

# تقييم تأثير تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين ودرجة حرارة سطح الأرض على كثافة الغطاء النباتي في محافظة القطيف باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية.\*

د. ابتسام عبد العزيز عبد الله التميم

أستاذ الحيوية المساعد

قسم الجغرافيا والاستدامة البيئية - كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية

جامعة الاميرة نورة بنت عبد الرحمن

الرياض - المملكة العربية السعودية

## الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم العلاقة بين تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين ( $NO_2$ ) ، ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) ، وصحة الغطاء النباتي في محافظة القطيف، السعودية، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية ومنصة Google Earth Engine. أظهرت النتائج زيادة ملحوظة في تراكيز  $NO_2$  خلال فصل الشتاء مقارنة بالصيف، حيث تراوحت القيم بين (0.18 و  $0.232 \times 10^3$  مول/م<sup>2</sup>) في الشتاء، و(0.162 و  $0.182 \times 10^3$  مول/م<sup>2</sup>) في الصيف بين 2018 و 2022.

شهد مؤشر NDVI تحسناً تدريجياً في الصيف من 0.568 عام 2018 إلى 0.592 عام 2021، قبل أن ينخفض بشكل كبير في 2022 (0.380) واستمر حتى 2024 (0.446). في الشتاء، سجل أدنى قيمة في 2023 (0.304) ثم تحسن إلى 0.484 في 2024. أما LST ، فقد سجلت أعلى درجات حرارة في الصيف (50-53 درجة مئوية)، بينما انخفضت في الشتاء (27-31 درجة مئوية)، مع انخفاض تدريجي في السنوات الأخيرة، حيث تراجعت من 53.84 درجة مئوية في 2020 إلى 50.08 درجة مئوية في 2024.

كشفت العلاقة العكسية بين NDVI و LST عن تأثير ارتفاع درجات الحرارة على صحة النباتات، حيث تراوح معامل الارتباط بين -0.1730 و -0.02400 في الصيف، مع تأثير ملحوظ في سنوات مثل 2022. في الشتاء، كانت العلاقة أقل وضوحاً بقيم سالبة ضعيفة. أما العلاقة بين  $NO_2$  وصحة الغطاء النباتي، فكانت غير مستقرة، حيث تفاوتت بين ارتباطات موجبة وسالبة، مما يعكس تأثيراً مختلفاً لتلوث الهواء على النباتات بين الفصول

(\*مجلة كلية الآداب جامعة القاهرة المجلد (84) العدد (7) أكتوبر 2024.

والسنوات.

كلمات مفتاحية: صحة الغطاء النباتي، مؤشر NDVI، ثاني أكسيد النيتروجين، درجة حرارة سطح الأرض، الاستشعار عن بُعد، منصة Google Earth Engine.

## Evaluation of the Impact of Nitrogen Dioxide Concentrations and Land Surface Temperature on Vegetation Cover Density in Al-Qatif Governorate Using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques

### Abstract

This study aims to evaluate the relationship between nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ) concentrations, land surface temperature (LST), and vegetation health in Qatif Governorate, Saudi Arabia, using remote sensing techniques, Geographic Information Systems (GIS), and the Google Earth Engine platform. The results revealed a significant increase in  $\text{NO}_2$  concentrations during winter compared to summer, with values ranging between 0.18 and  $0.232 \times 10^3$  mol/m<sup>2</sup> in winter and 0.162 and  $0.182 \times 10^3$  mol/m<sup>2</sup> in summer from 2018 to 2022.

The NDVI index showed a gradual improvement in summer, increasing from 0.568 in 2018 to 0.592 in 2021, before sharply declining in 2022 (0.380) and continuing to decrease until 2024 (0.446). In winter, it recorded its lowest value in 2023 (0.304) before improving to 0.484 in 2024. As for LST, the highest temperatures were recorded in summer (50–53°C), while winter temperatures ranged between 27 and 31°C. A gradual decrease in LST was observed in recent years, with maximum values dropping from 53.84°C in 2020 to 50.08°C in 2024.

The inverse relationship between NDVI and LST highlighted the impact of elevated temperatures on vegetation health, with correlation coefficients ranging from -0.1730 to -0.02400 in summer, showing significant effects in years like 2022. In winter, the relationship was less pronounced, with weak negative values. The relationship between  $\text{NO}_2$  and vegetation health was unstable, fluctuating between positive and negative correlations, reflecting varying impacts of air pollution on vegetation across seasons and years.

**Keywords:** Vegetation health, NDVI index, nitrogen dioxide, land surface temperature, remote sensing, Google Earth Engine platform.

المقدمة:

على الرغم من وضع برامج وسياسات متنوعة على المستويات الدولية والإقليمية والمحلية لمعالجة مشكلة تلوث الهواء وتعزيز الاستدامة البيئية (Melamed et al., 2016)، إلا أن هذا التلوث يعد السبب الرابع الرئيس للوفاة المبكرة على مستوى العالم والتهديد الخارجي الأكثر تأثيراً على متوسط العمر المتوقع للإنسان (Health Effects Institute, 2020; Greenstone & Hasenkopf, 2023). هذا، ويلعب ثاني أكسيد النيتروجين NO<sub>2</sub> دوراً رئيسياً من بين الملوثات المحيطة الأخرى (Song et al., 2023) حيث يؤثر سلباً على صحة الإنسان والنبات حيث يضعف التركيب الضوئي ويؤدي إلى تلف الأوراق، وقد يسهم في تحمض التربة والمياه، مما يضر بجودة التربة وصحة النباتات (Rao et al., 2014; Deljouei et al., 2018).

تتداخل العلاقة بين NO<sub>2</sub> والغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) بطرق معقدة تؤثر على البيئة، وهذه العلاقة جذبت العلماء الذين يبحثون عن حلول طويلة الأمد لتقليل تلوث الهواء (Anenberg et al., 2018; Huang JianXi et al., 2019). في الواقع، يلعب الغطاء النباتي دوراً حيوياً في تحسين جودة الهواء من خلال عمليات مثل التركيب الضوئي وامتصاص ملوثات الهواء (Rahaman et al., 2023; Khan et al., 2022)، كما أن التغيرات في الغطاء الأرضي واستخدام الأراضي تؤثر مباشرة على درجة حرارة سطح الأرض، مما يؤدي إلى تغيرات في الظروف البيئية (Fuladlu & Altan, 2021).

يعد الحصول على تقدير دقيق لتراكيز NO<sub>2</sub> ولدرجة حرارة سطح الأرض والحالة الصحية للنبات بالطرائق التقليدية تحدياً حقيقياً، وذلك بسبب الكلفة المادية والزمانية التي تتطلبها هذه الطرائق. بالمقابل، تلعب تقنيات الاستشعار عن بعد المتقدمة ونظم المعلومات الجغرافية والبيانات التي توفرها الأقمار الصناعية والمستشعرات مثل Sentinel 5P و MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) و Landsat 8 دوراً حاسماً في معالجة هذه الفجوة. فالأول يزودنا ببيانات دقيقة حول العمود الرأسي لـ NO<sub>2</sub> في التروبوسفير (Zheng

(et al., 2019) في حين يزودنا الثاني ببيانات حول درجة حرارة سطح الأرض (LST) (Phan & Kappas, 2018) ويزودنا الثالث بإمكانية حساب مؤشر الفرق المعياري للنبات (NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) والذي يعد مؤشراً هاماً على صحة الغطاء النباتي (Ke et al., 2015; Mehmood et al., 2024)

إن التحضر السريع والتصنيع في محافظة القطيف في المملكة العربية السعودية قد زاد من تلوث الهواء، مما أدى إلى تحديات بيئية وصحية كبيرة. تتناول هذه الدراسة تقييم العلاقة بين تراكيز  $NO_2$ ، وتغيرات درجة حرارة سطح الأرض (LST)، وصحة الغطاء النباتي في هذه المنطقة بين عامي 2018 و2024. تقترض الدراسة أن هنالك علاقة بين مستويات  $NO_2$  وLST وتدهور صحة الغطاء النباتي. تستخدم الدراسة منصة الحساب السحابي Google Earth Engine (GEE) وبيانات الاستشعار عن بُعد الخاصة بمحافظة القطيف، وذلك لفهم تأثير العوامل المناخية، مثل تغيرات الغطاء النباتي وLST، على مستويات  $NO_2$ . كما تستكشف العلاقة بين تقلبات LST وديناميكيات الغطاء النباتي وتركيزات  $NO_2$  في هذه المحافظة خلال فترة الدراسة، بهدف تقديم رؤى لدعم الإدارة البيئية والتخطيط الحضري لتعزيز الاستدامة.

## 2. أسئلة البحث

حاول البحث الإجابة على السؤال الرئيسي التالي: ما هي العلاقة بين تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين ( $NO_2$ ) ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) وصحة الغطاء النباتي، المقاسة بمؤشر الفرق المعياري للنبات (NDVI)، في محافظة القطيف خلال الفترة الممتدة من 2018 إلى 2024؟

## 3. أهداف البحث وأهميته

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم العلاقة بين تراكيز ثاني أكسيد النيتروجين

( $NO_2$ ) ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) مع صحة الغطاء النباتي في محافظة القطيف، السعودية، حيث تزايدت مستويات التلوث نتيجة التحضر والتصنيع السريعين. تعتمد الدراسة على تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية لقياس مستويات  $NO_2$  وتأثيراتها على صحة الغطاء النباتي باستخدام مؤشر الفرق المعياري للنبات (NDVI)، إلى جانب تحليل تقلبات LST. تسهم نتائج البحث في تقديم رؤى هامة لدعم الإدارة البيئية والتخطيط الحضري عبر تطوير سياسات مستدامة للحد من التلوث وتحسين جودة الهواء، مما يعزز الاستدامة البيئية ويسهم في تحسين جودة الحياة في المحافظة.

#### 4. الدراسات السابقة

تتنوع الدراسات التي تناولت العلاقة بين تراكيز  $NO_2$  ، درجة حرارة سطح الأرض (LST) ، والغطاء النباتي في سياقات مختلفة، مع التركيز على المناطق الحضرية والبيئات الطبيعية. في السويد، أظهرت دراسة في غوتنبرغ أن المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف تحتوي على مستويات  $NO_2$  أقل بنسبة 7% مقارنة بالمناطق الحضرية. (Chaparro-Suarez et al., 2011) وأكدت دراسة أخرى أن تحلل أوراق الأشجار المتساقطة يساهم في تحويل  $NO_2$  وتقليل مستوياته في أوروبا (Yli-Pelkonen et al., 2017). في الولايات المتحدة، وجد تحليل في بالتيمور أن المناطق الحضرية ذات درجات الحرارة المرتفعة كانت تحتوي على مستويات أعلى من  $NO_2$ ، بينما ساهم الغطاء النباتي في تخفيض درجات الحرارة ومستويات جزيرة الحرارة الحضرية. (Rahaman et al., 2023) أما في منطقة دلتا النيل، فقد تم تحديد علاقة إيجابية بين LST ومجموعة من ملوثات الهواء مثل  $NO_2$  و  $SO_2$  و  $PM_{10}$  (El-Gamma et al., 2012). و أظهرت دراسات عالمية أخرى ارتباط LST مع ملوثات هوائية أخرى، مما يعكس دورها الأساسي في فهم الأنماط البيئية (Fuladlu & Altan, 2021).

في السياق السعودي، استخدمت دراسات مثل (Almalki & Al-Namazi, 2019) صور Landsat 8 لتحليل LST في الجبيل الصناعية، حيث سجلت درجات

حرارة سطحية بين 29 و 77.2 درجة مئوية. كما قيّم (Salman et al., 2021) جودة الهواء والحرارة في جنوب الرياض، موضحاً تحسن جودة الهواء خلال فترات الإغلاق المرتبطة بجائحة كوفيد-19.

رغم وفرة الدراسات التي تناولت العلاقات الثنائية بين  $NO_2$  ، LST ، و NDVI، إلا أن الدراسات التي تربط بين هذه المتغيرات الثلاثة في إطار شامل تظل نادرة، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة مثل القطيف. تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة، مستهدفة تحليل التأثيرات التبادلية لهذه المتغيرات على مدى زمني طويل يمتد لسبع سنوات، مما يقدم مساهمات علمية لتحسين فهم العلاقة بين التلوث الهوائي وصحة البيئة الحضرية وصحة النبات.

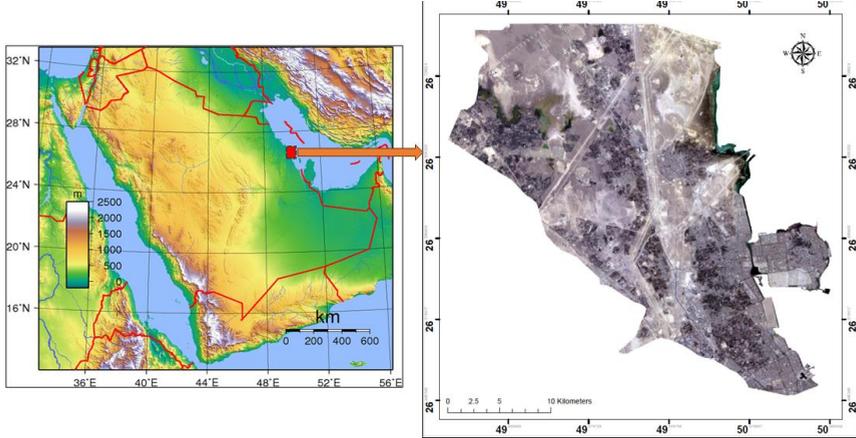
## 5- طرائق ومواد البحث

### 5-1- منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة (الشكل (1)) في محافظة القطيف في المنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية التي تمتد على ساحل الخليج العربي في الجزء الشرقي من المملكة. تُحاط القطيف بعدة طرق رئيسية، وتتميز بموقعها بين خطي طول حوالي  $49^\circ$  و  $50^\circ$  شرقاً وخطي عرض حوالي  $26^\circ$  شمالاً، ما يجعلها قريبة من العاصمة الإدارية للمنطقة الشرقية، الدمام. تتميز القطيف بتضاريس ساحلية وسهول زراعية خصبة وهي تتمتع بمناخ حار صيفاً ومعتدل شتاءً. يعد الصيد من أهم القطاعات الاقتصادية في المنطقة كما يشمل الاقتصاد المحلي استخراج النفط والغاز (Rahman, 2017).

