




تأثير الإغلاق الحضري المرتبط بجائحة كورونا (COVID 19) على الجزر الحرارية في المدينة المنورة المملكة العربية السعودية باستخدام الصور الفضائية

ليلي الجهني^{1*} 

¹ قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.

الملخص

ناقشت الدراسة الحالية تأثير الإغلاق الحضري لجائحة (COVID 19) على درجة حرارة الجزر الحرارية للمدينة المنورة خلال الفترات 2018-2020-2022. اعتمد البحث بشكل رئيسي على معالجة المرئيات الفضائية لاند سات 8 باستخدام برنامج ArcGIS؛ بهدف كشف العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض، ودرجة حرارة الجزر الحرارية. إذ تشير النتائج إلى أن مؤشر الغطاء النباتي للمدينة المنورة لعام 2018 في شهر مايو تراوحت قيمته ما بين 0.4350 و-0.0952- حيث شكلت أدنى قيمة، وفي شهر مايو عام 2020 ارتفعت قيمة نسبة مؤشر الغطاء النباتي ما بين 0.506 و-0.118-، بينما في عام 2022 أظهرت النتائج أن مؤشر الغطاء النباتي لشهر مايو بدأ في الانخفاض، حيث تراوحت قيمه ما بين 0.295 و0.197. توصلت الدراسة إلى أنه يكون أقل عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أعلى، بينما يكون مؤشر الغطاء النباتي أعلى عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أقل في درجات الحرارة. خلال فترة الإغلاق في عام 2020، ارتفعت درجة حرارة الجزر الحرارية بشكل عام في معظم المناطق الحضرية وبلغت 37°C، على النقيض من ذلك الارتفاع انخفضت درجة الحرارة إلى 11°C خلال فترة الإغلاق بأكملها. شهدت منطقة الدراسة انخفاضاً في درجة حرارة الجزر الحرارية خلال عام 2020. أما في عام 2022 عند انتهاء فترة الإغلاق، شهدت المدينة المنورة زيادة في درجة حرارة الجزر الحرارية حيث وصلت 41°C.

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام: 09- فبراير - 2025

تاريخ المراجعة: 14- مارس - 2025

تاريخ القبول: 23- ابريل - 2025

تاريخ النشر الإلكتروني: 01-ابريل - 2026

الكلمات المفتاحية:

جائحة كورونا كوفيد19، COVID،

المدينة المنورة،

درجة حرارة سطح الأرض،

مؤشر الغطاء النباتي،

درجة حرارة الجزر الحرارية.

المراسلة:

الاسم: ليلي الجهني

Email: Laljehani-@kau.edu.sa

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56177](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56177), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The Impact of the Urban Lockdown Related to the Corona Pandemic (COVID-19) on Urban Heat Islands in Medina, Saudi Arabia Using Landsat Imagery

Layla Aljehani ^{1*} 

¹ Department of Geography and Geographic Information Systems, King Abdul-Aziz University, Jeddah, Saudi Arabia.

Article information

Received: 09- Feb -2025

Revised: 14 -Mar -2025

Accepted: 23- Apr -2025

Available online: 01- Apr -2026

Keywords:

COVID-19 pandemic,
Al Madinah,
Land Surface Temperature,
Normalized Difference
Vegetation Index,
Urban Heat Island.

Correspondence:

Name: Layla Aljehani

Email: Laljehani-@kau.edu.sa

ABSTRACT

The study discussed the impact of the urban lockdown related to the COVID-19 pandemic on the Urban Heat Island Temperature (UHI) of Medina during the periods 2018-2020-2022. The research relies mainly on processing Landsat 8 using ArcGIS to reveal the relationship between the vegetation cover index (NDVI), the land surface temperature (LST), and the UHI. The study indicates that the NDVI in May 2018 ranged between 0.4350 and -0.0952, which was the lowest value. In May 2020, the value of the NDVI percentage rose between 0.506 and -0.118, while in May 2022, the outcomes showed that the NDVI percentage began to decrease, ranging between 0.295 and 0.197. The LST started to decline in the outskirts of urban areas, specifically in Medina. The study found that the NDVI is lower when the LST is higher, while the NDVI is higher when the LST is lower. In 2020, the UHI increased in most urban areas, reaching 37°C; in contrast to that increase, the temperature decreased to 11°C. During the entire lockdown period, Madinah witnessed a decrease in UHI in 2020. In 2022, specifically at the end of the lockdown period, Madinah witnessed an increase in UHI reaching 41°C.

DOI: [10.33899/injes.v26i2.56177](https://doi.org/10.33899/injes.v26i2.56177), ©Authors, 2026, College of Science, University of Mosul.

This is an open-access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

المقدمة

يؤثر كلٌّ من النمو الحضري السريع والزيادة السكانية على درجة حرارة المدن بشكل عام. فظاهرة الجزر الحرارية الحضرية UHI تُعد من أهم السمات التي تتميز بها المدن الكبرى، حيث تتعدد الاستعمالات الحضرية بها من استعمالات سكنية، وتجارية، وصناعية، وخدمية. ولكن الجزر الحرارية أصبحت ظاهرة ذات تأثير سلبي بشكل كبير على المناخ الحضري للمدن، وكذلك على صحة الإنسان، والبيئات الحضرية. قد أعطى الإغلاق الحضري لجائحة كورونا (COVID 19) فهماً أكبر للوقوف على التغيرات الزمانية والمكانية لدرجة حرارة الجزر الحرارية للمدن.

إن ظاهرة التحضر السريع، وزيادة عدد السكان التي من المتوقع ارتفاعها إلى 66% في العالم بحلول عام 2050 (Nations, 2014)، وقد تؤدي زيادة أحجام المدن والأنشطة البشرية كذلك إلى تغيرات في المدن كارتفاع درجات الحرارة. فظاهرة الجزر الحرارية تُعد أحد التحديات التي تواجه النمو الحضري في المدن. وتعتبر دراسة الجزر الحرارية من الدراسات الهامة التي يرتبط انتشارها بتغير المناخ وتدهور صحة الإنسان وما يرتبط به من تلوث الهواء الذي له آثار سلبية على صحة الإنسان ويسبب عدم الراحة، مع تأثيرات خاصة على الربو وأمراض الجهاز التنفسي المختلفة، كما يزيد من حدوث ضربة الشمس والتعب وحتى الموت (Roshan et al., 2021). لذا نجد أن العلاقة بين التحضر السريع والمناخ الحضري جعلت صناع القرار ومخططي المدن يركزون على وضع خطط استراتيجية وحلول للكشف عن التغيرات البيئية ورصدها للحد من المشاكل التي تتعرض لها المدن.

كما أنه من الممكن أن يساعد فهم الجزر الحرارية وسلوك المدينة على اتخاذ التدابير والاحترازمات الوقائية التي من شأنها تقليل حجم المال المهدور بسبب استهلاك الطاقة، والتي بدورها تقاوم من ظاهرة الجزر الحرارية، وكذلك يمكن أن يقلل من استهلاك الطاقة بهدف توفير بيئة حضرية لتحقيق الرفاهية لسكان المدن (Teufel et al., 2021; Chakraborty et al., 2021).

إحدى النتائج المترتبة على التنمية الحضرية هي إحداث عدم توازن بين البيئة الطبيعية والمناطق العمرانية المبنية في المدن من خلال اجتثاث مساحات خضراء وتحويلها إلى مناطق سكنية على مدى السنوات الماضية مما تسبب في ارتفاع ملحوظ في درجات حرارة المدن مقارنة بالمناطق المحيطة بها، وهي ظاهرة عادة ما تعرف بالجزر الحرارية الحضرية (Chen et al., 2006). فظاهرة الجزر الحرارية تتأثر بالسياسات الحضرية من خلال استبدال الغطاء النباتي بهياكل صناعية، بالإضافة إلى تلوث الهواء، كما تؤدي المناطق المبنية إلى تغير المناخ الحضري داخل المدن. فمواد البناء الأسمنتية والأسفلت المستخدم في تلبيط الطرق عادة ما يكون لها دور فعال في ارتفاع درجات الحرارة وتحويلها إلى طاقة حرارية ملموسة. كما أن زيادة عدد المركبات والغازات المنبعثة من السيارات والمصانع وأجهزة التكييف تؤدي دورًا واضحًا في تغير المناخ الحضري (Roshan et al., 2021).

لذا تُعد ظاهرة الجزر الحرارية مؤشرًا في تغير المناخ الحضري للحرارة داخل المدن. فالاختلافات المحلية لدرجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والأنشطة البشرية، وتغير استخدام الأرض أو الغطاء الأرضي، وأنماط التنمية الحضرية، ونوعية الرياح وسرعتها، ومواد البناء وغيرها من العوامل يُنظر إليها كعوامل محلية. تعد درجة حرارة الأرض مؤشرًا جيدًا لقياس درجة حرارة سطح المدن الحضرية، حيث يسهم تخزين الحرارة داخل المباني والطرق والأسطح المعبدة أثناء النهار في ارتفاع درجات الحرارة وانطلاقها ببطء أثناء الليل مما يجعل المناطق الحضرية أكثر حرارة مقارنة بالمدن المحيطة بها. وهذا بدوره يؤثر على سكان المدن والعاملين بها ويجعلهم يشعرون بعدم الراحة ويزيد من استخدام أجهزة التكييف من أجل التبريد (Najah et al., 2023).

