sadriavich, S. Nguyen, P. Le, T. (2019). " Case Study of GIS Application in Analysing Urban Heating Island Phenomena in Tropical Climate Country". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (661). 1-11.
- Li, X. (2018). "Assessing Spatio-temporal Dynamics of Urban Heat Islands using Landsat Imagery and Machine Learning Approaches". Remote Sensing of Environment (210). 389-401.
- Liu, W. (2015). "Assessing Spatial and Temporal Dynamics of Urban Heat Islands using MODIS Data: A Case Study in Shanghai, China". International Journal of Remote Sensing. (9). 2345-2362.
- Papachristopoulou, K. Raptis, L, P. Gkikas, A. Fountoulak, L. Masoom, A. Kazadzis, S. (2022)."Aerosol optical depth regime over Megacities of the world". Atmospheric Chemistry and Physics. (24). 15703-15727.
- Pelling, M. (2003). "The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience". London. Earthscan.
- Sharma, V. Ghosh, S. Singh, S. Vishwakarma, D. Al-Ansari, N. Tiwari, R. Kuriqi, A. (2022)."Spatial Variation and Relation of Aerosol Optical Depth with LULC and Spectral Indices". Atmosphere. (13). 1-21.
- Sperling, F. Valdivia, C. Quiroz, R. Valdivia, R. Angulo, L. Seimon, A. Noble, I. (2008). "Transitioning to Climate Resilient Development Perspectives from Communities in Peru". Environment Department Papers. Climate Change Series. World Bank. (115). 1-103.
- Tamiminia, H. Salehi, B. Mahdianpari, M. Quackenbush, L. Adeli, S. Brisco, B. (2020). "Google Earth Engine for geo-big data applications: a meta-analysis and systematic review". ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens. (164). 152–170.
- Wang, Z. (2017). "Spatio-temporal Dynamics of Urban Heat Islands and Their Relationships with Land Use and Land Cover: A Case Study in Phoenix, Arizona". International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (63). 85-94.
- Yang, J. (2019). "Temporal Changes in Urban Heat Islands and Their Relationships with Land Use and Land Cover Dynamics: A Case Study in Beijing, China". Remote Sensing. (11). 1290.
- Yang, L. (2014)."Green Building Design: Wind Environment of Building. Shanghai". Tongji University Press.
- Yang, L. Qiana, F. Song, D. Zheng, K. (2016)." Research on Urban Heat-island Effect". Procedia Engineering. (169). 11 – 18.
- Zhang, Y. (2020). "Monitoring Temporal Changes in Air Quality Using Satellite Remote Sensing: A Review". Remote Sensing. (15). 2398.
- Zhu, J. (2011)." Analysis of the Aerosol Optical Depth and the Air Quality in Qingdao, China". Journal of Software. (7).1194_1200.

ثالثاً: المواقع الالكترونية:

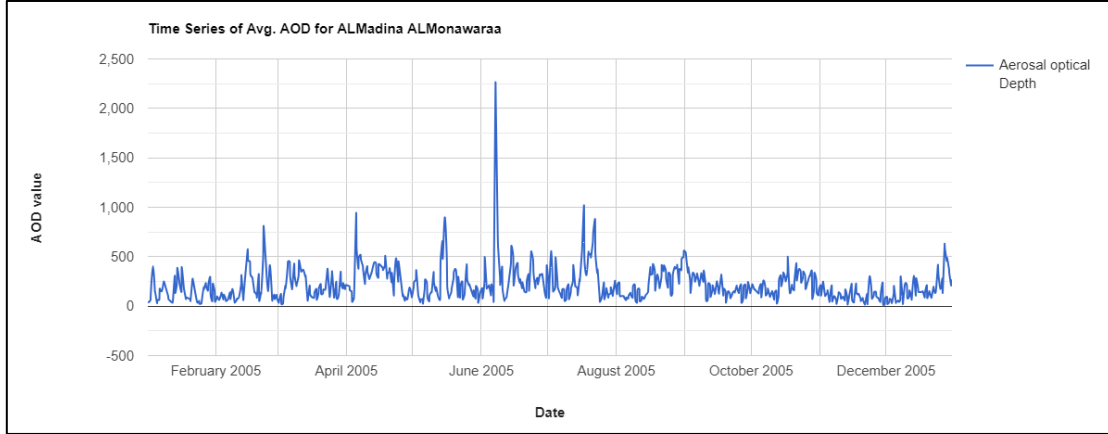
- منظمة الصحة العالمية، مسترجع بتاريخ ٢٠/١١/٢٠٢٢ من: <https://www.who.int>
- European Space Agency, Sentinel Onlin, accessed on date 5\6\2022 From:
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-5>
- NASA, NASA Earth Observations, accessed on date 16\3\2022 From:
<https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php>
- US Environmental Protection Agency, Learn About Heat Islands, accessed on date 7\6\2022 From:
<https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>