تواجه القطيف تحديات بيئية ملحة (Al-Ghanem, 2010) بسبب التلوث الهوائي الناتج بشكل رئيسي عن الانبعاثات الصناعية من منشآت النفط والغاز المحيطة، فضلاً عن التوسع الحضري وزيادة عدد المركبات، مما يساهم في ارتفاع درجات الحرارة المحلية بفعل تأثير الجزيرة الحرارية الحضرية (Urban Heat Island Effect). وتتفاقم المشكلة مع تدهور الغطاء النباتي الطبيعي في

المنطقة، حيث يعاني الغطاء النباتي من التأثيرات السلبية للملوثات الهوائية، مما يضعف قدرته على التخفيف من آثار التلوث عبر امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون وتنقية الهواء.



الشكل (1). منطقة الدراسة.

## 5-2- مصطلحات البحث

### 1. بيانات تراكيز NO<sub>2</sub>

يمكن تقييم آثار تلوث الهواء باستخدام عدة طرائق، منها الرصد الأرضي، والرصد من السفن، والرصد عبر الأقمار الصناعية. يتميز الرصد عبر الأقمار الصناعية بالتغطية الكبيرة من الناحيتين المكانية والزمانية، ما يوفر رؤية شاملة حول تلوث الهواء على المستويات العالمية والإقليمية (Gao et al., 2023). تعد أكاسيد النيتروجين (NO و NO<sub>2</sub>) من الغازات النزرة الرئيسية في طبقتي التروبوسفير والستراتوسفير في الغلاف الجوي للأرض، ويتم إطلاقها إلى الجو بواسطة مصادر طبيعية (مثل حرائق الغابات، البرق، وعمليات الميكروبيولوجيا الأرضية) وبشرية (خصوصاً حرق الوقود الأحفوري واحتراق المواد النباتية). نظراً لأن NO يتحول إلى NO<sub>2</sub> والعكس صحيح خلال عمليات تستمر لحظياً طوال النهار مع وجود الأوزون (O<sub>2</sub>)، يُستخدم NO<sub>2</sub> هنا لتمثيل الكمية الإجمالية لأكاسيد النيتروجين (Harper et al., 2021; X. Li et al., 2023).

## 2. مؤشر الفرق المعياري للنبات NDVI

استخدم العديد من الباحثين مؤشر NDVI في مراقبة المناطق الخضراء باستخدام المرئيات الفضائية (Sonawane & Bhagat, 2017; Chen et al., 2019; Shah & Siyal, 2017). تتراوح قيم هذا المؤشر بين  $1-$  و  $1+$  حسب قيم الأعداد الرقمية (Digital Numbers, DN) الخاصة بالمناطق تحت الأحمر القريب (Near Infrared) والنطاق الأحمر (Red) (Sonawane & Bhagat, 2017). القيم السلبية للمؤشر، التي تقع ضمن المجال  $0.1-0.2$ ، تتوافق مع الصخور، الغيوم، الثلج، السطوح المائية، والأراضي العارية. بينما النباتات السليمة والنباتات الكثيفة تحصل على قيمة موجبة تساوي تقريباً  $0.5$ ، في حين النباتات المبعثرة تتراوح قيمتها الموجبة بين  $0.2$  و  $0.5$ ، والنباتات متوسطة الكثافة تتراوح قيمتها بين  $0.4$  و  $0.6$ . تشير القيم الأكبر من  $0.6$  إلى أعلى كثافة للنباتات (Malik et al., 2019). تحسب قيمة مؤشر NDVI باستخدام العلاقة التالية:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

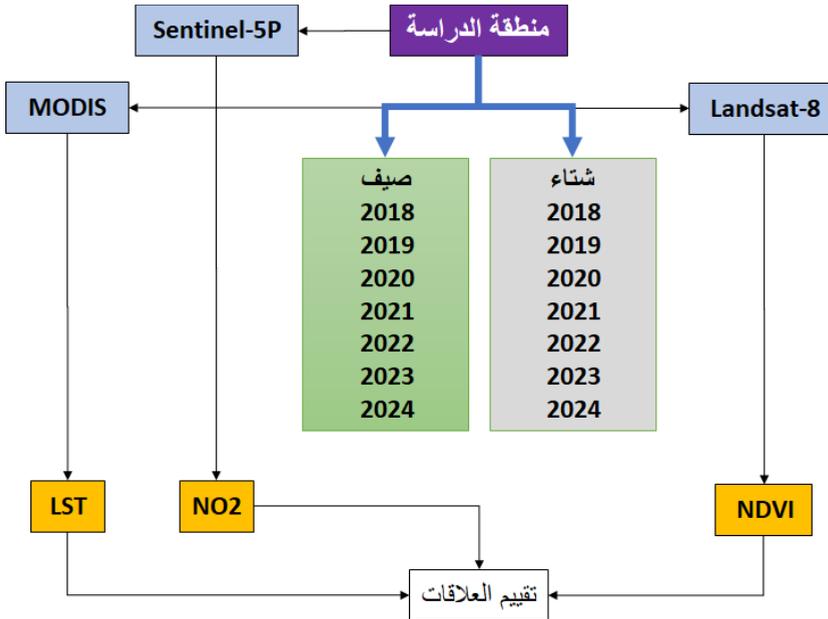
## 3. درجة حرارة سطح الأرض LST

درجة حرارة سطح الأرض (LST) هي مقياس يعكس درجة الحرارة الفعلية للسطح الأرضي كما تُقاس بواسطة الأقمار الصناعية أو أجهزة الاستشعار الأرضية. لا تمثل LST درجة الحرارة الهوائية فقط، بل تعكس الحرارة المنبعثة من سطح الأرض نفسه بما في ذلك التربة، والنباتات، والمباني. تُعد LST من المؤشرات المهمة في دراسات البيئة والمناخ، حيث ترتبط بتغيرات استخدام/غطاء الأرض مثل التحضر وإزالة الغابات (Qadri et al., 2023). كما تعد أداة أساسية في تقييم تأثير التغيرات المناخية وتوسع المدن. تُستخدم LST أيضاً في دراسة ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية (Urban Heat Island)، حيث يتم تسجيل درجات حرارة أعلى في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بسبب

الأنشطة البشرية. يتم استخراج LST باستخدام مستشعرات حرارية مثل تلك الموجودة في أقمار Landsat. كما يمكن الحصول على مرئيات تمثل درجة حرارة سطح الأرض (LST) من مجموعة بيانات MOD11A1، التي يمكن الحصول عليها بواسطة جهاز MODIS الموضوع على القمر الصناعي Terra. توفر هذه المجموعة بيانات LST يومية بدقة تمييز مكانية 1 Km، ومتاحة في نطاقات درجات الحرارة النهارية والليلية (Suthar et al., 2024).

### 3-5- جمع البيانات ومنهجية البحث

يُعد جمع البيانات خطوة أساسية أولية في أي دراسة، حيث يوفر الإطار اللازم للتقييم والتفسير. يوضح الشكل (2) مخططاً يعطي نظرة شاملة على المنهجية المستخدمة لتحليل العلاقة بين NDVI, LST, NO<sub>2</sub> في منطقة الدراسة. يعرض المخطط مصادر جمع البيانات ومعالجتها وتحليلها، بما في ذلك الحصول على الصور الفضائية، وحساب مؤشرات الغطاء النباتي، واقتطاع درجة حرارة سطح الأرض (LST) وتراكيز NO<sub>2</sub>.



الشكل (2). منهجية الدراسة.

فيما يخص التوزيع الزمني والمكاني لتركيزات  $\text{NO}_2$ ، يعد المستشعر TROPOMI الموجود على متن القمر الصناعي Sentinel-5P، أداةً دقيقة لقياس تراكيز هذا الغاز (Prunet et al., 2020). في دراستنا، تم الحصول على بيانات تركيز  $\text{NO}_2$  اليومية من TROPOMI للفترة من يناير 2018 إلى نوفمبر 2024 باستخدام المنصة Google Earth Engine (GEE)، التي توفر واجهة لتصفية وتحليل البيانات بناءً على معايير محددة، مثل الفترة الزمنية ومنطقة الدراسة. تشمل البيانات المستخدمة التركيزات اليومية للعمود العمودي  $\text{NO}_2$  في طبقة التروبوسفير من إصدار TROPOMI-1 المستوى 3، والتي تتمتع بدقة مكانية 1 km (X. Li et al., 2023).

بالنسبة لمؤشر NDVI فقد تم حسابه بتطبيق المعادلة (1) وذلك باستخدام بيانات مجموعة Landsat 8 من المستوى الأول في الوقت الفعلي، حيث كانت نسبة الغيوم أقل من 5% في الصور المستخدمة. تُعتبر مشاهد المستوى الأول من Landsat مناسبة لدراسات السلاسل الزمنية كونها تقدم أعلى جودة متاحة للبيانات. يُعد استخدام التضاريس ذات الدقة العالية في المستوى الأول جزءاً أساسياً لإدارة بيانات المستوى الأول، حيث يتميز بقدرة إشعاعية ومعايرة دقيقة بين مختلف مستشعرات Landsat. يتضمن بيانات Landsat 8 OLI/TIRS معلومات حول الانعكاسية السطحية المصححة جويًا من مجموعة البيانات الزمنية في المستوى الأول.

أخيراً، تم استخراج المرئيات الفضائية النهارية MODIS LST بدقة مكانية 1 km لمنطقة الدراسة والتي تحتوي هذه المنتجات على تصحيحات لإزالة تأثير الغلاف الجوي باستخدام المنصة Google Earth Engine (GEE).

ونشير هنا إلى أننا استخدمنا المنصة GEE لتجاوز تحديات إنشاء خرائط المؤشرات NDV, LST، وتراكيز  $\text{NO}_2$  لأن منطقة الدراسة واسعة وتتطلب معالجتها كميات كبيرة من البيانات، بالإضافة إلى الحاجة إلى سعة تخزين كبيرة وقوة معالجة ومرونة لتنفيذ نهج متعدد الجوانب وهو ما تؤمنه هذه المنصة

(Ghasempour et al., 2021). في الواقع، تمزج المنصة GEE بين الاستشعار عن بُعد والبيانات الضخمة، مما يتيح معالجة وتحليل بيانات الأقمار الصناعية بسهولة وسرعة (Gorelick et al., 2017; Sidhu et al., 2018). توفر هذه المنصة صوراً فضائية مستقلة بدقة مكانية مختلفة، وتعتمد على لغات برمجة مثل JavaScript و Python لمعالجة الأكواد باستخدام بنية MapReduce، وهي تقنية تعمل على تقسيم كميات كبيرة من البيانات إلى أجزاء صغيرة ومعالجتها عبر أجهزة متعددة (Shelestov et al., 2017; Mateo-García et al., 2018). يلخص الجدول (1) معلومات تفصيلية حول البيانات المستخدمة في البحث.

**الجدول (1). مجموعة البيانات الجغرافية المكانية المستخدمة في الدراسة مع مواصفاتها**

البيانات المستخدمة	نوع البيانات	دقة التمييز المكانية	دقة التمييز الزمانية	مصدر البيانات	توافر البيانات	الوحدات
NO2 من القمر الصناعي Sentinel 5P TROPOMI	مرثيات Raster	1000 m	يومي	European Union/ESA/Copernicus	2018 حتى الآن	مول/المتر المربع
درجة حرارة سطح الأرض (LST)	مرثيات Raster	1000 m	يومي	MODIS	2000 حتى الآن	K (كالفن)
مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)	مرثيات Raster	30 m	كل 16 يوم	Landsat 8	2013 حتى الآن	متر مربع

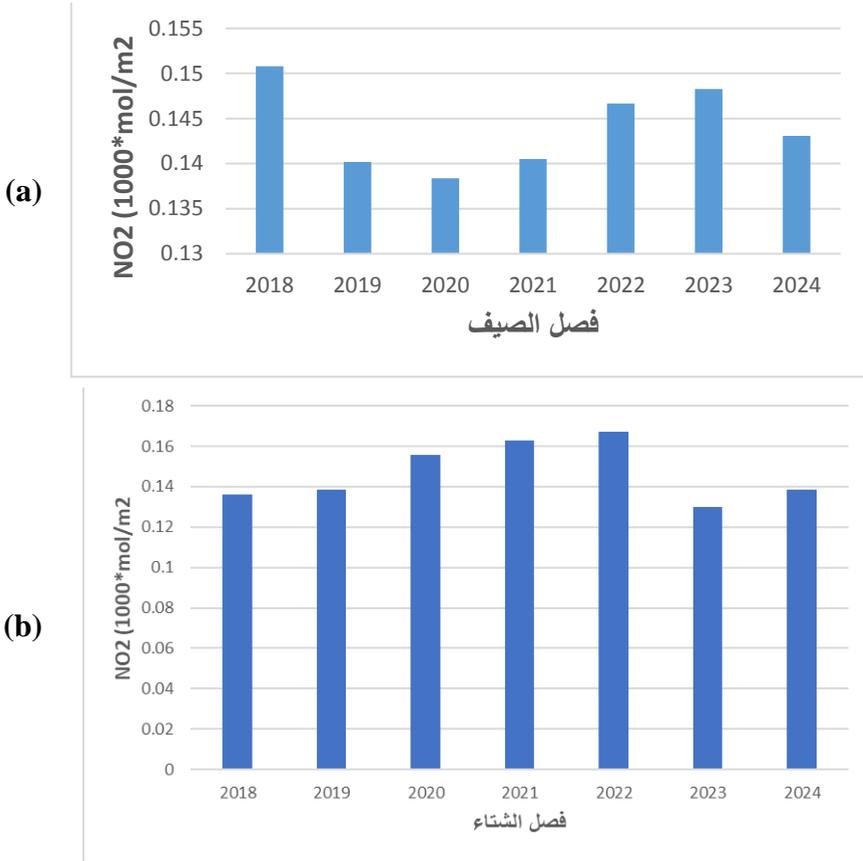
## 6- النتائج

6-1- التغيرات في تراكيز NO<sub>2</sub>

يوضح الجدول (2) عرضاً لتراكيز NO<sub>2</sub> الصغرى، الوسطية والعظمى في القطيف خلال فصلي الصيف والشتاء من عام 2018 إلى 2024، أما الشكل (3.a) فيوضح التراكيز العظمى لـ NO<sub>2</sub> خلال الموسم الصيفي ويوضح الشكل (3.b) هذه التراكيز خلال الموسم الشتوي. كما توضح الأشكال من 4 إلى 10 خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة والتي تم اقتطاعها باستخدام المنصة GEE بعد تنفيذ الكود المطور باستخدام Java Script.

الجدول (2). تراكيز NO<sub>2</sub> في منطقة الدراسة خلال الموسمين الصيفي والشتوي.