قد تتأثر الجزر الحرارية مؤقتًا أيضًا بالأنشطة البشرية والأحداث العالمية كجائحة كورونا (COVID19)، حيث أعلنت منظمة الصحة العالمية في 11 مارس 2020 أن مرض فيروس كورونا (COVID19) فيروس عالمي وهو المسبب لمتلازمة الالتهاب التنفسي، مما دفع دول العالم إلى فرض قيود للحد من انتشاره: كالتباعد الاجتماعي، والإغلاق الشامل، وحظر السفر، والحجر الصحي وغيرها من القيود بهدف التخفيف من مخاطر الجائحة. على الرغم من ذلك، فقد تسببت الجائحة في التأثير على العلاقات الاجتماعية والسياسية على الأصعدة المحلية والإقليمية والعالمية والتنمية الحضرية والاقتصادية (Jallu et al., 2022). كان من المتصور أن بعض الاحتياطات التي تم تنفيذها لمنع انتقال (COVID 19)، مثل الحد من الأنشطة البشرية في الهواء الطلق، وانقطاع الأعمال، وإغلاق الأسواق والمواصلات، وما إلى ذلك، قد تقلل من تأثير جزر الحرارة الحضرية (Ali et al., 2021). ومع ذلك، فقد أثرت مبادرات مواجهة المخاطر هذه بشكل كبير على الروابط الاجتماعية والسياسية والتنمية الاقتصادية على المستويين المحلي والعالمي. أُجريت دراسة حول تباطؤ حركة المرور أثناء الجائحة في مدينة مونتريال بكندا لتحليل آثارها على المناخ الحضري (Teufel et al., 2021). ومن جانب آخر، أجرى العديد من الباحثين دراسة لتحليل أثر التلوث الحضري على درجة حرارة سطح الأرض في مدينة بوجياكار في الصين. وخلص عدد من الباحثين في أبحاثهم إلى أن تقليل النشاط البشري يمكن أن يقلل من تأثير شدة الحرارة الحضرية (Arrofiqoh and Setyaningrum, 2021). كما تشير إحدى الدراسات إلى أن الحد من الأنشطة البشرية تؤدي إلى تحسين الظروف البيئية، بما في ذلك جزر الحرارة الحضرية وجودة الهواء (Ali et al., 2021). وتشير دراسة أجريت لمقارنة درجة حرارة الجزر الحرارية في الصين والولايات المتحدة وأوروبا إلى وجود انخفاض

في حجم الجزر الحرارية في المدن الصينية مقارنة بالولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا (Sismanidis et al., 2023). ووفقاً لدراسة أجريت في الولايات وأسبانيا وجد أن COVID19 له أثار سلبية على البيئة من خلال التغيرات في المناخ (Zambrano-Monserrate et al., 2020).

وقد أوضحت دراسة أخرى لمقارنة درجة حرارة السطح في الولايات المتحدة وأوروبا خلال شهر مارس في عام 2020، أن هناك انخفاضاً في درجة حرارة السطح بشكل عام في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية، مما يشير إلى انخفاض درجة حرارة الجزر الحرارية بالتحديد خلال فترة الليل. على النقيض من ذلك، تبين أن ارتفاع درجة الحرارة السطح في أجزاء كبيرة من أوروبا كان خلال فترة الإغلاق (Parida et al., 2021; Glocke et al., 2023).

على مستوى العالم، فقد ركزت العديد من الدراسات على دراسة أثر التوسع الحضري في المدن وارتفاع درجة حرارة الجزر الحرارية السطحية، وأظهرت النتائج أن هناك علاقة إيجابية بين الجزر الحرارية السطحية وبين حجم المنطقة الحضرية والزيادة السكانية (Li et al., 2017). كما أظهرت عدة دراسات أن التجديد الحضري أثر على درجة حرارة السطح، حيث انخفضت درجة الحرارة عندما تحولت المناطق الصناعية إلى مناطق خدمية، لذلك يسهم التجديد الحضري على الجزر الحرارية من خلال التغيرات الهندسية الحضرية وخصائص السطح في إحداث تغيرات في درجة حرارة السطح (Andreou, 2014). في حين أشارت الدراسة إلى الآثار الإيجابية لجائحة كورونا (COVID 19) على تحسُّن جودة الهواء، وقد ظهر ذلك من خلال انخفاض مستويات غازات الاحتباس الحراري الناجم عن الأنشطة البشرية والتنقل في الهواء الطلق (Alqasemi et al.2021;Roshan et al., 2021).

أهمية الدراسة

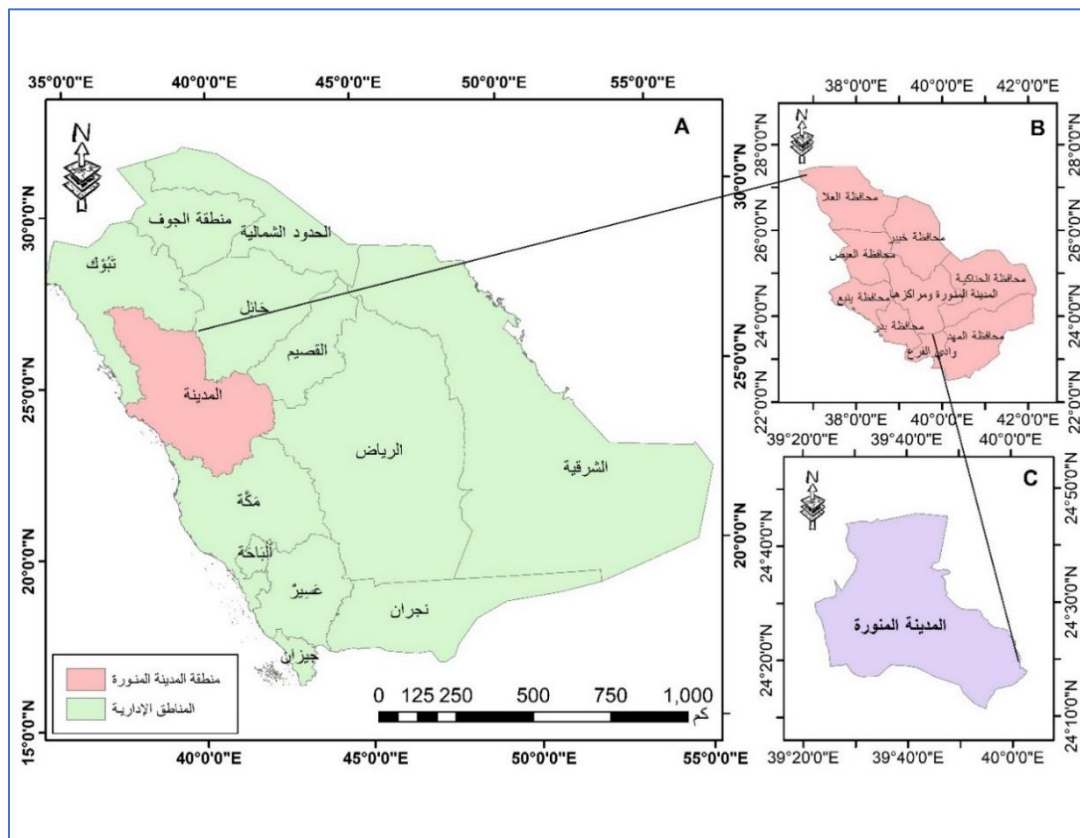
حينما ركزت دراسات عديدة في أنحاء مختلفة من العالم على تأثير الجزر الحرارية على الغطاء النباتي واستخدامات الأرض خلال جائحة كورونا، نجد أن الدراسات في المملكة العربية السعودية ركزت على تأثير الجزر الحرارية على مرونة المناخ الحضري (Al-Saadi et al.,2024)؛ لذا تكمن أهمية الدراسة الحالية في أنها تتناول تأثير الإغلاق الحضري خلال جائحة كورونا (COVID19) على درجة حرارة الجزر الحرارية في المدينة المنورة. فقد شهدت المدينة المنورة نموًا عمرانيًا خلال الثلاثين الماضية، كما أن لوجود المسجد النبوي الذي يهوي إليه العديد من الزوار طيلة العام من شتى بقاع الأرض لزيارته والصلاة فيه دورًا كبيرًا في زيادة الرغبة في السكن في المدينة والاستقرار بها. كما أن أهمية موقع المدينة ومكانتها الدينية ونموها العمراني والزيادة السكانية والمكانة التاريخية أكسبها طابعًا مختلفًا عن بقية مدن العالم بشكل عام والمملكة بشكل خاص، فتلك الخصائص الطبيعية والبشرية تؤثر في الخصائص الحرارية في المدينة المنورة.