Abstract:

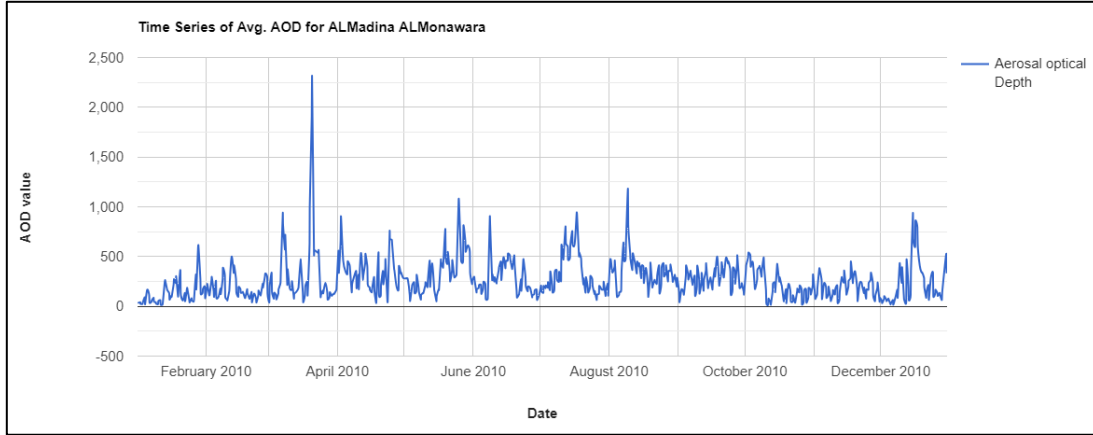
Studying the spatial and temporal changes in urban climate resilience is of great importance as understanding it enables decision-makers to identify vulnerable areas, track their evolution over time, and develop appropriate interventions to mitigate their impact. This study aimed to analyze the change in urban climate resilience in AL Madinah AL Munawarah. This was achieved using big data in remote sensing on the Google Earth Engine (GEE) cloud platform to extract indicators such as land surface temperature and air quality indices. The study concluded a decrease in urban climate resilience in AL Madinah AL Munawarah over time and recommended integrating the results related to spatial and temporal changes in urban climate resilience into urban processes, such as green infrastructure planning. It emphasized the need for multi-sectoral and interdisciplinary institutional coordination among all authorities dealing with urban and environmental policy, such as planning, environment, and transportation, and aligning planning and management tools within a multi-level governance approach that seeks to integrate climate change projections into urban planning.

Keywords: Urban Climate Resilience, Urban Heat Islands, Air Quality, Big Data, Remote Sensing, AL Madinah AL Munawarah.

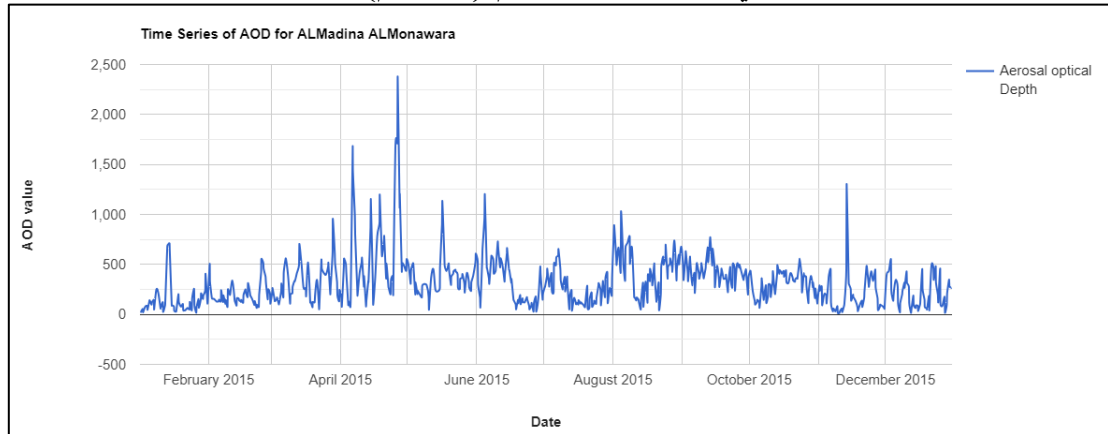
الملاحق



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).
ملحق (١) تحليل السلاسل الزمنية لمتوسط العمق البصري للهباء الجوي
في المدينة المنورة عام (٢٠٠٥م).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).
ملحق (٢) تحليل السلاسل الزمنية لمتوسط العمق البصري للهباء الجوي
في المدينة المنورة عام (٢٠١٠م).



المصدر: من إعداد الباحثان بالاعتماد على مرئيات (Modis Terra and Aqua) بواسطة (GEE).
ملحق (٣) تحليل السلاسل الزمنية لمتوسط العمق البصري للهباء الجوي
في المدينة المنورة عام (٢٠١٥م).