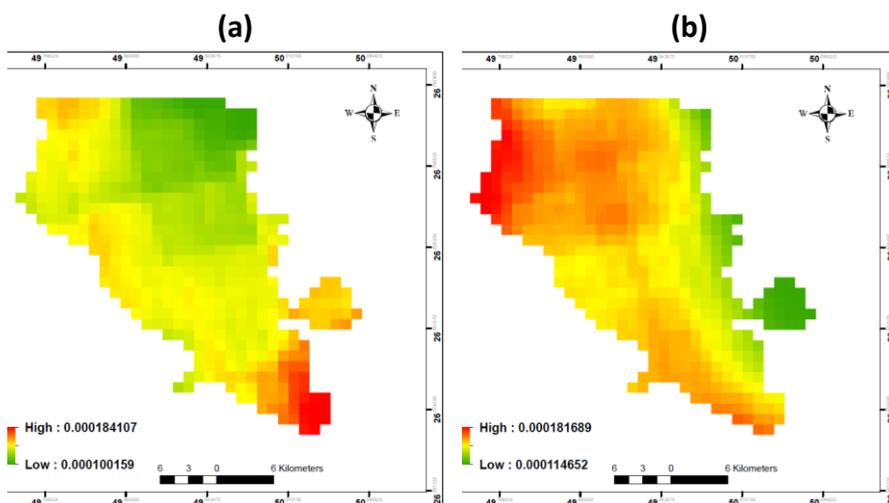
NO2 max (mol/m <sup>2</sup> ) ×10 <sup>3</sup>	NO2 mean (mol/m <sup>2</sup> ) ×10 <sup>3</sup>	NO2 min (mol/m <sup>2</sup> ) ×10 <sup>3</sup>	العام
0.182	0.152	0.115	2018
0.162	0.141	0.115	2019
0.166	0.139	0.112	2020
0.163	0.141	0.109	صيف 2021
0.174	0.147	0.121	2022
0.169	0.149	0.116	2023
0.163	0.144	0.117	2024
0.184	0.135	0.1	2018
0.18	0.138	0.121	2019
0.203	0.155	0.131	2020
0.223	0.163	0.113	شتاء 2021
0.232	0.166	0.143	2022
0.173	0.129	0.118	2023
0.17	0.139	0.107	2024



الشكل (3). (a) التغيرات في تراكيز NO<sub>2</sub> العظمى في منطقة الدراسة خلال فصول الصيف، (b) التغيرات في تراكيز NO<sub>2</sub> العظمى في منطقة الدراسة خلال فصول الشتاء.

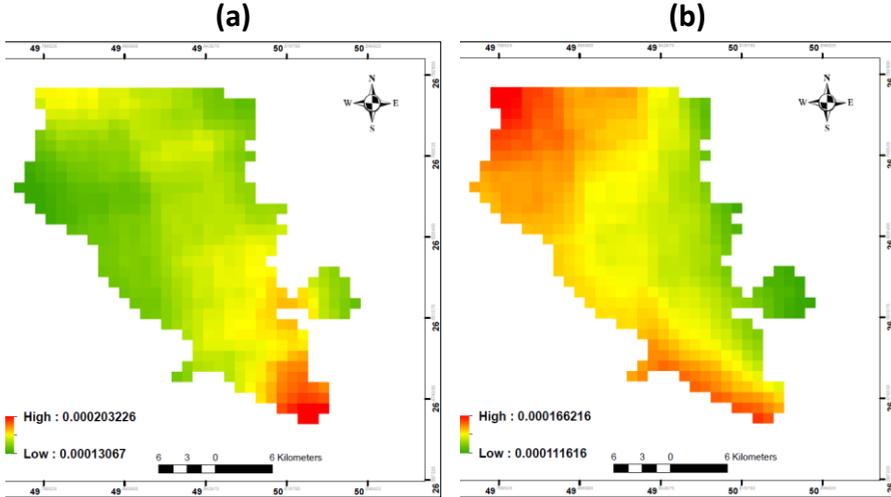
نلاحظ من الجدول (2) أن القيم تظهر اتجاهاً لزيادة التركيزات في فصل الشتاء مقارنة بالصيف. في الشتاء، تراوحت القيم العظمى لـ NO<sub>2</sub> بين  $0.18 \text{ (mol/m}^2\text{)} \times 10^3$  و  $0.232 \text{ (mol/m}^2\text{)} \times 10^3$ ، وهي أعلى من القيم الصيفية التي تتراوح بين  $0.162 \text{ (mol/m}^2\text{)} \times 10^3$  و  $0.182 \text{ (mol/m}^2\text{)} \times 10^3$ ، مما يشير إلى أن ظروف الطقس الشتوي، مثل انخفاض حركة الرياح وازدياد الاحتباس الحراري الناتج عن قلة النشاط الحراري الشمسي، قد تسهم في تراكم الملوثات. كما لوحظ ارتفاع تدريجي في مستويات NO<sub>2</sub> بين عامي 2018 و 2022 في

فصل الشتاء، حيث وصلت القيم العظمى إلى ذروتها في 2022 عند  $(\text{mol}/\text{m}^2) \times 10^3$  وهو ما قد يُعزى إلى زيادة الأنشطة البشرية مثل ازدياد حركة المرور والصناعات خلال هذه الفترة. لكن بعد 2022، سجلت القيم انخفاضاً طفيفاً، مما قد يعكس تحسناً في جودة الهواء أو اتخاذ إجراءات بيئية صارمة، ربما أثرت إيجاباً على خفض التلوث. أما في فصل الصيف، فتظهر القيم استقراراً نسبياً حيث تتراوح القيم العظمى بين  $0.162 (\text{mol}/\text{m}^2) \times 10^3$  و  $0.182$  على مدار السنوات، مما قد يعود إلى تأثير درجات الحرارة المرتفعة وحركة الهواء النشطة التي تساعد في تقليل تركيزات  $\text{NO}_2$  وانتشاره في الغلاف الجوي. في القيم الدنيا، نجد تذبذباً طفيفاً، حيث تتراوح بين  $0.109$  و  $0.117 (\text{mol}/\text{m}^2) \times 10^3$  في الصيف وبين  $0.1$  و  $0.143 (\text{mol}/\text{m}^2) \times 10^3$  في الشتاء، مما يعكس التغيرات المناخية الموسمية والتفاوت في النشاط البشري، وخاصة في الشتاء حيث تتجمع الملوثات بسبب انخفاض حركة الهواء. يعكس هذا الجدول الاتجاه العام لتزايد  $\text{NO}_2$  حتى عام 2022، متبوعاً بانخفاض طفيف.

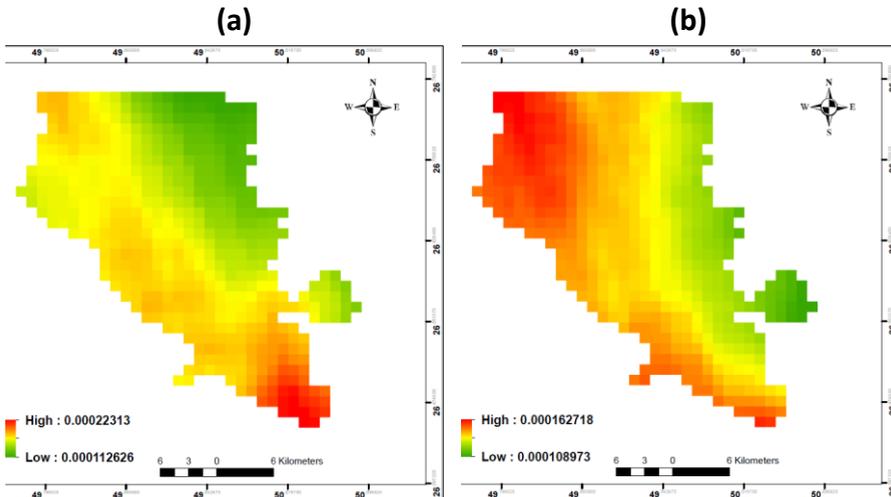


الشكل (4). خرائط تراكيز  $\text{NO}_2$  لمنطقة الدراسة للعام 2018، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.

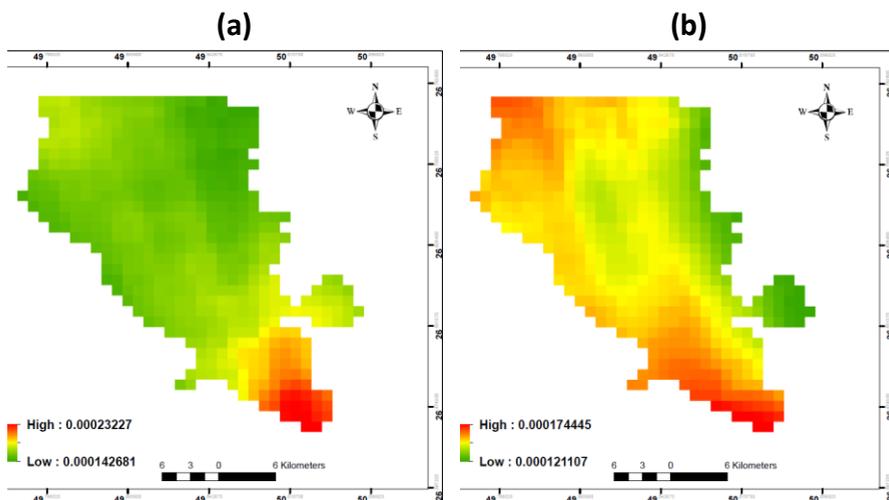
الشكل (5). خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة للعام 2019، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



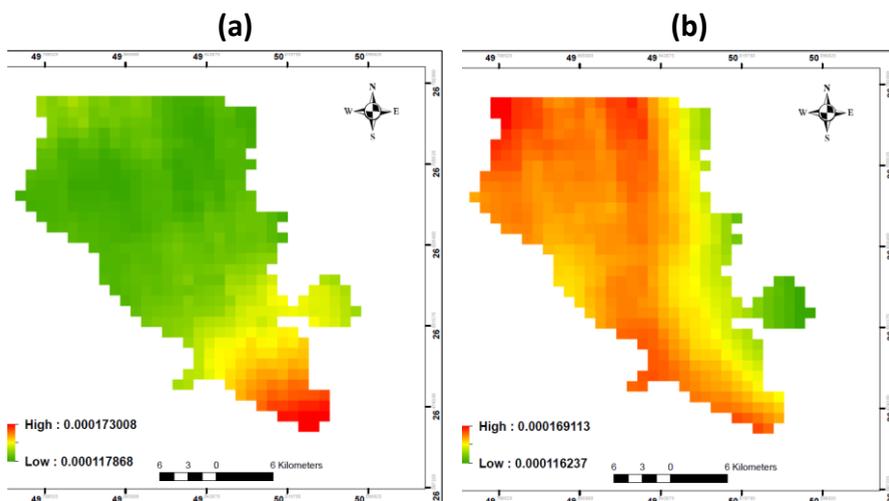
الشكل (6). خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة للعام 2020، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



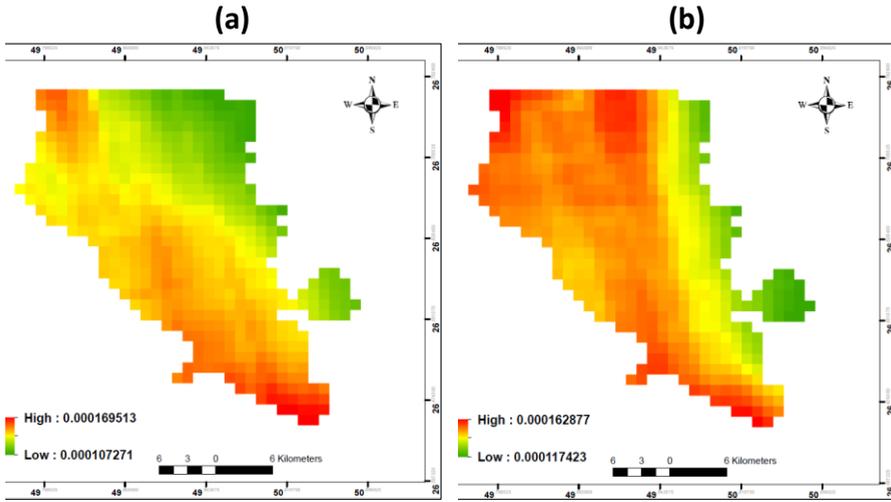
الشكل (7). خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة للعام 2021، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (8). خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة للعام 2022، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (9). خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة للعام 2023، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



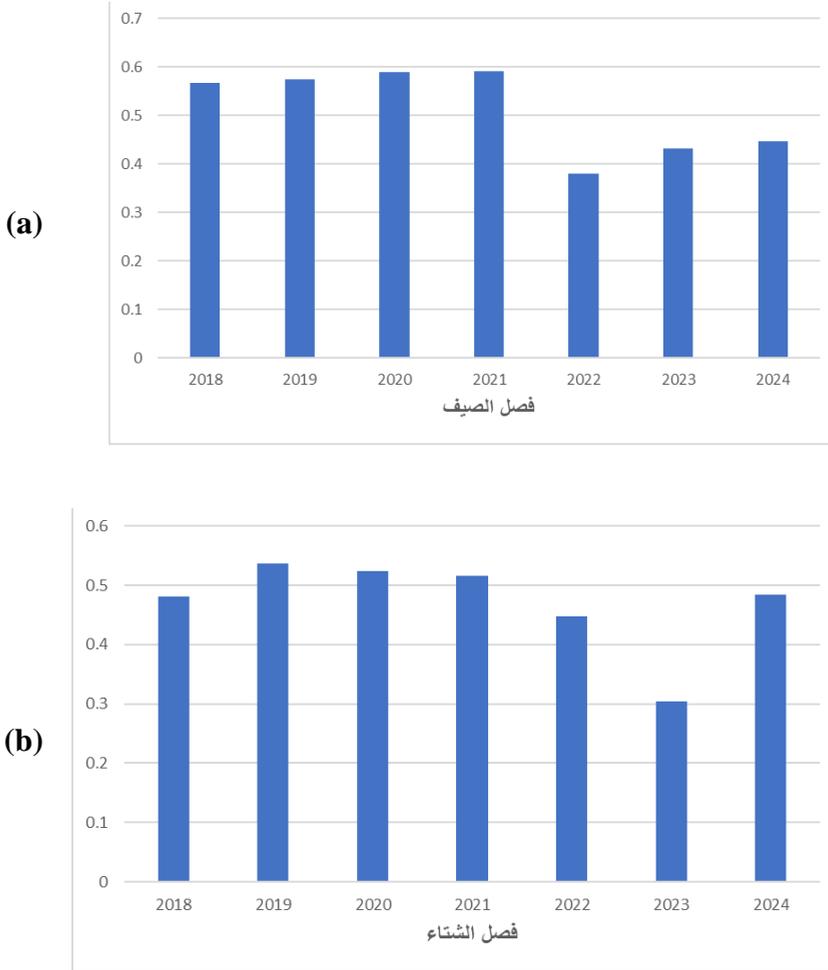
الشكل (10). خرائط تراكيز NO<sub>2</sub> لمنطقة الدراسة للعام 2024، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء

## 6-2- التغيرات في NDVI

يوضح الجدول (3) عرضاً لقيم NDVI الصغرى، الوسطية والعظمى في القطيف خلال فصلي الصيف والشتاء من عام 2018 إلى 2024، أما الشكل (11.a) فيوضح قيم NDVI العظمى خلال الموسم الصيفي ويوضح الشكل (11.b) هذه القيم خلال الموسم الشتوي. كما توضح الأشكال من 12 إلى 18 خرائط القيم الوسطية لـ NDVI لمنطقة الدراسة والتي تم اقتطاعها باستخدام المنصة GEE بعد تنفيذ الكود المطور باستخدام Java Script.