يتمثل هدف الدراسة في التركيز على اكتشاف التغيرات والتأثيرات الناجمة عن جائحة كورونا على الجزر الحرارية UHI في المدينة المنورة خلال 4 سنوات، وبالتحديد الفترة الزمنية (2018-2020-2022): قبل جائحة كورونا، وخلال الجائحة، وبعدها. وحيث لوحظ أن أغلب الدراسات السابقة ركزت على شهور مختلفة (مارس وأبريل) خلال الجائحة وبعدها ولم يتم التطرق إلى شهر واحد محدد خلال الجائحة؛ لذا تكمن الفجوة البحثية في التركيز على شهر مايو خلال الإغلاق الكلي في المملكة العربية السعودية. وتتمثل المساهمة الحقيقية لهذه الدراسة في أنه من الدراسات القليلة في المملكة العربية السعودية التي تستخدم الربط بين نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على استخدام صور الأقمار الصناعية عن طريق استخدام برنامج ArcGIS بهدف قياس وتحليل وتوضيح الاتجاه الفعلي لدرجة الحرارة (الارتفاع والانخفاض) في منطقة الدراسة، والعلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض من أجل اكتشاف التغيرات في مؤشرات درجة حرارة الجزر الحرارية خلال فترة الدراسة.

موقع منطقة الدراسة

تعد المدينة المنورة ثاني المدن الإسلامية المقدسة في المملكة العربية السعودية وثالث أكبر منطقة إدارية من حيث المساحة التي تبلغ 606 كم² من بين 9 محافظات هي (الحناكية، العلا، المدينة المنورة ومراكزها، المهدي، بدر، خيبر، ينبع، وادي الفرع، العيص). تقع المدينة المنورة في النطاق المداري الصحراوي الجاف الذي أسهم بأن تمتاز المدينة بمناخ حار جاف صيفاً، والذي يتميز بارتفاع شديد في درجة الحرارة. على النقيض من ذلك تنخفض درجة الحرارة خلال فصل الشتاء مما أكسبها مناخاً بارداً شتاءً. تتحصر منطقة الدراسة بين دائرتي عرض 20°00' و 24°24' شمالاً، وخطي طول 39°25'00' ، 39°50'00' شرقاً كما هو موضح بالخارطة (1). ويبلغ ارتفاعها عن سطح البحر ما يقارب 620 (Al-Munawwarah,2017).

تُعد الرطوبة منخفضة في المدينة المنورة نظراً لبعدها عن المسطحات المائية مقارنة بالمدن الساحلية التي تمتاز بارتفاع نسبة الرطوبة فيها. كما تمتاز المدينة المنورة بأنها مدينة تحيط بها الجبال من جميع الجهات، وتعد هذا المرتفعات مخاريط بركانية ممثلة بالحرث البركانية التي تحيط بمنطقة الحرم مثل: حرة رهاط، وحرة العويرض، وحرة واقم، وتغطي الوديان طبقات لآبا سمكية وتشغلها مساحات زراعية وتتنوع المظاهر التضاريسية فيها، وطبيعة تركيبها الصخري أكسبتها صفة مناخية متميزة (Al-Shanti ,1993)



الشكل 1. خارطة حدود منطقة الدراسة.

البيانات المعتمدة في الدراسة

تم استخدام بيانات القمر الصناعي Landsat 8 لشهر مايو في هذه الدراسة لتحليل وتصنيف درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) ودرجة حرارة السطح (LST) قبل جائحة (COVID19) (2018) وخلال فترة الإغلاق الكامل (الحجر) (2020) وبعد انتهاء الجائحة (2022). وتم استخدام برنامج Earth Explorer التابع لهيئة

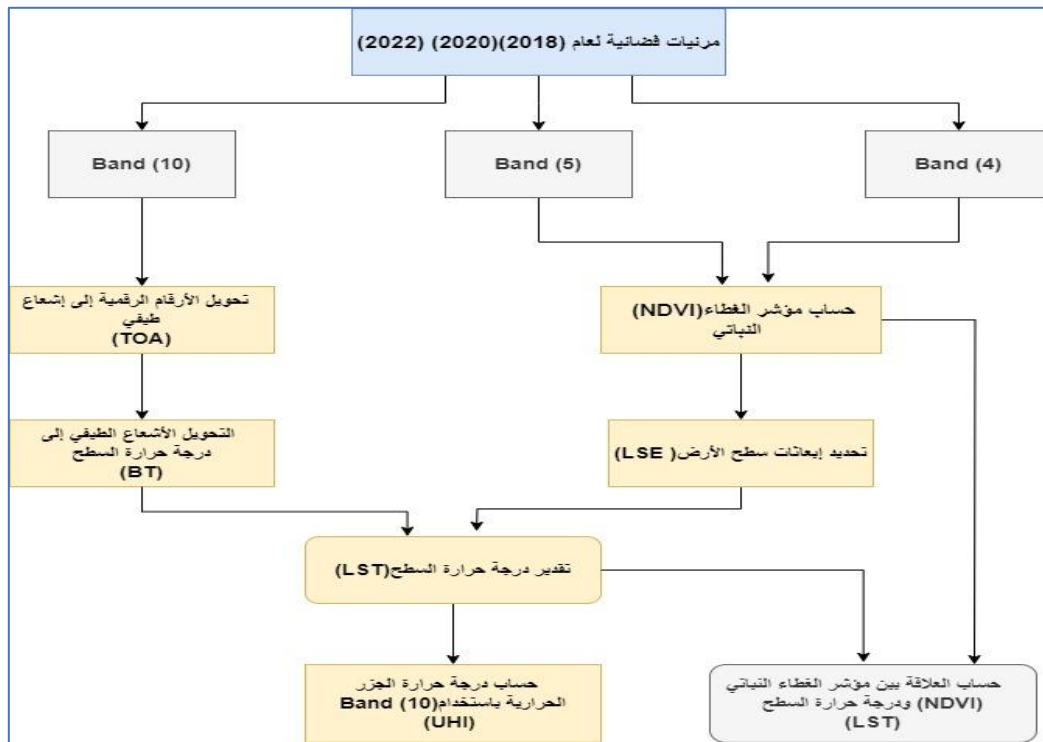
المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) لتتزيل الصور الفضائية لفترات الدراسة كما هو موضح في الجدول (1). واعتمدت الدراسة على استخدام النطاقين (4) و(5) لحساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، وتم أيضاً استخدام النطاق (10) لحساب درجة حرارة سطح الأرض (LST)، وقد استخدمت برمجية ArcGis 10.8 لمعالجة صور الأقمار الصناعية.

جدول 1: بيانات المرئيات الفضائية.

Row	Path	ID	الدقة المكانية	المستشعر	المرئية	السنوات
43	170	LC08_L2SP_170043_20180519_20200901_02_T1	30م	OLI_TIRS	Landsat 8 2018-05-19	2018
43	170	LC08_L1TP_170043_20200524_20200820_02_T1	30 م	OLI_TIRS	Landsat 8 2020-05-24	2020
43	170	LC08_L1TP_170043_20220530_20220603_02_T1	30م	OLI_TIRS	Landsat 8 2022-05-30	2022

منهجية الدراسة

ركزت الدراسة على عدة خطوات منهجية لتحليل بيانات كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل 2. منهجية الدراسة.

تحويل الأرقام الرقمية إلى إشعاع طيفي (TOA)

يعنى ذلك تحويل الأرقام الرقمية للأشعة تحت الحمراء الحرارية إلى إشعاع طيفي باستخدام المعادلة التالية:

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

حيث إن: L_{λ} = إشعاع الطيف (TOA)؛ ML = قيمة عامل المقياس المضاعف يتم الحصول عليها من ملف البيانات الوصفية؛ Q_{cal} = القيمة الحرارية للباندا العاشر؛ AL = نطاق إضافة الإشعاع قيمة عامل القياس الإضافي التي يتم الحصول عليها من ملف البيانات الوصفية (Mallick et al., 2008).

تحويل الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة السطح (BT)

يعني ذلك تحويل بيانات الإشعاع الطيفي إلى درجة حرارة سطوع أعلى الغلاف الجوي باستخدام قيم الثابت الحراري في ملف البيانات الوصفية من خلال المعادلة التالية:

$$BT = K2 / \ln (k1 / L\lambda + 1) - 273.15 \quad (2)$$

حيث إن: BT = درجة حرارة سطوع أعلى الغلاف الجوي (درجة مئوية)؛ $L\lambda$ = الإشعاع الطيفي لـ TOA؛ $K1$ = الأشعة الحرارية تحت الحمراء ذات النطاق الثابت؛ $K2$ = الأشعة الحرارية تحت الحمراء ذات النطاق الثابت؛ Ln = قيمة اللوغاريتم الطبيعي.

حساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

مؤشر الغطاء النباتي المتباين الطبيعي هو مقياس يُستخدم لقياس حيوية وكثافة النباتات في منطقة جغرافية محددة. يستخدم الباحثون البيئيون مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) للكشف عن أنماط التغيرات الزمانية والمكانية للغطاء النباتي (Al-Masarwa, 2019)، والذي غالبًا ما يتم حسابه باستخدام بيانات الأقمار الصناعية لتقييم تأثيرات العمليات البيئية المختلفة. مؤشر الغطاء النباتي المتباين الطبيعي، الذي يعمل كمركب رياضي للنطاقين الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة، يقيس وجود النباتات وصحتها (Latuamury, 2013)، حيث تم استخدام انعكاس السطح للنطاق (RED) B4 والنطاق (NIR) B5 لحساب مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي من خلال المعادلة التالية:

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4) \quad (3)$$

تحديد انبعاثات سطح الأرض (LSE)

انبعاثات سطح الأرض (LSE) هي متوسط انبعاثات قيم درجة الحرارة من سطح الأرض محسوبة من قيم مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)، يتم حسابها من خلال المعادلة التالية:

$$PV = [(NDVI - NDVI \min) / (NDVI \max + NDVI \min)]^2 \quad (4)$$

حيث إن: PV = نسبة الغطاء النباتي المحسوبة من مؤشر الغطاء النباتي لجميع سنوات الدراسة؛ $NDVI$ = قيم مؤشر الغطاء النباتي من صورة DN ؛ $NDVI \min$ = قيم درجة الحرارة الأقل من صورة مؤشر الغطاء النباتي؛ $NDVI \max$ = قيم درجة الحرارة الأعلى من صورة مؤشر الغطاء النباتي.

$$E = 0.004 * PV + 0.986 \quad (5)$$

E = قيمة الانبعاثات من سطح الأرض.

درجة حرارة سطح الأرض (LST)

درجة حرارة سطح الأرض (LST) هي درجة الحرارة الإشعاعية التي يتم حسابها باستخدام درجة حرارة سطوع الغلاف الجوي العلوي وطول موجة الإشعاع المنبعث وانبعاث سطح الأرض من خلال المعادلة التالية (Meftahi et al., 2022):

$$LST = (BT / 1) + W * (BT / 14380) * \ln \epsilon \quad (6)$$

حيث إن: LST = درجة حرارة سطح الأرض؛ BT = درجة حرارة سطوع أعلى الغلاف الجوي (درجة مئوية)؛ W = الطول الموجي للإشعاع المنبعث؛ E = انبعاثات سطح الأرض.

حساب درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI)

تعد نظم المعلومات الجغرافية أداة فعالة وسريعة الاستجابة في دراسة المناخ الحضري واتخاذ القرار ، حيث تؤدي دورًا حاسمًا في دراسة ظاهرة الجزر الحرارية في المناطق الحضرية (Kafy et al., 2021). ويمكن قياس درجة حرارة الجزر الحرارية UHI من خلال المعادلة التالية:

$$UHI = \left(\frac{LST - LSTm}{SD} \right) \quad (7)$$

حيث إن: UHI = درجة حرارة الجزر الحرارية؛ LST = درجة حرارة سطح الأرض؛ $LSTm$ = متوسط درجة حرارة سطح الأرض في منطقة الدراسة؛ SD = الانحراف المعياري لدرجة الحرارة.

العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة السطح LST

اعتمد حساب العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة السطح LST على عدة خطوات وهي:

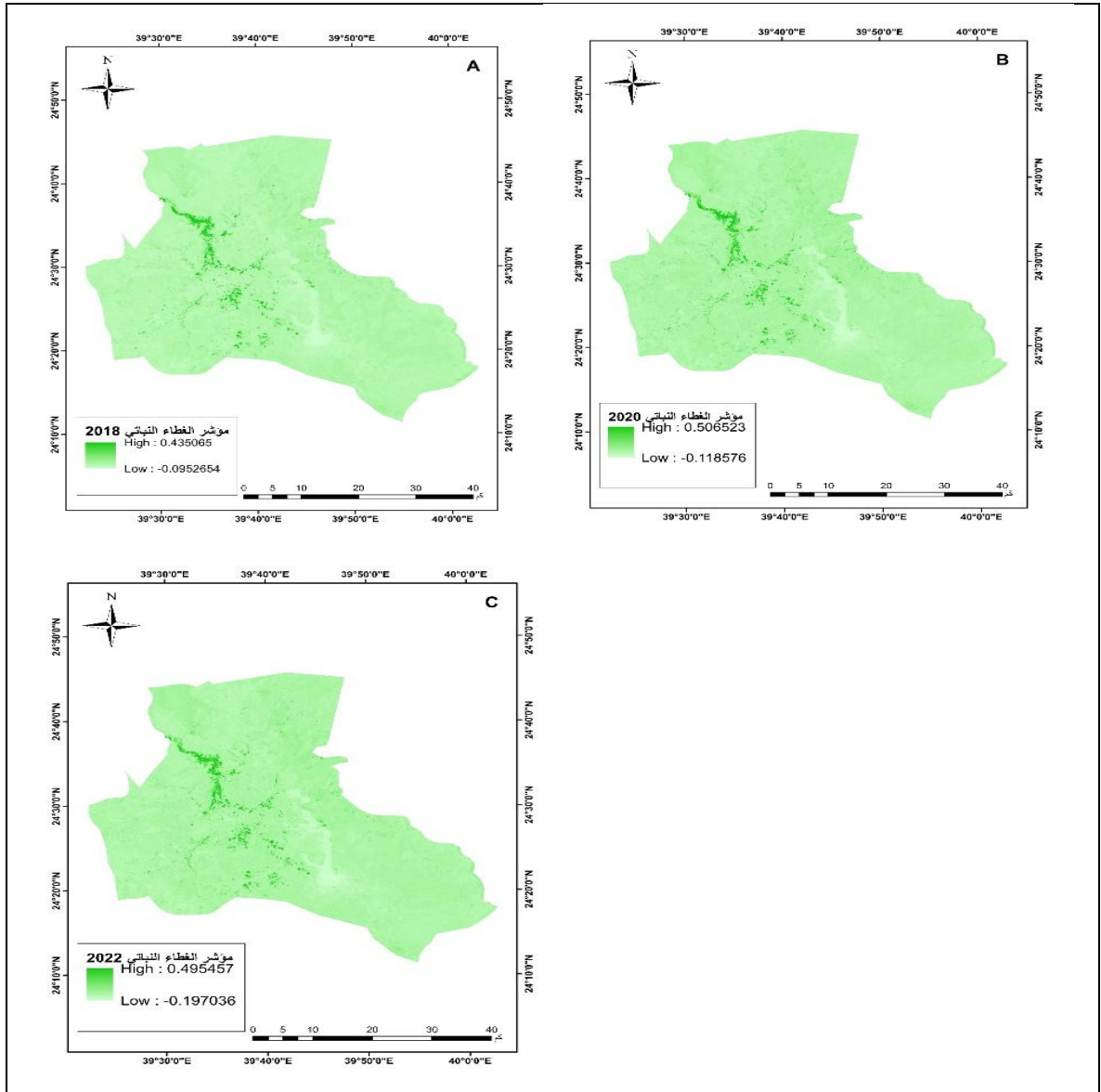
- 1- إضافة الصور الفضائية إلى برنامج ArcGis، حيث تم احتساب درجة مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة السطح LST.
- 2- تم استخدام أداة (Create fishnet) مع تحديد 50 نقطة للعمود الأفقي والرأسي.
- 3- استخدمت الأداة (Extract Multi Values to point) على كلتا الصورتين.
- 4- استخدام أداة القطع clip.
- 5- فتح جدول البيانات الوصفية لصورة clip، حيث يتم إنشاء حقلين جديدين أحدهما (NDVI) والآخر (LST).
- 6- إنشاء شكل بياني عن طريق برنامج الأكلس Create Graph.

النتائج والمناقشة

مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

تمت دراسة مؤشر الغطاء النباتي من خلال تحليل صور المرئيات الفضائية باستخدام برنامج ArcGIS، والتي بدورها كشفت قيمة مؤشر التغير الغطاء النباتي التي طرأت على منطقة الدراسة بالتحديد خلال أعوام (2018-2020-2022) التي اختيرت للدراسة. وتوضح النتائج أن هناك تباينًا واختلافات في نسبة التغطية النباتية بين أعوام الدراسة الثلاثة.

تشير نتائج البحث الحالي إلى أن مؤشر الغطاء النباتي للمدينة المنورة لعام 2018 في شهر مايو تتراوح قيمته ما بين 0.4350 و-0.0952، حيث شكلت أدنى قيمة لمؤشر الغطاء النباتي، وتوصلت النتائج إلى أنه في عام 2020 ارتفعت قيمة نسبة الغطاء النباتي ما بين 0.506 و-0.118، بينما في عام 2022 أظهرت النتائج أن نسبة الغطاء النباتي بدأت في الانخفاض، حيث تراوحت ما بين 0.295 و0.197، كما هو موضح في الخارطة (2). ويعزى ذلك التباين في نسبة مؤشر الغطاء النباتي إلى أن المدينة المنورة مدينة دينية تشهد زيادة سكانية مرتفعة على مدار السنة، وقد أدت تلك الزيادة إلى حدوث ما يعرف بظاهرة الزحف العمراني على حساب الأراضي الزراعية، وبالتالي تقلصت مساحتها.



الشكل 3. خارطة مؤشر الغطاء النباتي: (A) 2018؛ (B) 2020؛ (C) 2022 لمنطقة الدراسة.