الجدول (3). قيم NDVI في منطقة الدراسة خلال الموسمين الصيفي والشتوي.

NDVI max	NDVI mean	NDVI min	العام
0.568	0.057	-0.366	2018
0.574	0.059	-0.389	2019
0.589	0.060	-0.442	2020
0.592	0.057	-0.430	صيف 2021
0.380	0.038	-0.276	2022
0.433	0.043	-0.227	2023
0.446	0.042	-0.258	2024
0.481	0.044	-0.313	2018
0.537	0.049	-0.370	2019
0.524	0.051	-0.405	2020
0.516	0.048	-0.408	شتاء 2021
0.448	0.037	-0.305	2022
0.304	0.026	-0.165	2023
0.484	0.038	-0.283	2024



الشكل (11). (a) التغيرات في قيم NDVI العظمى في منطقة الدراسة خلال فصول الصيف، (b) التغيرات في قيم NDVI العظمى في منطقة الدراسة خلال فصول الشتاء.

عند تحليل البيانات المتعلقة بمؤشر الفرق النباتي الطبيعي (NDVI) عبر فصلي الصيف والشتاء على مدار السنوات من 2018 إلى 2024، يمكن ملاحظة التباين الواضح حسب السنوات والفصول؛ ففي فصل الصيف، نجد أن قيمة NDVI العظمى ترتفع تدريجياً من 0.568 في عام 2018 إلى 0.592 في

عام 2021، مما يشير إلى تحسن في كثافة الغطاء النباتي. إلا أن هذا التحسن يتراجع بشكل ملحوظ في عام 2022، حيث تصل القيمة العظمى إلى 0.380، وتبقى منخفضة نسبياً حتى عام 2024 حيث تصل إلى 0.446. كما يظهر متوسط NDVI في فصل الصيف استقراراً نسبياً حتى عام 2021، ثم ينخفض في عام 2022 إلى 0.038، ويظل منخفضاً حتى عام 2024، مما يشير إلى انخفاض في كثافة الغطاء النباتي أو تأثره بعوامل بيئية سلبية. أما بالنسبة لأدنى قيمة لـ NDVI في الصيف، فإنها تتراوح بين -0.366 و -0.442، مع زيادة في القيم السالبة خاصة في عامي 2020 و 2021، مما قد يعكس زيادة في الأراضي غير المغطاة بالنباتات أو المناطق التي تعرضت لتدهور بيئي. في فصل الشتاء، تبدأ قيمة NDVI العظمى من 0.481 في عام 2018، وتصل إلى ذروتها في عام 2019 عند 0.537، لكنها تتراجع تدريجياً مع مرور السنوات لتصل إلى أدنى مستوى في عام 2023 عند 0.304، قبل أن تتحسن في عام 2024 وتصل إلى 0.484.

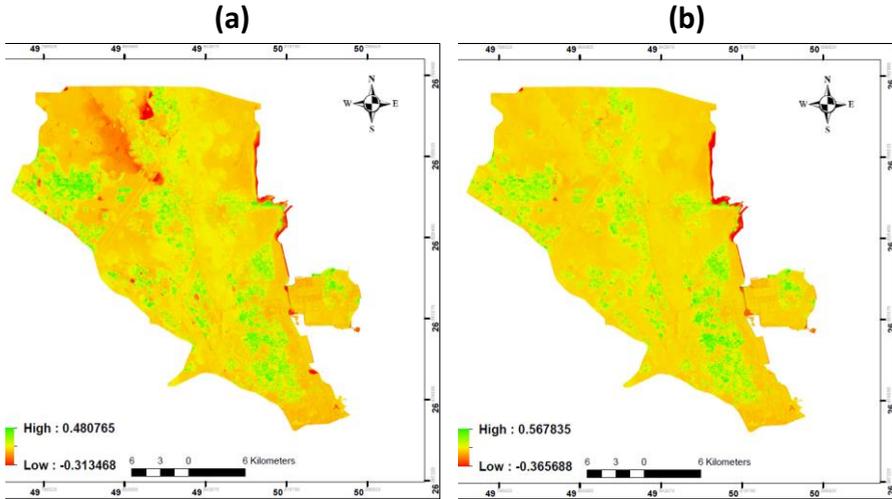
يُظهر متوسط NDVI في الشتاء نمطاً مشابهاً، حيث نجد قيمة أعلى في بداية الفترة (2018-2020) مقارنة بالسنوات اللاحقة، خاصة في عامي 2022 و 2023 حيث تسجل أدنى القيم عند 0.037 و 0.026 على التوالي، مع تحسن طفيف في عام 2024 قد يعكس تحسناً محدوداً في الغطاء النباتي. أما القيم الدنيا لـ NDVI في الشتاء، فتظهر تناقصاً كبيراً، مما يشير إلى تأثير العوامل البيئية أو التغيرات المناخية التي أدت إلى تدهور الغطاء النباتي في بعض المناطق.

يُظهر هذا الجدول بشكل عام اتجاهات نحو انخفاض كثافة الغطاء النباتي في السنوات الأخيرة سواء في الصيف أو الشتاء، مع تراجع ملحوظ في عامي 2022 و 2023، وهو ما يمكن أن يُعزى إلى عدة عوامل محتملة مثل تغيرات المناخ، نقص الموارد المائية، أو العوامل البشرية كالتوسع العمراني. على الرغم من التحسن الطفيف في عام 2024، إلا أن القيم الدنيا لـ NDVI تظل منخفضة، مما

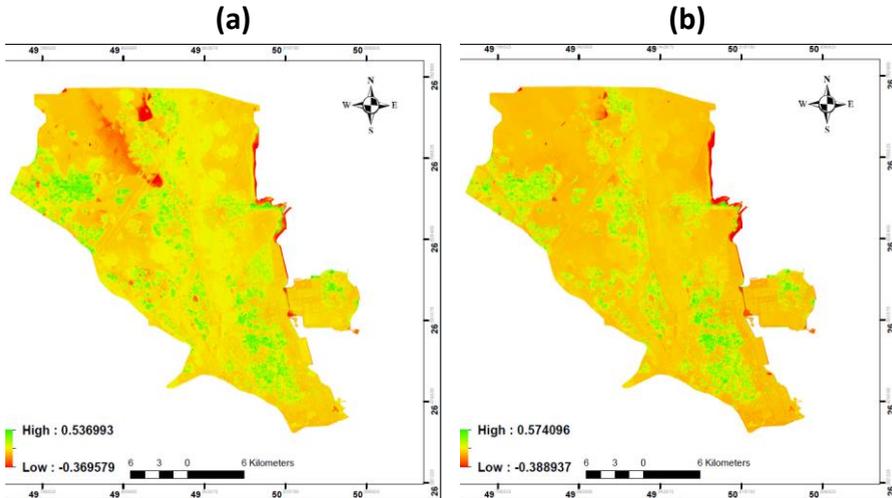
يشير إلى تحديات كبيرة في استعادة الغطاء النباتي لبعض المناطق. كما يظهر التفاوت الموسمي بين الصيف والشتاء بوضوح، حيث تكون قيم NDVI العظمى والمتوسطة أعلى في الصيف، مما يعكس التأثير الموسمي على نمو النباتات.

يمكننا من خلال الجدول (3) تحليل الحالة الصحية للنباتات بناءً على قيم NDVI. بشكل عام، يتراوح مؤشر NDVI بين  $1-1$  و  $1+1$ ، حيث تشير القيم الأعلى (أقرب إلى 1) إلى نباتات صحية ذات غطاء نباتي كثيف، بينما تشير القيم الأقرب للصفر أو السالبة إلى أراضٍ خالية أو تدهور في الغطاء النباتي. بالنظر إلى بيانات الصيف، نجد أنه في الفترة من 2018 إلى 2021، شهدت القيم العليا لمؤشر NDVI أعلى قيمة في 2021 (0.592)، مما يشير إلى وجود غطاء نباتي قوي نسبياً، ومع ذلك كانت القيم المتوسطة منخفضة، حيث تراوحت بين 0.057 و 0.060، مما قد يعكس أن المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف كانت محدودة الانتشار. أما في السنوات من 2022 إلى 2024، فقد لوحظ تراجع في القيم العليا والمتوسطة لـ NDVI، حيث وصلت إلى أدنى نقطة لها في 2022، مما يدل على تدهور واضح في حالة الغطاء النباتي، قبل أن يبدأ التحسن الطفيف في 2023 و 2024، على الرغم من أن هذه القيم لم تصل لمستويات ما قبل 2022. وعلى صعيد بيانات الشتاء، نجد أن الفترة من 2018 إلى 2021 شهدت زيادة ثابتة في NDVI، مما يشير إلى تحسن طفيف في حالة النباتات خلال هذه الفترة، بينما شهدت القيم تراجعاً واضحاً في 2022 واستمرت في الانخفاض حتى بلغت مستوى متدنياً للغاية في 2023، حيث وصل NDVI إلى قيمة قصوى بلغت 0.304 وقيمة متوسطة بلغت 0.026، ما يعكس ضعفاً ملحوظاً في الغطاء النباتي خلال فصل الشتاء. بناءً على ذلك، يمكن القول إن العام 2022 يمثل نقطة تراجع ملحوظة في صحة النباتات، حيث انخفضت قيم NDVI بشكل ملحوظ في الصيف والشتاء معاً، ويشير التعافي الطفيف في عامي 2023 و 2024 إلى تحسن بطيء، غير أن الغطاء النباتي لم يستعد حالته كما كان في السنوات الأولى. وهذا التحليل يشير إلى أن النباتات ربما تعرضت

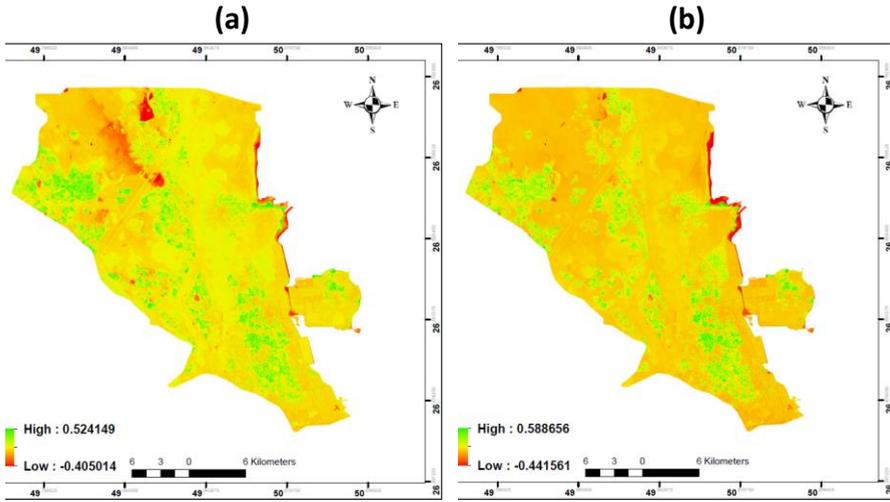
لضغوط بيئية في 2022، مثل الجفاف أو التغيرات المناخية أو الأنشطة البشرية، مما أثر سلباً على صحتها، وقد يتطلب استعادة حالتها الطبيعية مزيداً من الوقت.



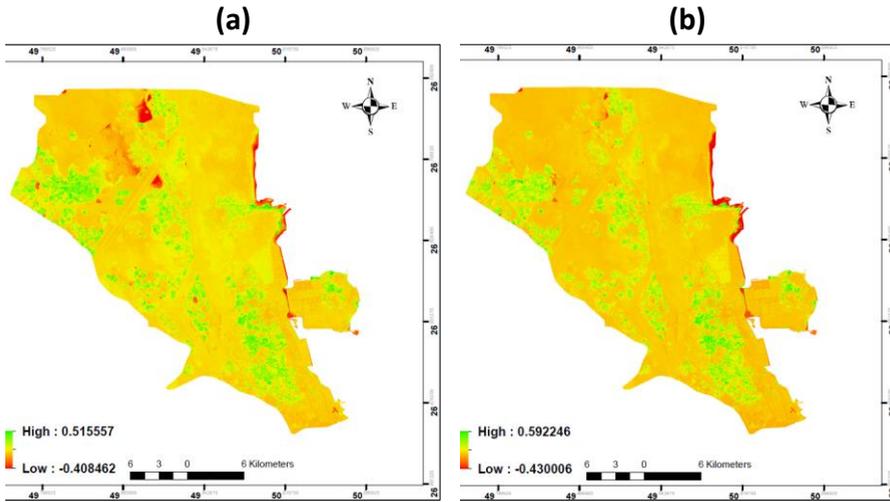
الشكل (12). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2018، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



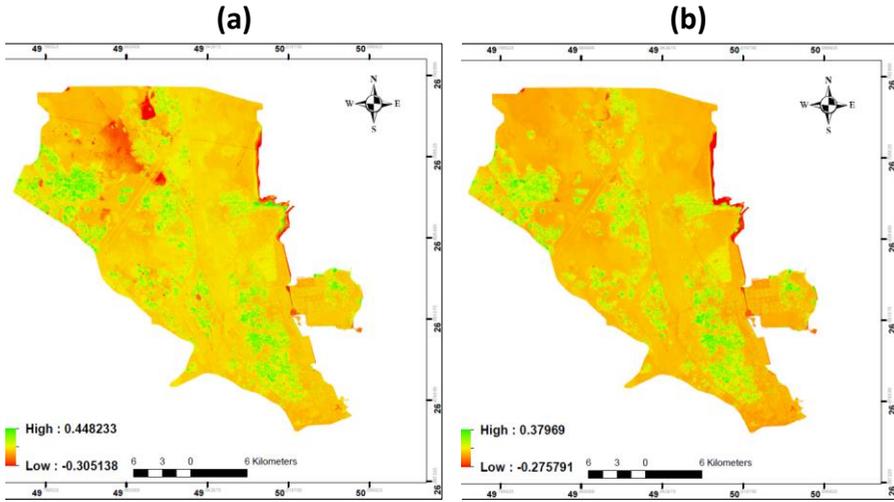
الشكل (13). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2019، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