درجة حرارة سطح الأرض (LST)

تعد درجة حرارة سطح الأرض إحدى العوامل الأساسية التي يقاس بها مقدار الجزر الحرارية وفقاً للنتائج التي تم التوصل إليها من خلال تحليل صور الأقمار الصناعية لمنطقة الدراسة، يتضح أن درجة حرارة سطح الأرض (LST) للمدينة المنورة لأعوام الدراسة (2018-2020-2022) -كما هو موضح في خارطة رقم 3- بلغت أعلى درجة لحرارة سطح الأرض (LST) عام 2018 خلال شهر مايو 73.8°C ، بينما أقل درجة حرارة لسطح الأرض (LST) بلغت 60.5°C . وسجلت درجة حرارة سطح الأرض (LST) خلال عام 2020 أعلى قيمة 60.8°C . وأقل قيمة لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) سجلت 35°C ، ويمكن استنتاج أن الإغلاق الحضري خلال جائحة كورونا (COVID 19) لعب دوراً حاسماً في خفض متوسط درجة حرارة السطح للمدينة المنورة. وتم قياس مقدار درجة سطح الأرض (LST) لعام 2022، حيث وصلت أعلى درجة حرارة 61.6°C ، على النقيض من ذلك وصلت أقل درجة حرارة 27.7°C . ويُعزى ذلك التباين في درجات الحرارة خلال الأعوام الثلاثة (2018-2020-2022) إلى الزيادة السكانية، والاحتفاظ السكاني في أجزاء من المدينة المنورة، والتوسع

الحضري، وكثافة الأنشطة التجارية، حيث إن الأهمية المدينة الدينية أدت إلى زيادة التدفقات بشرية والتغيرات اليومية والموسمية في درجات الحرارة التي تشهدها منطقة الدراسة، بالإضافة إلى ارتفاع معامل الامتصاص للسطوح الحضرية والمتمثلة بالأحياء السكنية عالية الكثافة، والمراكز التجارية والفضاءات الإسمنتية المتصلة بها.

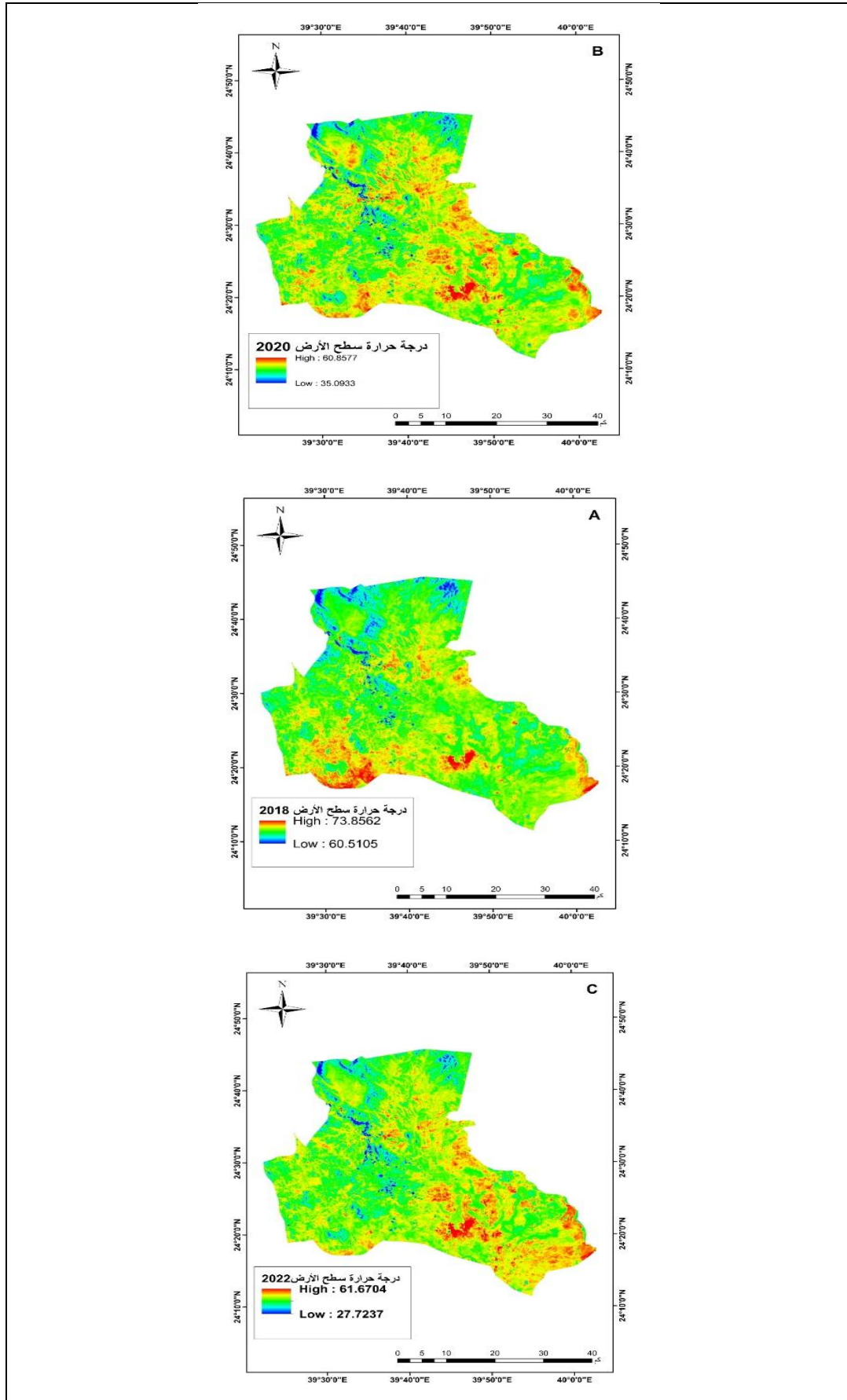
كما لعبت فترة الإغلاق خلال جائحة كورونا (COVID 19) دورًا واضحًا في انخفاض درجة حرارة سطح الأرض (LST)؛ نتيجة لقلة النشاط البشري. حيث أدى الانخفاض في الأنشطة البشرية إلى انخفاض درجة حرارة سطح البحر، وتحسُّن مؤشر جودة الهواء إلى الأفضل (Hwang et al., 2020). وأظهرت نتائج الدراسة للأعوام (2018-2020-2022) أن درجة حرارة سطح الأرض أخذت في اتجاه تنازلي في أطراف المناطق الحضرية وبالتحديد أطراف المدينة المنورة. وجاءت هذه النتيجة متطابقة مع دراسة أجريت في الصين، والتي وجدت أن درجة حرارة سطح الأرض (LST) تميل إلى التركيز في المنطقة المركزية، في حين تميل درجات الحرارة إلى الانخفاض في المناطق الحدودية (Guo et al., 2020).

العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة سطح الأرض LST

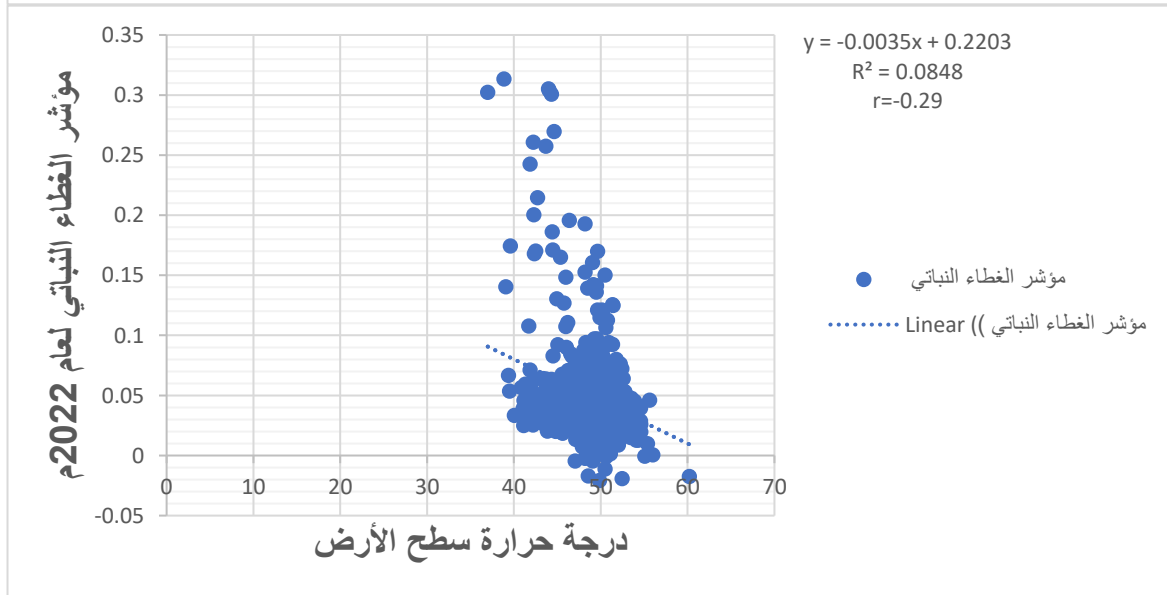
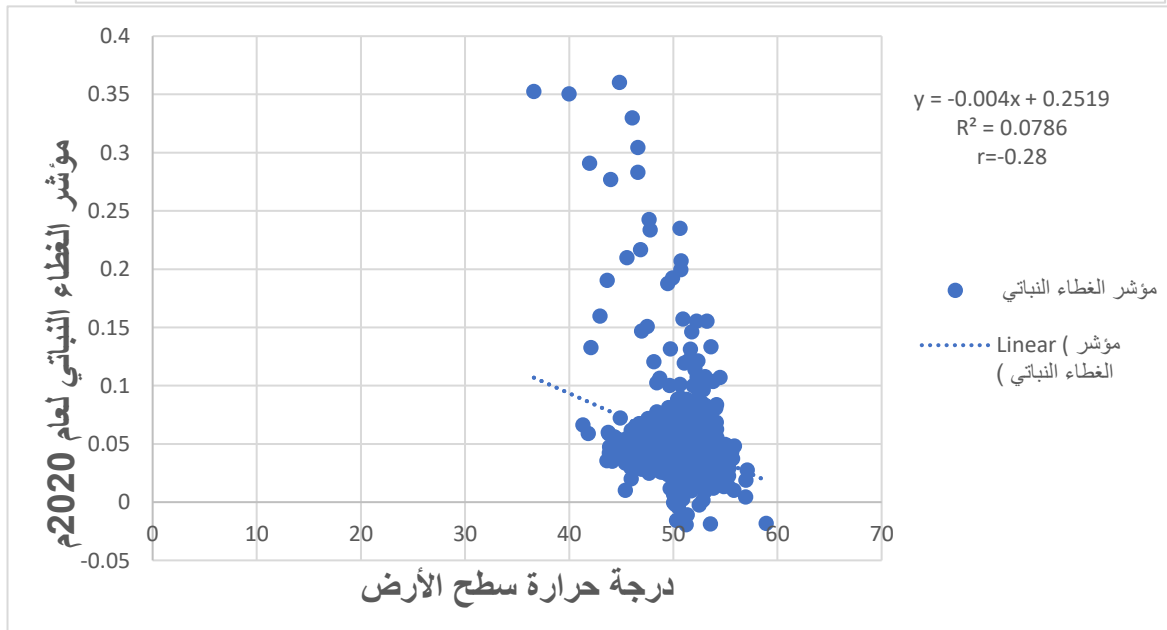
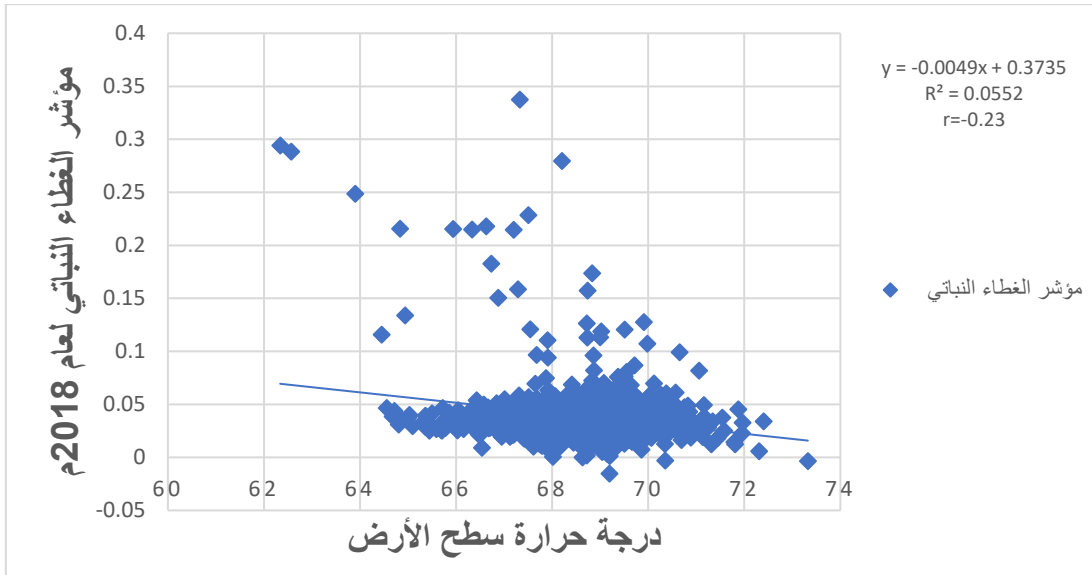
يوضح الشكل (2) معامل الارتباط لمؤشر الغطاء النباتي لأعوام الدراسة (2018-2020-2022) للمدينة المنورة. أوضحت النتائج أن معامل الارتباط لعام 2018 بلغت قيمته 0.23، وفي عام 2020 بلغت 0.28، وفي عام 2022 وصلت النتيجة إلى 0.29. ويشير التذبذب في قيمة مؤشر معامل الارتباط لمؤشر الغطاء النباتي بين سنوات الدراسة إلى عدم وجود غطاء نباتي كثيف يغطي منطقة الدراسة، بينما تشير أعلى قيمة إلى الحدائق والمناطق الزراعية، حيث تكون النباتات أكثر كثافة. ومن خلال صور (LST)، لوحظ أن أعلى درجة حرارة توجد في أطراف المدينة المنورة، وأدنى درجة حرارة توجد في المناطق النباتية مثل الحدائق والمناطق الزراعية. كما أن تغيرات استخدام الأراضي لعبت دورًا هامًا في تغيير درجات حرارة سطح الأرض. ويتضح أن العلاقة سلبية خطية ضعيفة ومنحدرة بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر (LST) ومعامل الانحدار. وهذا يوضح أن مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) يكون أقل عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أعلى، في حين يكون مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) أعلى عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أقل.

درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI)

توصلت دراسة درجة حرارة الجزر الحرارية إلى نتائج مهمة كما هو موضح في الخارطة 4، حيث تشير نتائج درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) في المدينة المنورة قبل الإغلاق في عام 2018 إلى أعلى درجة $^{\circ}\text{C}$ 17 في المناطق البعيدة عن المركز الحضري والأحياء السكنية، في حين تميزت درجة الحرارة بالانخفاض التدريجي في أجزاء متفرقة من النطاق العمراني في المدينة المنورة، حيث وصلت درجة الحرارة إلى $^{\circ}\text{C}$ 3. وخلال فترة الإغلاق في عام 2020 ارتفعت درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) بشكل عام في معظم المناطق الحضرية وبلغت $^{\circ}\text{C}$ 37. على النقيض من ذلك، انخفضت درجة الحرارة إلى $^{\circ}\text{C}$ 11. خلال فترة الإغلاق بأكملها، شهدت المدينة المنورة انخفاضًا في شدة درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI) خلال عام 2020. وتبيّن في عام 2022، وهو العام الذي انتهت فيه فترة الإغلاق، أن درجة حرارة الجزر الحرارية لجميع المناطق الحضرية في المدينة المنورة تميزت بالارتفاع في درجة حرارة الجزر الحرارية (UHI)، حيث وصلت $^{\circ}\text{C}$ 41. والجدير بالذكر أن هذا التغيير في درجة الحرارة كان مصحوبًا بزيادة النشاط البشري خلال النهار والليل مما أدى إلى ارتفاع ملحوظ مقارنة بفترة ما قبل الإغلاق عام 2018 وخلال الإغلاق عام 2020.



الشكل 4. خارطة درجة حرارة سطح الأرض 2022 C-2020 B-2018 A لمنطقة الدراسة.