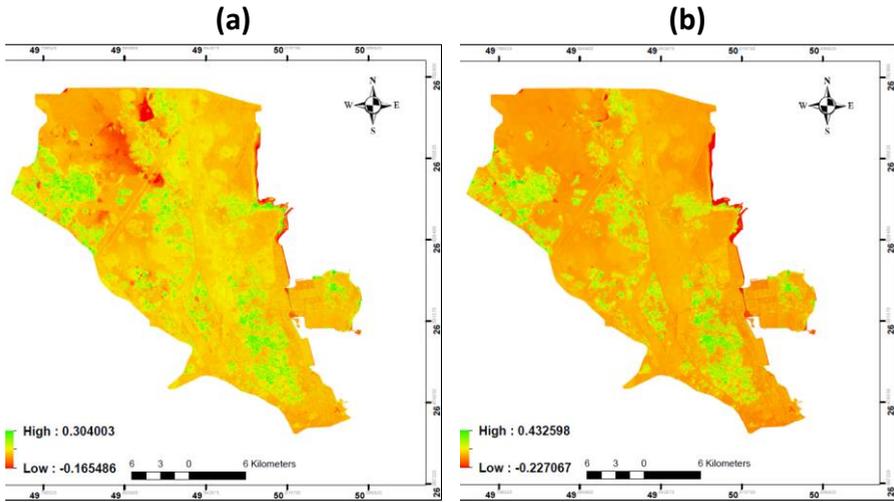
الشكل (14). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2020، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



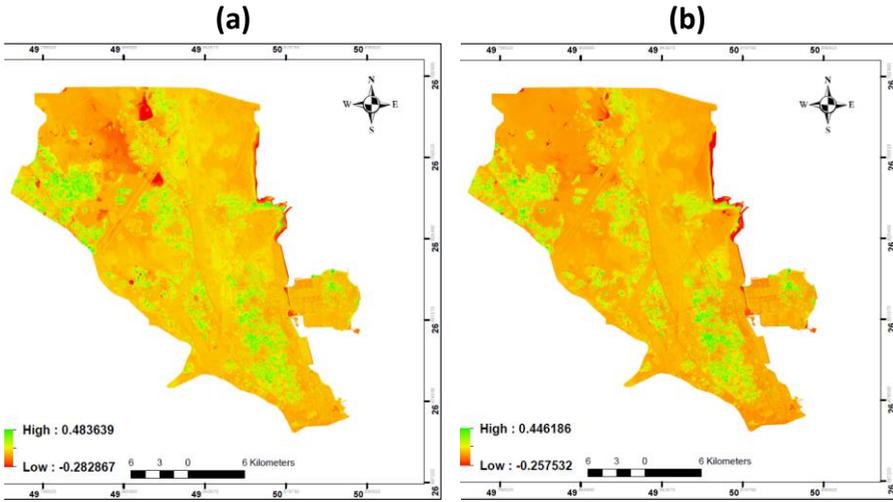
الشكل (15). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2021، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (16). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2022، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (17). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2023، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



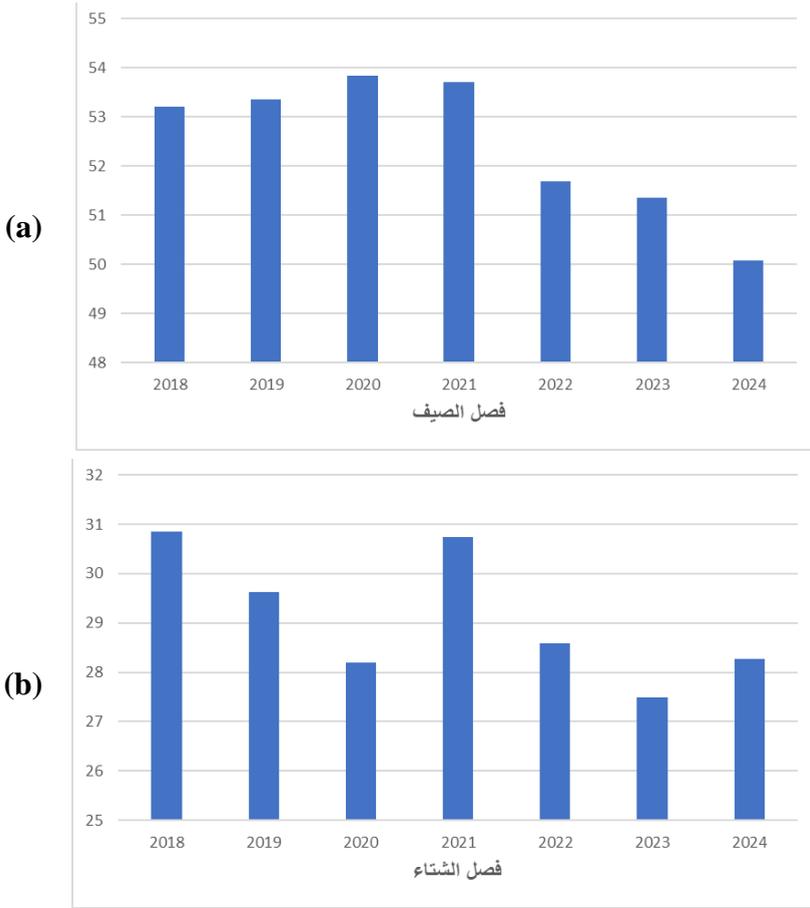
الشكل (18). خرائط NDVI لمنطقة الدراسة للعام 2024، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.

### 6-3- التغيرات في LST

يوضح الجدول (4) عرضاً لقيم LST الصغرى، الوسطية والعظمى في القطيف خلال فصلي الصيف والشتاء من عام 2018 إلى 2024، أما الشكل (19.a) فيوضح قيم LST العظمى خلال الموسم الصيفي ويوضح الشكل (19.b) هذه القيم خلال الموسم الشتوي. كما توضح الأشكال من 20 إلى 26 خرائط التراكيز الوسطية لـ LST لمنطقة الدراسة والتي تم اقتطاعها باستخدام المنصة GEE بعد تنفيذ الكود المطور باستخدام Java Script.

الجدول (4). قيم LST في منطقة الدراسة خلال الموسمين الصيفي والشتوي.

LST max (°)	LST mean (°)	LST min (°)	العام
53.21	48.50	37.79	2018
53.36	48.90	38.32	2019
53.84	48.92	37.65	2020
53.71	49.05	38.40	صيف 2021
51.69	47.06	36.85	2022
51.35	47.07	37.37	2023
50.08	45.81	36.73	2024
30.86	27.46	21.10	2018
29.63	26.56	21.82	2019
28.20	25.59	20.49	2020
30.74	27.76	21.57	شتاء 2021
28.58	25.99	20.99	2022
27.49	25.09	19.85	2023
28.27	25.54	20.99	2024



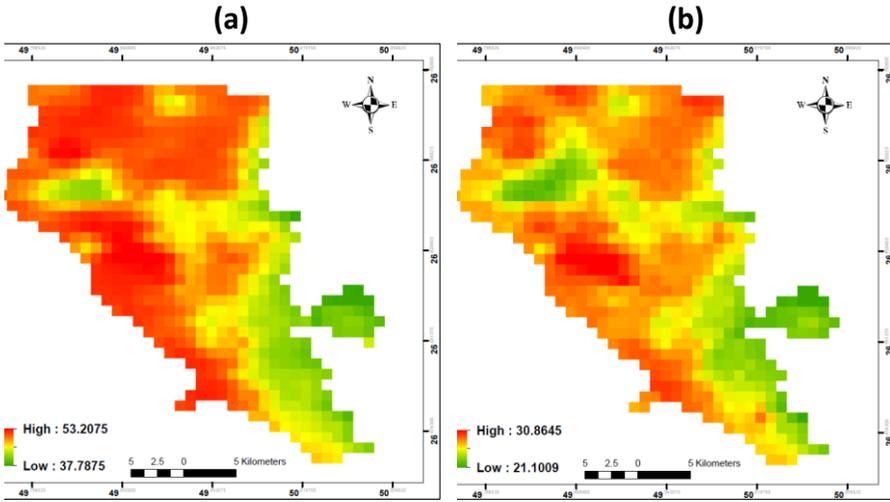
الشكل (19). (a) التغيرات في قيم LST العظمى في منطقة الدراسة خلال فصول الصيف، (b) التغيرات في قيم LST العظمى في منطقة الدراسة خلال فصول الشتاء.

عند تحليل بيانات درجات حرارة سطح الأرض (LST) للفترة من 2018 إلى 2024، نجد اتجاهًا واضحاً لتفاوت درجات حرارة سطح الأرض (LST) بين فصلي الصيف والشتاء، حيث تُسجل في فصل الصيف أعلى درجات حرارة سطحية تتراوح بين 50 و53 درجة مئوية، مما يشير إلى تأثيرات العوامل الموسمية والشمسية في زيادة درجات الحرارة خلال أشهر الصيف. وعلى النقيض، تنخفض درجات الحرارة بشكل كبير في الشتاء لتتراوح بين 27 و31 درجة مئوية،

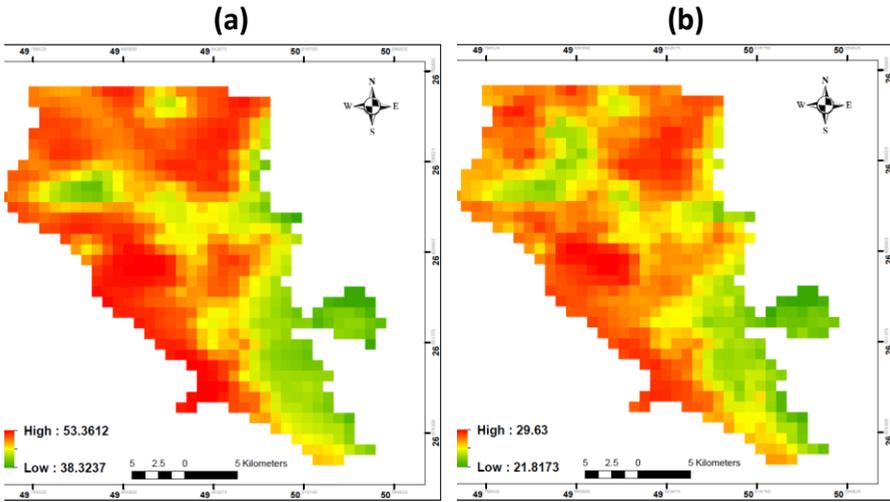
ما يعكس التباين المناخي الكبير في المنطقة بين الفصلين.

على مدار السنوات من 2018 إلى 2024، يظهر الجدول (4) اتجاهًا تنازلياً طفيفاً ولكنه مستمر في القيم العظمى والمتوسطة والصغرى لدرجات الحرارة، خاصة في السنوات الأخيرة. فعلى سبيل المثال، انخفضت درجات الحرارة العظمى في الصيف من 53.84 درجة مئوية في عام 2020 إلى 50.08 درجة مئوية في عام 2024، مع تراجع موازٍ في درجات الحرارة المتوسطة والصغرى أيضاً. قد يكون هذا التناقص التدريجي ناتجاً عن مجموعة من العوامل البيئية والمناخية، منها زيادة الغطاء النباتي، الذي يسهم في خفض الحرارة السطحية نتيجة للنتح التبخيري، أو تأثيرات التحضر المتزايد مع إضافة مساحات خضراء ضمن المناطق العمرانية، إلى جانب احتمالية تأثير التغيرات المناخية العامة على درجات الحرارة السطحية في المنطقة.

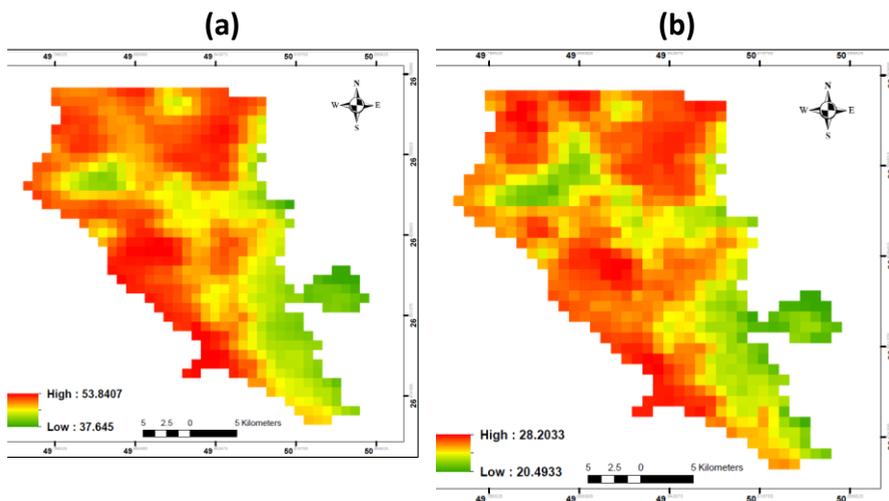
وفي فصل الشتاء، يُظهر الجدول (4) أيضاً تراجعاً في درجات الحرارة السطحية القصوى والمتوسطة والصغرى، إذ انخفضت درجة الحرارة العظمى من 30.74 درجة مئوية في 2021 إلى 27.49 درجة مئوية في 2023، بينما تذبذبت القيم الدنيا حول 20 درجة مئوية. تعكس هذه التغيرات اتجاهًا عاماً لانخفاض درجات الحرارة، وهو ما قد يكون مدفوعاً بعوامل موسمية وأخرى مرتبطة بالتغير المناخي الذي يساهم في خفض الحرارة الشتوية مع الزمن.



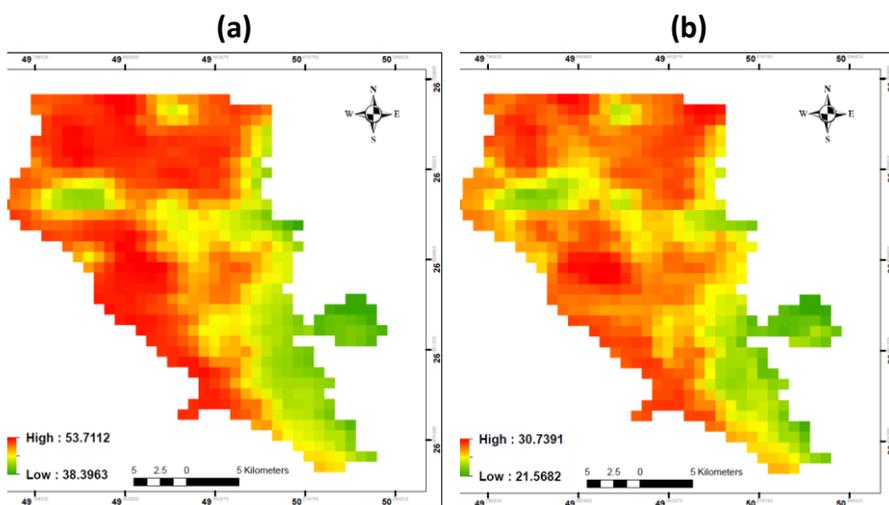
الشكل (20). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2018، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (21). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2019، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



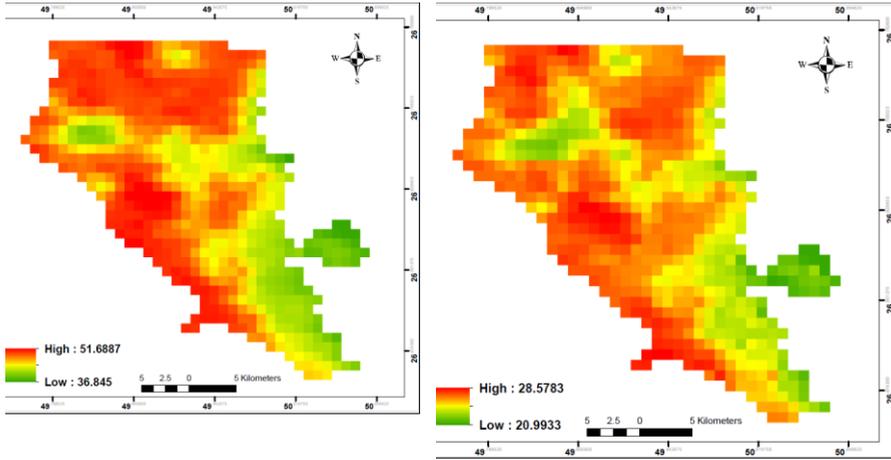
الشكل (22). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2020، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



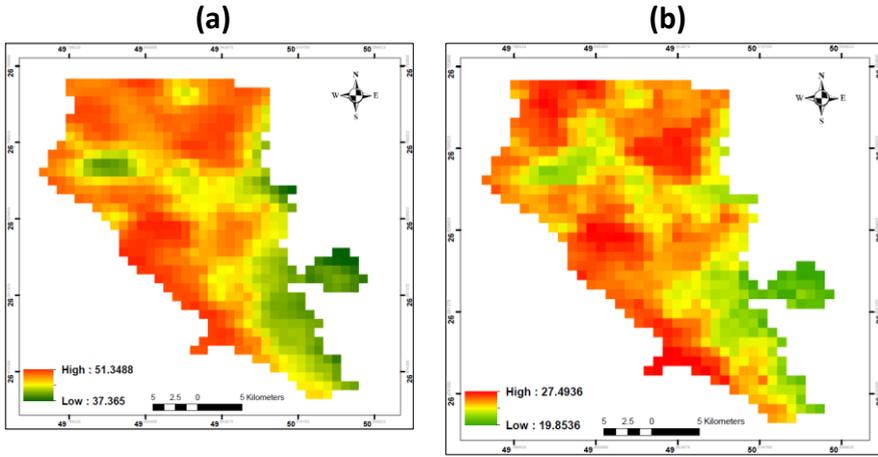
الشكل (23). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2021، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.

(a)

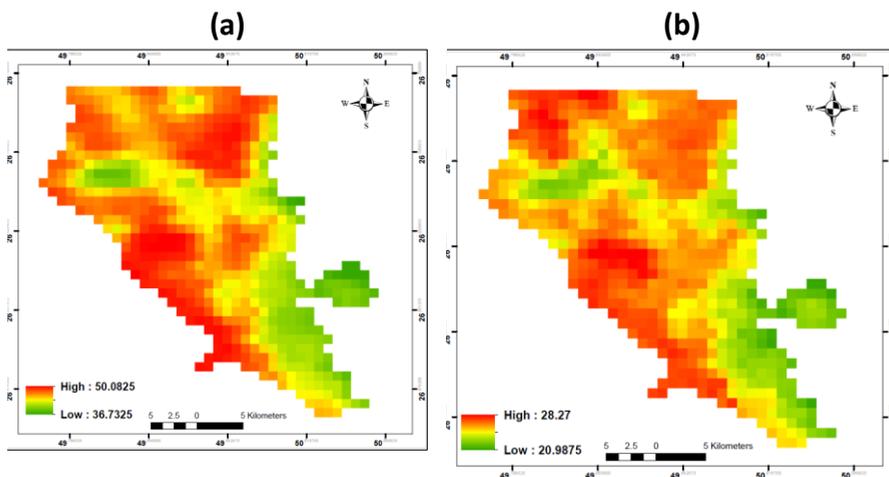
(b)



الشكل (24). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2022، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (25). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2023، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.



الشكل (26). خرائط LST لمنطقة الدراسة للعام 2024، (a) خلال الصيف (b) خلال الشتاء.

#### 6-4- تحليل العلاقات بين NDVI، NO<sub>2</sub> وLST

بناءً على القيم الخاصة بمؤشرات NO<sub>2</sub> ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) ومؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)، في الجداول 2، 3 و4، يمكن استخلاص بعض العلاقات الهامة التي تؤثر على الحالة الصحية للنباتات.

##### • العلاقة بين NO<sub>2</sub> والصحة النباتية:

يعد NO<sub>2</sub> من الغازات التي تؤثر سلباً على النباتات عند ارتفاع تركيزها. نلاحظ أن مستويات NO<sub>2</sub> ارتفعت تدريجياً من 2018 إلى 2022 في الصيف والشتاء، حيث وصلت لأعلى مستوياتها في 2022، ثم شهدت انخفاضاً في 2023 و2024. هذا التوجه يمكن ربطه بتدهور مؤشر NDVI في نفس الفترة، حيث سجلت قيم NDVI أدنى مستوياتها في 2022 أيضاً، مما يشير إلى أن زيادة تركيز NO<sub>2</sub> قد تكون من العوامل التي أسهمت في تدهور الغطاء النباتي.

##### • العلاقة بين LST والصحة النباتية:

تؤثر درجة حرارة سطح الأرض (LST) بشكل مباشر على النباتات؛ إذ تعد القيم العالية لـ LST عاملاً ضاراً يمكن أن يؤدي إلى إجهاد حراري للنباتات

ويؤثر على نموها. في الصيف، نلاحظ أن LST كانت مرتفعة من 2018 إلى 2021، مع بلوغها الذروة في 2020، ثم بدأت بالانخفاض تدريجياً حتى وصلت لأدنى مستوى في 2024. في نفس الوقت، نجد أن NDVI سجل قيماً منخفضة في 2022، مما قد يعكس تدهوراً نتيجة الارتفاع السابق في درجات الحرارة الذي ربما أسهم في ضعف الغطاء النباتي، وخاصة أن التعافي في NDVI بدأ مع انخفاض LST التدريجي في السنوات الأخيرة.

#### • التأثيرات المتكاملة على NDVI:

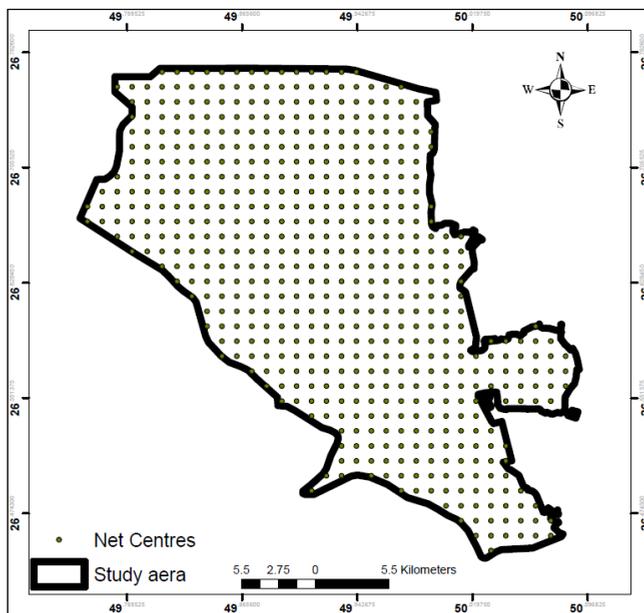
يمكننا استنتاج أن عام 2022 يمثل نقطة تدهور واضحة للنباتات، حيث سُجلت مستويات مرتفعة من  $NO_2$  ودرجات حرارة سطح مرتفعة نسبياً في السنوات السابقة، مما أدى إلى انخفاض ملحوظ في NDVI، ما يعكس ضعف الغطاء النباتي. في الأعوام اللاحقة، مع انخفاض تدريجي في  $NO_2$  وLST، بدأ NDVI يتعافى بشكل طفيف في 2023 و2024، لكن القيم لم تعد إلى مستويات ما قبل 2022، مما يشير إلى أن استعادة النباتات لحالتها الصحية يتطلب وقتاً أطول وعوامل بيئية أقل ضغطاً.

#### • الاستنتاج العام:

البيانات تشير إلى وجود علاقة قوية بين التغيرات في  $NO_2$  وLST وصحة الغطاء النباتي، حيث أن زيادة  $NO_2$  والارتفاعات في LST حتى 2022 ربما أسهمت في تدهور الحالة الصحية للنباتات. ومع انخفاض هذه العوامل البيئية في السنوات اللاحقة، بدأت النباتات بالتعافي التدريجي، لكن القيم الحالية لا تزال منخفضة مقارنة بالمستويات الصحية السابقة، مما يدل على أن النظام البيئي بحاجة إلى فترة تعافٍ أطول ومعالجة العوامل الضارة مثل تلوث الهواء ودرجات الحرارة المرتفعة.

من ناحية أخرى، يمكننا دراسة العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) وتراكيز ثاني أكسيد النيتروجين ( $NO_2$ ) ودرجة حرارة سطح الأرض (LST)، باستخدام تحليل الانحدار الخطي Linear regression. للقيام بذلك تم

اقتطاع هذه المؤشرات عند 513 نقطة (الشكل (27)) تمثل مراكز شبكة تبلغ أبعاد كل خلية فيها (1 km× 1 km)، وتم استخدام البرنامج NCSS لتحليل الارتباط بين تركيزات NO<sub>2</sub> والعوامل الأخرى. البرنامج NCSS هو برنامج إحصائي يستخدم لتحليل البيانات وتصميم الدراسات الإحصائية ورسم الرسوم البيانية. يتيح NCSS للمستخدمين إمكانية تحليل البيانات وإجراء الاختبارات الإحصائية وإنشاء الرسوم البيانية بسهولة وفعالية، ويستخدم على نطاق واسع في الأبحاث العلمية والدراسات الإحصائية والتحليلات البيانية المختلفة (NCSS, 2021).

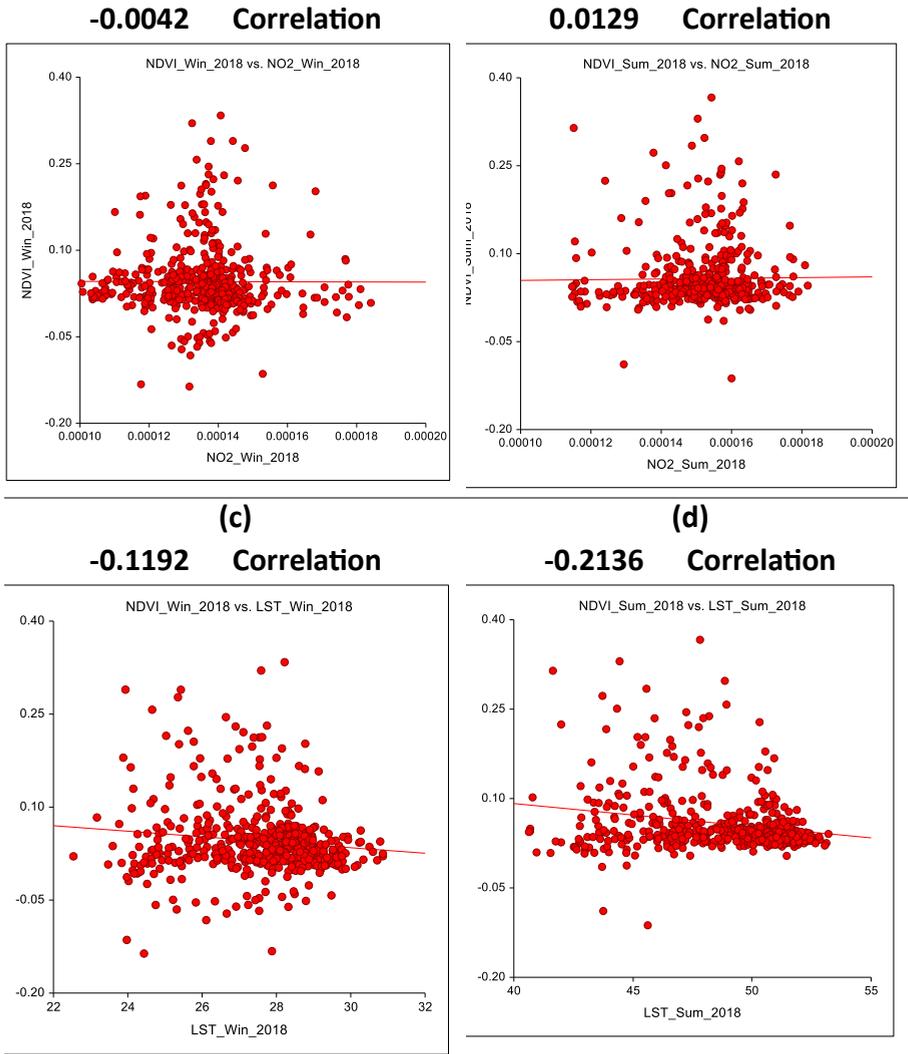


الشكل (27). شبكة نقاط اختبارات الارتباطات بين NO<sub>2</sub>، NDVI وLST.