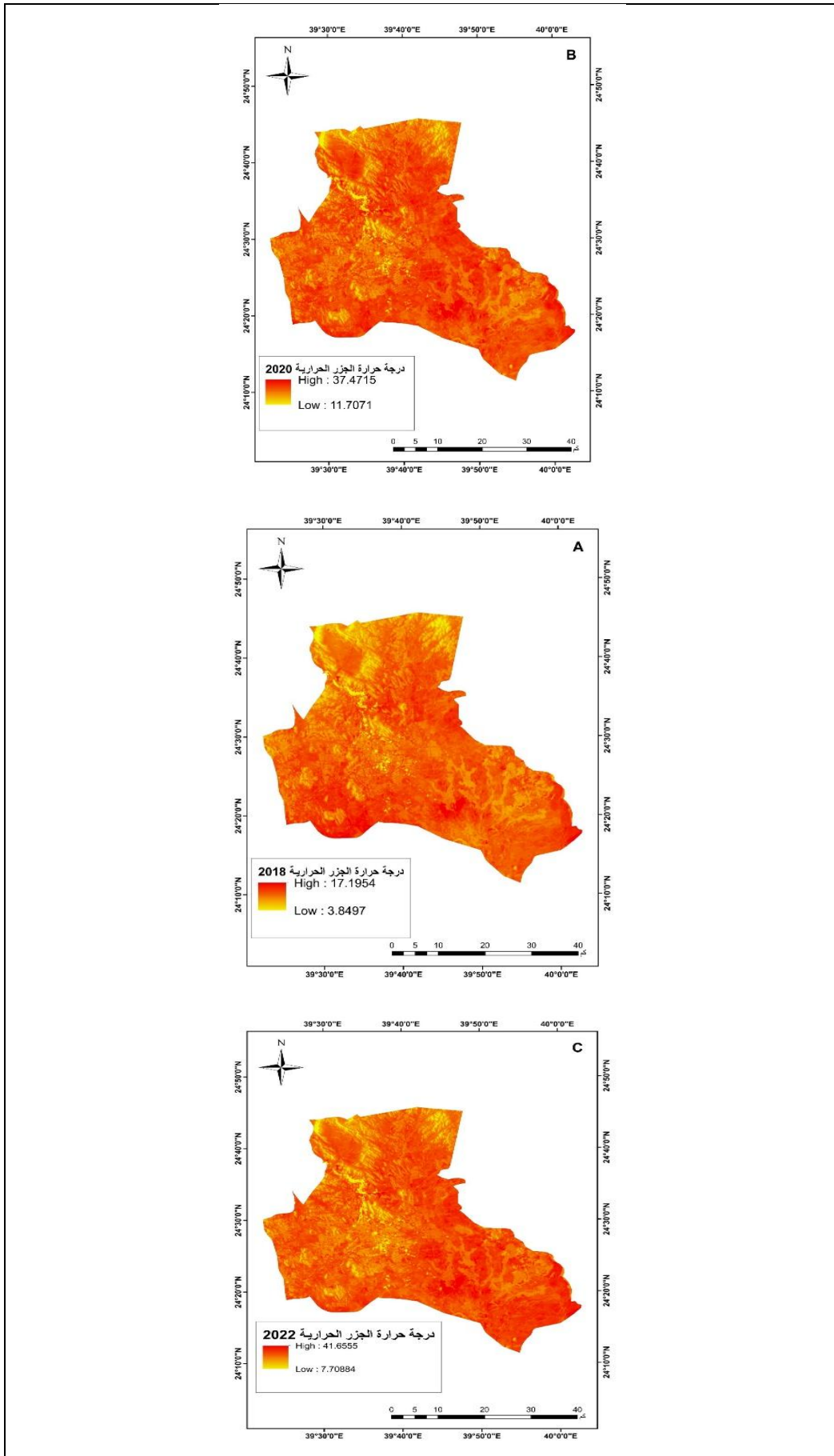
الشكل 5. معامل الارتباط لمؤشر الغطاء النباتي 2018-2020-2022 لمنطقة الدراسة.

وجاءت نتائج الدراسة مطابقة لدراسة طبقت على مدن مثل: دبي، وصنعاء، والكويت، والدوحة خلال فترة جائحة كورونا (COVID 19). وقبل جائحة كورونا تغير متوسط درجة حرارة الهواء النهارية والليلية قليلاً (أقل من 0.5 درجة سليزية تقريباً) خلال عام الإغلاق 2020 مقارنةً بنفس الفترة في عام 2019، وخاصةً في النهار (El Kenawy et al., 2021).

لقد اتخذت معظم الحكومات في جميع أنحاء العالم تدابير وقائية للحد من انتشار كوفيد 19، مما أدى إلى انخفاض كبير في استخدام المركبات والتي بدورها أدت إلى انخفاض درجات حرارة سطح الأرض وتلوث الهواء المرتبطين بمجموعة من التأثيرات البيئية، وخاصة في المناطق الحضرية ذات الحركة المرورية الكثيفة. ركزت الأبحاث حول البيئة الحرارية في الغالب على متوسط درجة حرارة سطح الأرض أو متوسط حجم الجزر الحرارية الحضرية. وفقاً لـ (Parida et al., 2021)، أدى تنفيذ سياسة الإغلاق إلى انخفاض درجة حرارة سطح الأرض بمقدار 1 إلى 2 درجة سليزية في جميع أنحاء أوروبا وأمريكا الشمالية. خلال فترة الإغلاق، انخفض متوسط شدة الجزر الحرارية الحضرية اليومية في جميع أنحاء الشرق الأوسط، وخاصة في المناطق الحضرية الصغيرة (مثل جدة وبيروت ومسقط ومكة) (El Kenawy et al., 2021). وفي مقاطعة جوتنج بجنوب إفريقيا، كانت شدة الجزر الحرارية الحضرية السطحية ودرجة حرارة سطح الأرض أقل بكثير من العام السابق (Shikwambana et al., 2021).

ركزت هذه الدراسة على اكتشاف تأثير الإغلاق الحضري لجائحة كورونا COVID 19 على درجة حرارة الجزر الحرارية UHI في المدينة المنورة قبل وخلال الإغلاق وبعد جائحة كوفيد-19. تم جمع صور لاندسات-8 لتحديد نمط الغطاء النباتي NDVI وتحديد مناطق الجزر الحرارية UHI. في هذه الدراسة، تم استخلاص مؤشر الغطاء النباتي NDVI ووفقاً للنتائج فإن مؤشر الغطاء النباتي NDVI لعام 2020 ارتفعت فيه قيمة نسبة الغطاء النباتي. وامتازت درجات الحرارة LST لأعوام الدراسة بالارتفاع تارة والانخفاض تارة أخرى، ويرجع ذلك إلى انخفاض حركة الأنشطة البشرية وتباطؤ أنشطة النقل والتجارة خلال فترة الإغلاق كوفيد-19. جنباً إلى جنب مع شدة الجزر الحرارية UHI فقد لوحظ اختلاف شدة تأثير الجزر الحرارية الحضرية UHI حسب الوقت من اليوم والموسم والظروف الشاملة والديناميكيات المرتبطة بالنظم البيئية المحلية، مثل تأثير أوراق النباتات والتبخر (Manoli et al., 2019). وبالمثل، يختلف مؤشر حرارة سطح الأرض القريبة من البحار خلال فترات النهار عن الليل. وتجدر الإشارة إلى أن الدراسة حددت كمية التباین في مؤشرات الغطاء النباتي NDVI وحرارة سطح الأرض LST قبل وخلال وبعد عامين من إغلاق كوفيد-19. علاوة على ذلك، قامت الدراسة الحالية بتقييم الفرق في مؤشر الغطاء النباتي NDVI ودرجة حرارة سطح الأرض LST في شهر مايو 2018 قبل الجائحة ومباشرةً خلال الإغلاق (2020) وبعد الانتهاء من الجائحة 2022.

كانت بعض القيود التي لوحظت بشكل عام تقف في وجه إتمام البحث بشكل جيد، لأن جميع التحليلات كانت تستند إلى تفسير صور الأقمار الصناعية Landsat 8 بالاعتماد على برنامج نظم المعلومات الجغرافية GIS، وحصلت هذه الدراسة على بيانات درجة حرارة سطح الأرض (LST) النهارية فقط، ولم يتم تناول تأثير القيود أثناء الليل في هذه الدراسة. قد يكون لدرجة حرارة سطح الأرض (LST) الحضري دور في معرفة الفرق بين درجات الحرارة في النهار واختلافها في الليل وبالتحديد ما قبل الجائحة وخلال فترة الإغلاق وبعد الإغلاق. كما أن للقيود السياسية التي فرضتها الحكومة على سكانها من الحد من انتشار المرض لعبت دوراً حاسماً في انخفاض درجة الجزر الحرارية في منطقة الدراسة.



الشكل 6. خارطة درجة حرارة الجزر الحرارية: (A-2018 (B-2020 (C-2022 لمنطقة الدراسة.

الاستنتاجات

قد يرتبط مع النمو الحضري المتسارع في المدن والزيادة في أعداد السكان حدوث تغيرات ملحوظة على المناخ الحضري للمدن، والتي تنعكس بدورها على حياة سكان المدن والأنشطة البشرية. من تلك التغيرات التي تتسبب في تغير المناخ الحضري للمدن جائحة (COVID 19)، والتي بدورها أثرت على درجة حرارة الجزر الحرارية للمدينة المنورة. إن ما تشهده المدينة المنورة من تقاوم المشكلات الحضرية - ومنها الجزر الحرارية الحضرية- يعتبر انعكاسًا لمكانتها الدينية ونموها العمراني والزيادة السكانية فيها.

توصلت الدراسة إلى أن جائحة كورونا (COVID 19) تمثل أحد الأسباب التي أثرت في درجة حرارة المدينة المنورة، وظهر ذلك التأثير للجائحة من خلال فحص مؤشر الغطاء النباتي على الجزر الحرارية، حيث لوحظ انخفاض مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) خلال سنوات الدراسة (2018-2020-2022) عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أعلى، وحيث يكون مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) أعلى عندما تكون درجة حرارة سطح الأرض أقل، وهذا يوضح أن العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر LST ومعامل الانحدار علاقة سلبية خطية ضعيفة ومنحدرة.