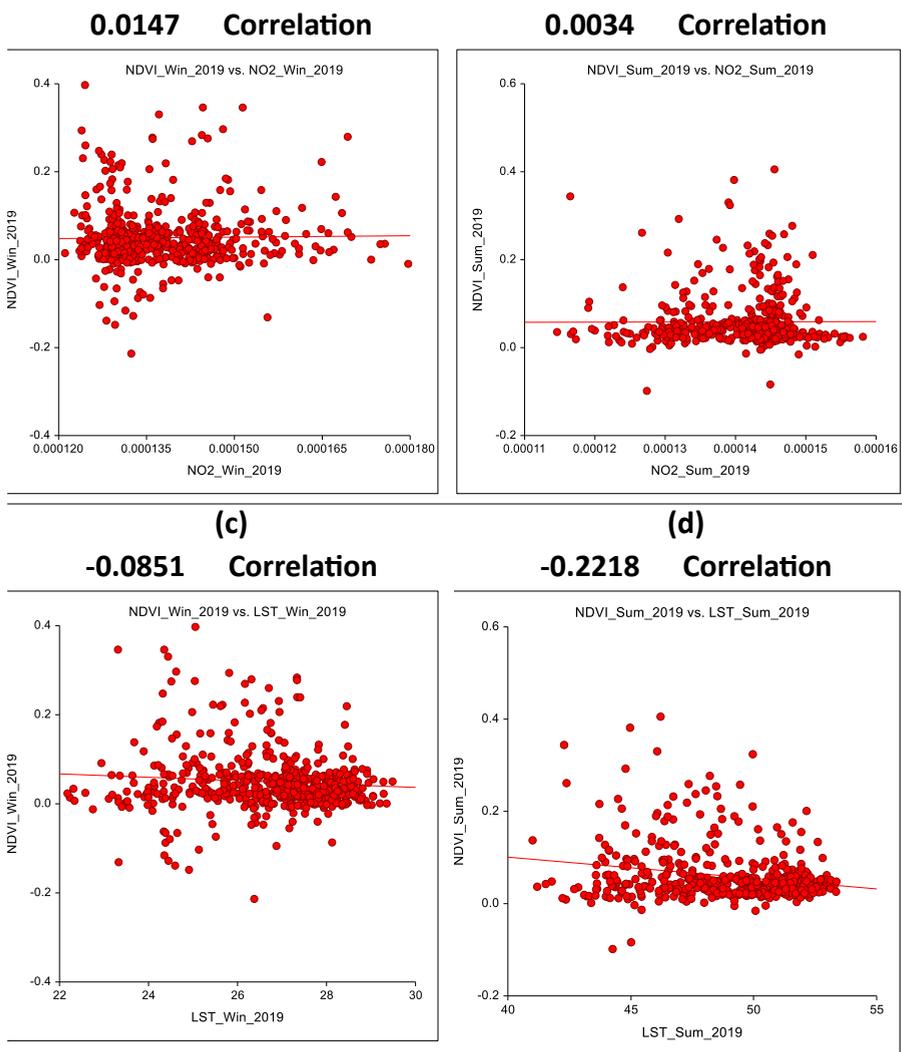
نوضح في الأشكال التالية علاقات الارتباط بين NDVI، تراكيز NO<sub>2</sub>، وLST خلال سنوات الدراسة ولفصلي الصيف والشتاء مع قيم معاملات ارتباط Pearson.

(a)

(b)



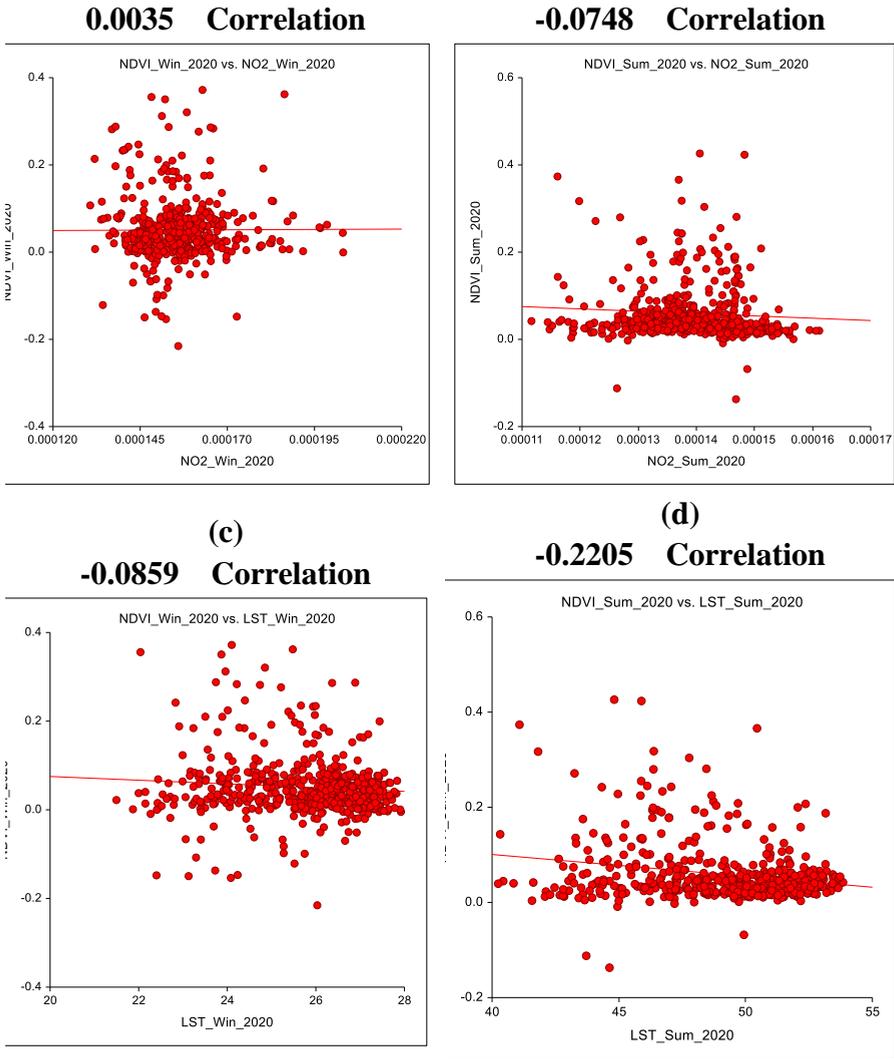
الشكل (28). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2018، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف.



الشكل (29). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2019، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف.

(a)

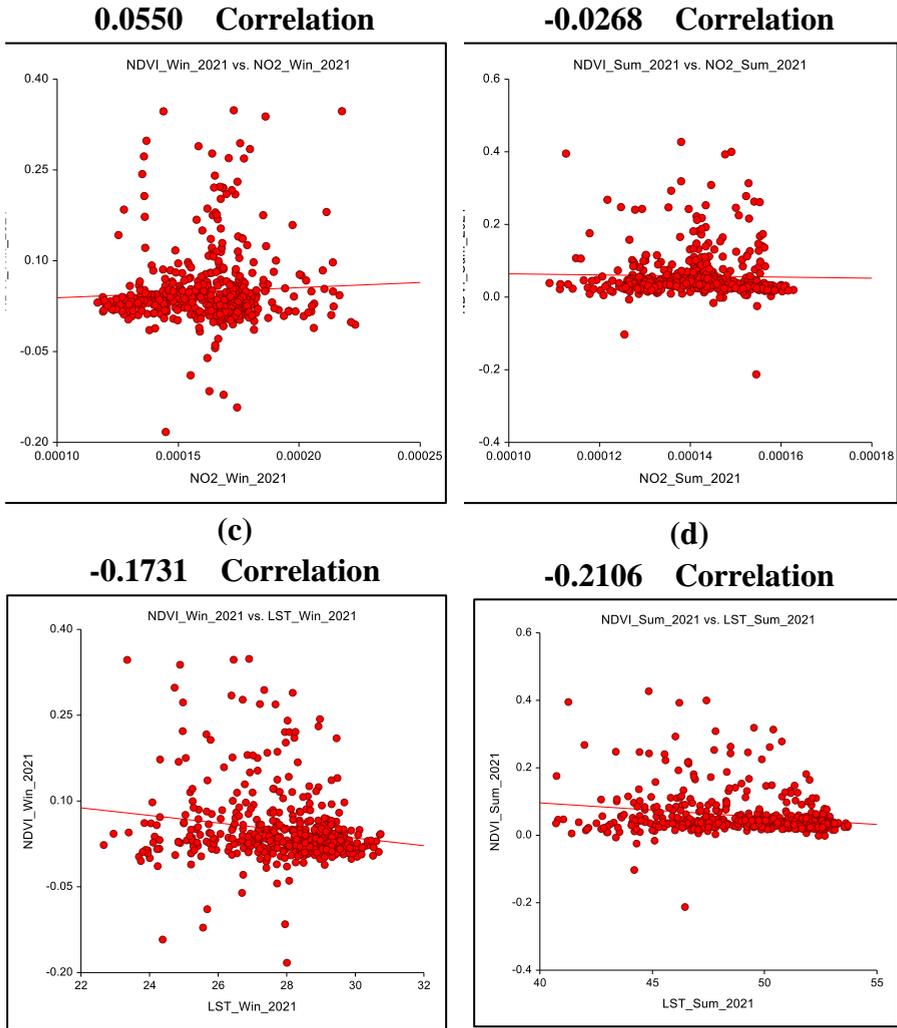
(b)



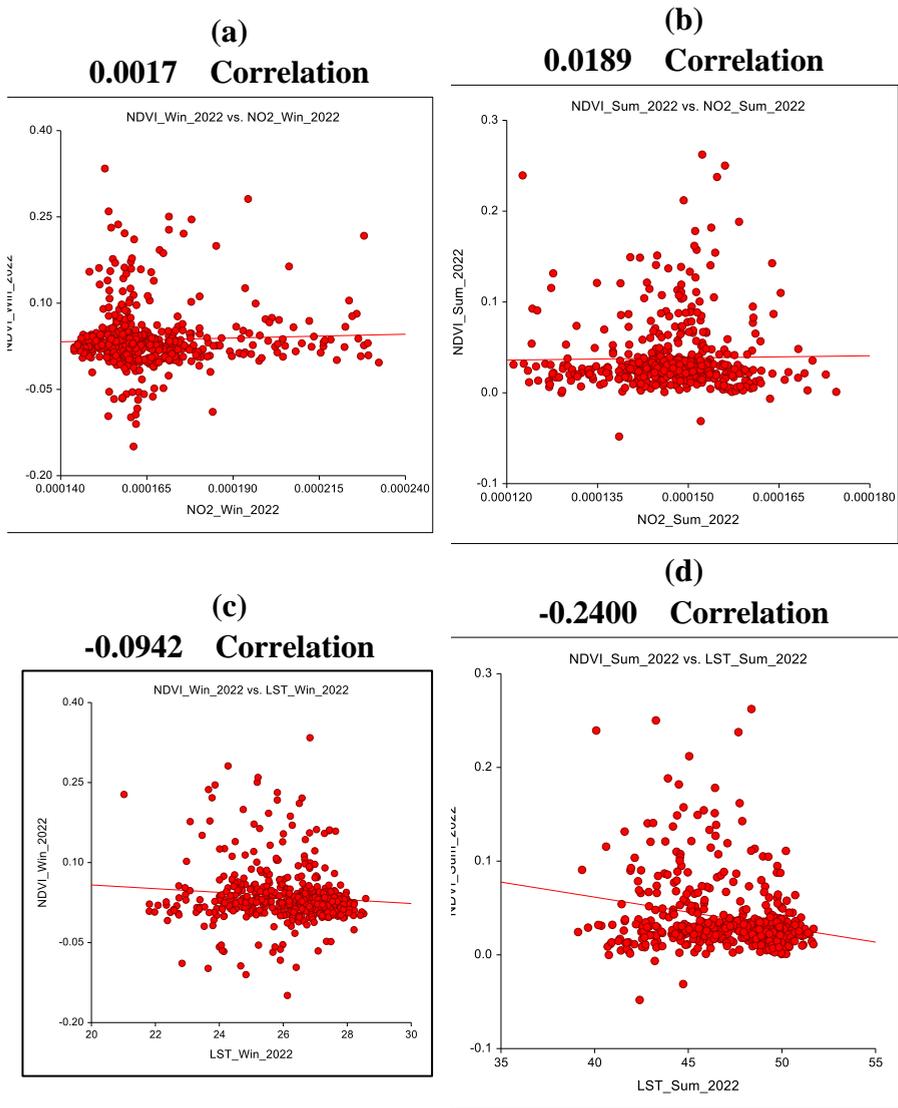
الشكل (30). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2020، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء، (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف.

(a)

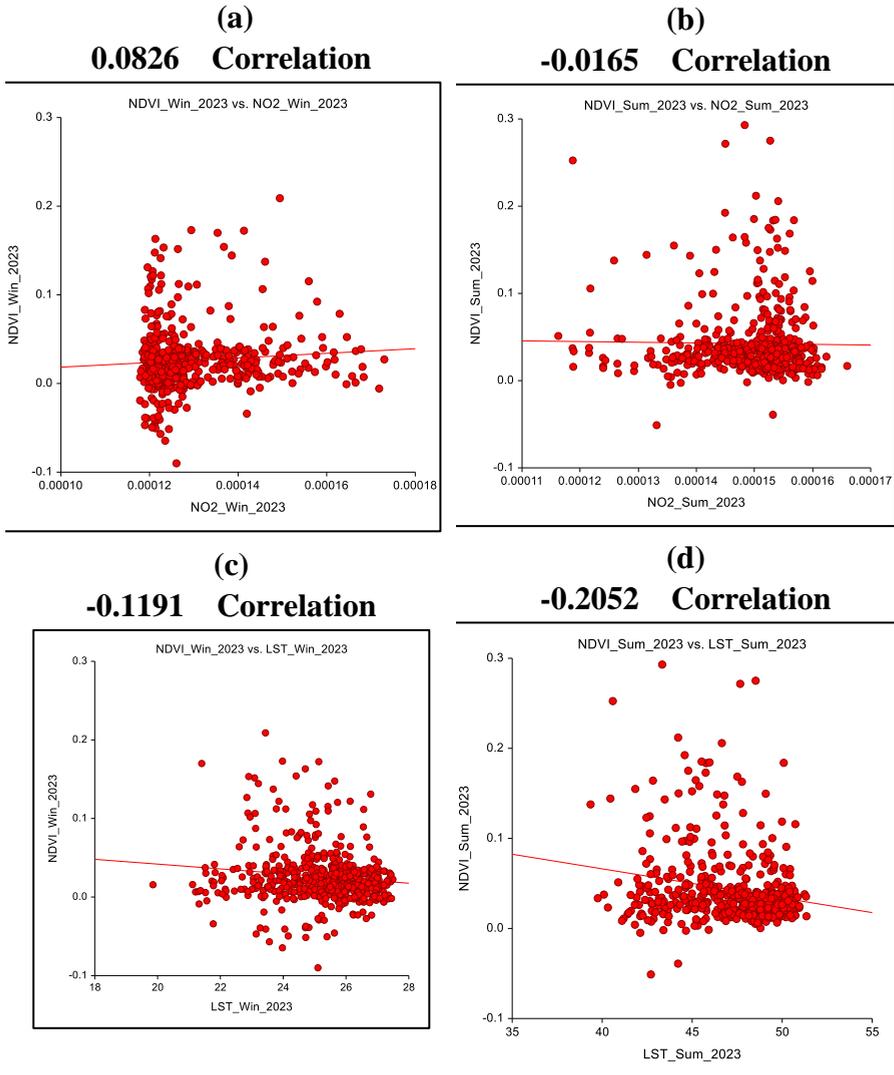
(b)