وأظهرت نتائج الدراسة للأعوام (2018-2020-2022) أن درجة حرارة سطح الأرض أخذت في اتجاه تنازلي في أطراف المناطق الحضرية وبالتحديد أطراف المدينة المنورة. وفقًا للبيانات التي تمت مراقبتها، كان هذا الإغلاق مفيدًا أيضًا في تقليل درجة حرارة سطح الأرض في المدينة المنورة. وهذا بدوره يمكن ان يقودنا الى استنتاج أن الإغلاق لعب دورًا حاسمًا في خفض متوسط درجة حرارة سطح الأرض في المدينة المنورة، فمن المفترض أنه أدى الإغلاق الحضري إلى انخفاض الانبعاثات البشرية، وذلك بشكل رئيس من خلال انخفاض أنشطة النقل والأنشطة الصناعية. ويمكن أن تكون نتائج الدراسة الحالية بمثابة دليل لقياس فعالية التدابير المتخذة للتخفيف من تأثير جزيرة الحرارة الحضرية، والتي تشمل انخفاض حركة المركبات، والتغيرات في المناظر الطبيعية، والإغلاقات قصيرة المدى؛ للسيطرة على الحرارة الناجمة عن أنشطة الإنسان. فهذه التدابير تساهم صناع القرار على فهم الديناميكيات المعقدة للجزر الحرارية الحضرية من خلال إلقاء الضوء على التفاعل بين المناخ في المناطق الحضرية والريفية، حيث لا يمكن تخفيف التأثير ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية إلا من خلال وضع استراتيجيات تساهم في تخفيف الآثار السلبية لجزر الحرارة الحضرية داخل المدن على رفاة الإنسان والبيئة، وايضاً في الحد من تأثير جزيرة الحرارة الحضرية على المدن سريعة التحضر في المملكة العربية السعودية.

التوصيات

- تقترح الدراسة استخدام بيانات أقمار صناعية أخرى ذات دقة مكانية وزمنية أعلى لتقليل تأثير الاضطرابات الجوية.
- توصي الدراسة بضرورة التحقق بعمق في تأثير الأنشطة البشرية، والجوانب الاجتماعية والاقتصادية، وغيرها من محركات تأثير جزيرة الحرارة الحضرية.
- يمكن أن تتضمن الأبحاث المستقبلية بيانات حرارية ليلية وعطلات نهاية الأسبوع لفهم تأثير الإغلاق على الأنشطة الحضرية وطرق استخدام الأراضي بشكل أفضل وبطريقة شاملة.
- الاستفادة من الجزر الحرارية في التشجير لخلق جودة حياة ملائمة للسكان.
- يجب على صناع السياسات صياغة قوانين أو لوائح جديدة لوقف التحويل غير القانوني أو غير المخطط له للأراضي على الجزر الحرارية الحضرية داخل المدينة المنورة.

- هناك العديد من الطرائق المختلفة لتقييم مناطق الجزر الحرارية ورسم خرائط لشدة جزيرة الحرارة. لذلك، ينبغي تقييم الصور عالية الدقة والمقاييس الأخرى للحصول على معرفة أعمق بالجزر الحرارية.
- من أجل فهم أفضل لتغير نمط الغطاء النباتي وتغير درجة حرارة سطح الأرض وجزر الحرارية، فإن الدراسة الطولية ستكون أكثر تعقيداً. علاوة على ذلك، يجب مراعاة الإغلاق قصير المدى (أسبوع أو أسبوعين) أثناء إجراء هذا النوع من الدراسة بدلاً من الإغلاق طويل المدى.

المصادر

- Al-Shanti, A., 1993. Geology of the Arabian Shield. Scientific Publishing Center, King Abdulaziz University. <https://2u.pw/BKTCAKhi>
- Ali, G., Abbas, S., Qamer, F.M., Wong, M.S., Rasul, G., Irteza, S.M., and Shahzad, N., 2021. Environmental impacts of shifts in energy, emissions, and urban heat island during the COVID-19 lockdown across Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125806>
- Al-Munawwarah, A.A., 2017. The first report evaluating the master plan for Al-Munawwarah prepared in 1413 AH.
- Al-Masarwa, A.A.T., 2019. Changes in land cover patterns in Al-Qasr District, Jordan, during the period (1986-2016) through the application of remote sensing and geographic information systems techniques. *University of Sharjah Journal of Humanities and Social Sciences*, pp. 26-54, 16(1A).
- Alqasemi, A.S., Hereher, M. E., Kaplan, G., Al-Quraishi, A.M.F., and Saibi, H., 2021. Impact of COVID-19 lockdown upon the air quality and surface urban heat island intensity over the United Arab Emirates. *Science of the Total Environment*, 767, 144330. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144330>
- Al-Saadi, A.A.S., Salem, A.A., Al-Muqri, and Saad, D.M.B., 2024. Using Big Data in Remote Sensing to Analyze Changes in Urban Climate Resilience in Madinah during the Period 2000-2022. *Journal of the Geographical and Cartographic Research Center*, 21(39), pp. 21-53. DOI: [10.21608/mkgc.2024.285201.1140](https://doi.org/10.21608/mkgc.2024.285201.1140)
- Andreou, E., 2014. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy*, 63, pp. 587-596. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.051>
- Arrofiqoh, E.N. and Setyaningrum, D.A., 2021. The impact of COVID-19 pandemic on land surface temperature in Yogyakarta Urban Agglomeration. *Geospatial Information*, 5(1).
- Chakraborty, T., Sarangi, C., and Lee, X. 2021. Reduction in human activity can enhance the urban heat island: Insights from the COVID-19 lockdown. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054060. DOI:[10.1088/1748-9326/abef8e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abef8e)
- Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X. and Yin, Z.-Y., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2), pp. 133-146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- 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., and Hereher, M.E., 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, 117802.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117802>
- Glocke, P., Bechtel, B., and Sismanidis, P., 2023. Consideration of Altered Anthropogenic Behavior during the First Lockdown and Its Effects on Air Pollutants and Land Surface Temperature in European Cities. *Atmosphere*, 14(6), 1025. <https://doi.org/10.3390/atmos14061025>
- Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., and Li, X., 2020. Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972.
- Hwang, R.-L., Lin, T.P., and Lin, F.Y., 2020. Evaluation and mapping of building overheating risk and air conditioning use due to the urban heat island effect. *Journal of Building Engineering*, 32, 101726.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101972>
- Jallu, S.B., Shaik, R.U., Srivastav, R. and Pignatta, G., 2022. Assessing the effect of COVID-19 lockdown on surface urban heat island for different land use/cover types using remote sensing. *Energy Nexus*, 5, 100056.
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100056>
- Kafy, A.-A., Al Rakib, A., Akter, K.S., Jahir, D.M.A., Sikdar, M.S., Ashrafi, T.J., Mallik, S., and Rahman, M.M., 2021. Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. *Environmental Challenges*, 4, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100192>
- Latuamury, B., 2013. Hubungan antara indeks vegetasi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan koefisien resesi baseflow pada beberapa subdas Propinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknosains*, 2(2). <https://doi.org/10.22146/teknosains.5998>
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G.R., Imhoff, M., and Li, X., 2017. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605, pp. 426-435.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.229>
- Mallick, J., Kant, Y., and Bharath, B., 2008. Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *J. Ind. Geophys. Union*, 12(3), pp. 131-140.
- Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T.W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G.G. and Bou-Zeid, E., 2019. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*, 573(7772), pp. 55-60.
- Meftahi, M., Monavari, M., Kheirkhah Zarkesh, M., Vafaeinejad, A. and Jozi, A., 2022. Achieving sustainable development goals through the study of urban heat island changes and its effective factors using spatio-temporal techniques: the case study (Tehran city). *Natural resources forum*, <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12245>
- Najah, F.T., Abdullah, S.F.K., and Abdulkareem, T.A., 2023. Urban land use changes: Effect of green urban spaces transformation on urban heat islands in Baghdad. *Alexandria Engineering Journal*, 66, pp. 555-571.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.11.005>
- Nations, U.U., 2014. Population Division, Urban Agglomerations. Department of Economic and Social Affairs.

- Parida, B.R., Bar, S., Kaskaoutis, D., Pandey, A.C., Polade, S.D. and Goswami, S., 2021. Impact of COVID-19-induced lockdown on land surface temperature, aerosol, and urban heat in Europe and North America. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103336. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103336>
- Roshan, G., Sarli, R., and Grab, S.W., 2021. The case of Tehran's urban heat island, Iran: Impacts of urban 'lockdown' associated with the COVID-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103263. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103263>
- Shikwambana, L., Kganyago, M., and Mhangara, P., 2021. Temporal analysis of changes in anthropogenic emissions and urban heat islands during COVID-19 restrictions in Gauteng province, South Africa. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(9), 200437. <https://doi.org/10.4209/aaqr.200437>
- Sismanidis, P., Bechtel, B., Keramitsoglou, I., Liu, Z., and Zhan, W., 2023. The Intensity of Surface Urban Heat Islands in the Global North during the COVID-19 Lockdowns. 2023 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), [10.1109/JURSE57346.2023.10144159](https://doi.org/10.1109/JURSE57346.2023.10144159)
- Teufel, B., Sushama, L., Poitras, V., Dukhan, T., Bélair, S., Miranda-Moreno, L., Sun, L., Sasmito, A.P., and Bitsuamlak, G., 2021. Impact of COVID-19-related traffic slowdown on urban heat characteristics. *Atmosphere*, 12(2), 243. <https://doi.org/10.3390/atmos12020243>
- Zambrano-Monserrate, M.A., Ruano, M.A., and Sánchez-Alcalde, L., 2020. Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, 728, 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>