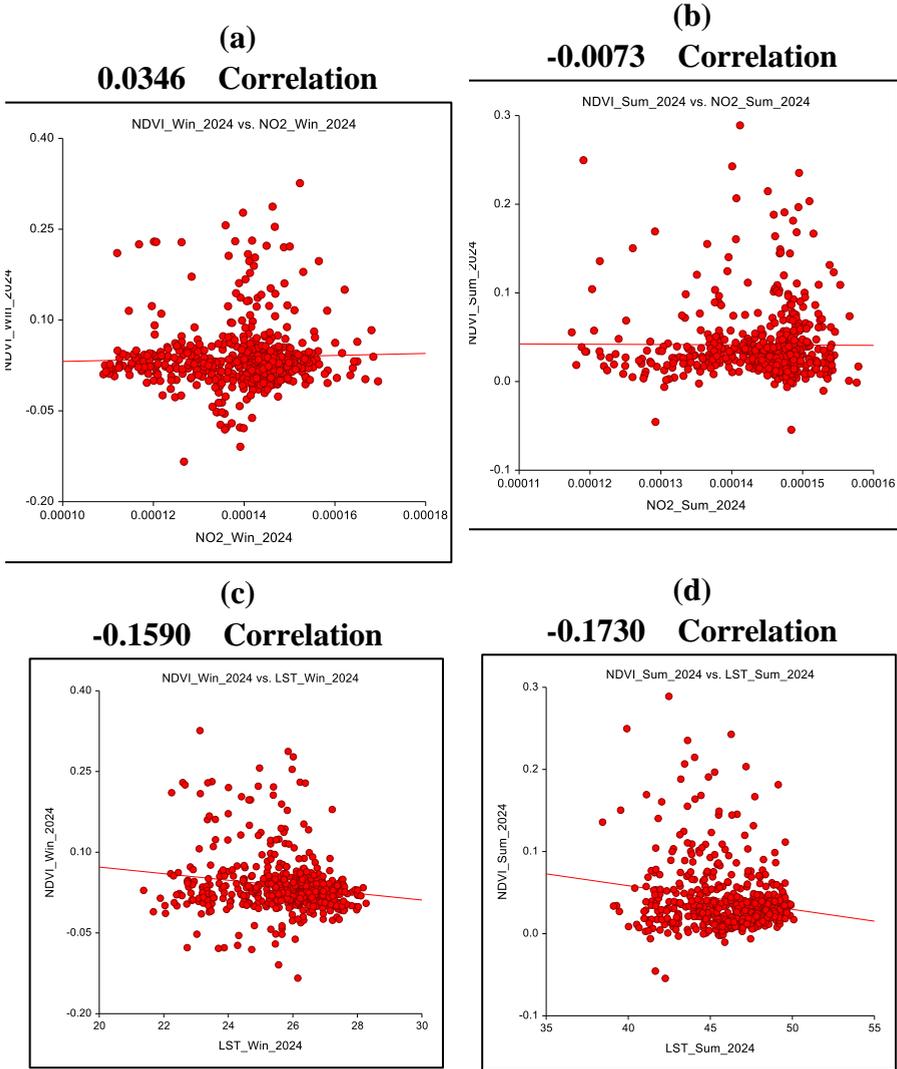
الشكل (31). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2021، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف.



الشكل (32). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2022، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف.



الشكل (33). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2023، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف.



الشكل (34). معاملات الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> و LST في منطقة الدراسة للعام 2024، (a) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الشتاء (b) NDVI و NO<sub>2</sub> خلال الصيف، (c) NDVI و LST خلال الشتاء، (d) NDVI و LST خلال الصيف. يلخص الجدول (5) قيم معاملات الارتباط بين NDVI، تراكيز NO<sub>2</sub>، و LST خلال سنوات الدراسة وفصلي الصيف والشتاء.

الجدول (5). قيم معاملات الارتباط بين NDVI، تراكيز NO<sub>2</sub>، وLST

العام	معامل الارتباط بين NO <sub>2</sub> و NDVI	معامل الارتباط بين NDVI و LST
2018	0.0129	-0.2136
2019	0.0034	-0.2218
2020	-0.0748	-0.2205
2021	-0.0268	-0.2106
2022	0.0189	-0.2400
2023	-0.0165	-0.2052
2024	-0.0073	-0.1730
2018	-0.0042	-0.1192
2019	0.0147	-0.0851
2020	0.0035	-0.0859
2021	0.0550	-0.1731
2022	0.0017	-0.0942
2023	0.0826	-0.1191
2024	0.0346	-0.1590

بتحليل الأشكال السابقة وجدول معاملات الارتباط بين NDVI وLST، وبين NDVI و NO<sub>2</sub> عبر السنوات في فصلي الصيف والشتاء، يمكننا الوصول إلى النتائج التالية:

## أولاً: الارتباط بين NDVI وLST

تُظهر القيم السالبة لمعامل الارتباط بين NDVI وLST في الصيف والشتاء أن هناك علاقة عكسية عامة بين المؤشرين، حيث إن ارتفاع درجة حرارة السطح (LST) يرتبط بانخفاض مؤشر NDVI، والذي قد يشير إلى أن ارتفاع درجات

الحرارة يؤثر سلباً على صحة النباتات. ففي الصيف: معامل الارتباط يكون سالباً بشكل ثابت، وتتراوح القيم بين -0.1730 و -0.2400، مما يعكس تأثيراً واضحاً لارتفاع درجات الحرارة على تدهور الغطاء النباتي، خاصة في السنوات التي شهدت ارتفاعاً ملحوظاً في LST، مثل 2022. أما في الشتاء، تكون القيم السالبة أقل شدة، خاصة في السنوات الأولى مثل 2018 و 2019 حيث يصل الارتباط إلى -0.0851، مما يعكس أن تأثير درجات الحرارة على الغطاء النباتي في الشتاء أقل نسبياً، ربما لأن الشتاء يتميز بدرجات حرارة منخفضة لا تسبب إجهاداً حرارياً شديداً.

### ثانياً: الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub>

يوضح الارتباط بين NDVI و NO<sub>2</sub> بعض التغيرات والتقلبات بين قيم موجبة وسالبة، مما يشير إلى عدم استقرار العلاقة بين صحة الغطاء النباتي وتركيزات NO<sub>2</sub>. في الصيف يكون الارتباط يتفاوت بين القيم الموجبة والسالبة، حيث يظهر تأثير متباين لتلوث الهواء على الغطاء النباتي. في عام 2022، بلغ الارتباط 0.0189، وهي قيمة موجبة ضعيفة، بينما شهدت بعض السنوات، مثل 2020، ارتباطاً سالباً (-0.0748)، مما قد يشير إلى أن زيادة NO<sub>2</sub> في تلك السنوات كان له تأثير ضار أكثر وضوحاً على الغطاء النباتي. أما في الشتاء، فهناك تباين مشابه، لكن بارتباطات ضعيفة إجمالاً. في 2023، وصل الارتباط إلى 0.0826، وهي قيمة موجبة أعلى مقارنةً بالأعوام الأخرى، ما قد يشير إلى تفاعل مختلف بين NO<sub>2</sub> والغطاء النباتي في الشتاء.

إن هذه النتائج تتكامل مع النتائج السابقة التي توصلنا إليها من خلال تحليل الجداول 2، 3 و 4 وذلك لأن كلتا النتيجتين أوضحتا أن التأثير السلبي لـ NO<sub>2</sub> على النبات يعود إلى الزيادة التدريجية في مستوياته حتى عام 2022، حيث تسبب تراكمه في الضغط على النباتات وتقليل قدرتها على النمو الصحي، ما يعكسه انخفاض NDVI. بعد انخفاضه في 2023 و 2024، يُلاحظ تحسن طفيف في NDVI، مما يشير إلى بعض التعافي التدريجي. من ناحية أخرى، يظهر تأثير

درجات الحرارة المرتفعة على صحة النباتات. فالقيم العالية لـ LST بين 2018 و 2021 أدت إلى إجهاد حراري تراكمي، بلغ ذروته في 2020، وترك أثره على الغطاء النباتي مع انخفاض NDVI في 2022. التحليل الثاني يضيف أنه مع الانخفاض التدريجي في LST بعد عام 2022، بدأت النباتات تظهر بعض علامات التعافي، وإن كان بطيئاً. كما نجد أن كلتا النتيجتين تتفقان على أن التعافي في صحة الغطاء النباتي ليس فورياً، بل يتطلب وقتاً أطول ومزيداً من التخفيف في العوامل البيئية الضاغطة.

## 7- الخاتمة

يوفر التحليل الشامل للعوامل البيئية من عام 2018 إلى 2024 في القطيف رؤى هامة حول العلاقة الديناميكية بين جودة الهواء وصحة الغطاء النباتي ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) وذلك خلال فصلي الصيف والشتاء. يظهر تأثير درجة حرارة سطح الأرض (LST) على صحة النبات من خلال معامل الارتباط السلبى بين NDVI وLST، حيث يؤثر ارتفاع درجات الحرارة سلباً على كثافة وصحة الغطاء النباتي؛ إذ تعكس القيم السالبة الكبيرة للارتباط في الصيف زيادة الضغط الحراري على النباتات، مما يؤدي إلى انخفاض نموها وكثافتها وتدهور جودة الغطاء النباتي تحت درجات الحرارة المرتفعة. أما في الشتاء، فيكون تأثير الحرارة أقل حدة، كما تدل القيم السالبة المنخفضة لمعاملات الارتباط، ما يشير إلى تأثير أقل على النباتات خلال هذا الفصل. من ناحية أخرى، يظهر تأثير  $NO_2$  على صحة النبات بصورة أقل استقراراً مقارنةً بتأثير LST، حيث تتباين معاملات الارتباط بين موجبة وسالبة وفقاً للعام، مما يعكس اختلاف تأثير تراكم  $NO_2$  على الغطاء النباتي. فالقيم السالبة تشير إلى تأثير ضار لتلوث الهواء، الذي يضعف من عملية التمثيل الضوئي ويعيق النمو السليم، بينما تدل القيم الموجبة قد على أن تأثير  $NO_2$  لم يكن حاداً، أو أن النباتات تمكنت من التكيف مع تركيزاته المنخفضة.

بناءً على نتائج التحليل، يمكن اقتراح عدة أبحاث مستقبلية لتعميق فهم العلاقة

بين جودة الهواء، صحة النبات، ودرجة حرارة سطح الأرض (LST) في القطيف. تشمل هذه الأبحاث المستقبلية دراسة تأثير التغيرات في درجات الحرارة على التنوع البيولوجي والنمو النباتي، وتحليل موسمي لتأثير ملوثات الهواء مثل  $NO_2$  على إنتاجية النبات، إضافة إلى دراسة قدرة النباتات على التكيف مع التغيرات البيئية. كما يمكن اقتراح نمذجة العلاقة بين هذه العوامل البيئية وصحة الغطاء النباتي، واختبار تقنيات تحسين جودة الهواء مثل التشجير الحضري، بالإضافة إلى تحليل التفاعل بين العوامل المناخية والملوثات وتأثيراتها المتكاملة على النظام البيئي.

رغم دقة النتائج الحالية، تجدر الإشارة إلى أن غياب دمج القياسات الأرضية مع بيانات الأقمار الصناعية يمثل تحدياً يؤثر على تفسير العلاقة بين NDVI،  $NO_2$ ، وLST. لذلك نقدم توصية بإجراء دراسات مستقبلية تجمع بين البيانات الفضائية والقياسات الأرضية. مثل هذه الدراسات ستسهم في تحسين معايرة النماذج المستخدمة وزيادة موثوقية النتائج، مما يتيح فهماً أعمق للتفاعلات البيئية في المنطقة.

### المراجع

1. Al-Ghanem, W. M. (2010). Ecological study of *Avicenia marina* in Saudi Arabia, Al-Qatif District east Saudi Arabia. *J Arab Aquacult Soc*, 5(1), 45-54.
2. Almalki, K. A., & Al-Namazi, A. A. (2019). Impact of the industrial sector on surface temperatures in Jubail City, Saudi Arabia using remote sensing techniques. *Spatial Information Research*, 27, 329-337.
3. Anenberg, S. C., Henze, D. K., Tinney, V., Kinney, P. L., Raich, W., Fann, N., ... & Kuylenstierna, J. C. (2018). Estimates of the global burden of ambient PM 2.5, ozone, and NO 2 on asthma incidence and emergency room visits. *Environmental health perspectives*, 126(10), 107004.
4. Chaparro-Suarez, I. G., Meixner, F. X., & Kesselmeier, J. (2011). Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) uptake by vegetation controlled by atmospheric concentrations and plant stomatal aperture. *Atmospheric environment*, 45(32), 5742-5750.
5. Chen, B., Li, X., Xiao, X., Zhao, B., Dong, J., Kou, W., ... & Sun, R. (2017). Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 7-27.
6. Deljouei, A., Sadeghi, S. M. M., Abdi, E., Bernhardt-Römermann, M., Pascoe, E. L., & Marcantonio, M. (2018). The impact of road disturbance on vegetation and soil properties in a beech stand, Hyrcanian forest. *European Journal of Forest Research*, 137(6), 759-770.
7. El-Gammal, M. I., Youssef, R. A., Ali, R. R., & Amany, G. M. (2012). Estimation of seasonal variation of air pollutants, No<sub>2</sub>, So<sub>2</sub>, Pm<sub>10</sub> and Land Surface Temperature (Lst) of Nile Delta region.
8. Fuladlu, K., & Altan, H. (2021). Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*, 39, 100958.
9. Fuladlu, K., & Altan, H. (2021). Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*, 39, 100958.
10. Gao, Y., Wang, S., Zhang, C., Xing, C., Tan, W., Wu, H., Niu, X.,

- & Liu, C. (2023). Assessing the impact of urban form and urbanization process on tropospheric nitrogen dioxide pollution in the Yangtze River Delta, China. *Environmental Pollution*, 336(July), 122436
11. Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599.
  12. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27
  13. Greenstone, M., & Hasenkopf, C. (2023). Air Quality Life Index | 2023 Annual Update. Energy Policy Institute at the University of Chicago (EPIC). [https://aqli.epic.uchicago.edu/reports/?utm\\_medium=partner&utm\\_source=twitter&utm\\_campaign=aqlinews](https://aqli.epic.uchicago.edu/reports/?utm_medium=partner&utm_source=twitter&utm_campaign=aqlinews)
  14. Harper, A., Baker, P. N., Xia, Y., Kuang, T., Zhang, H., Chen, Y., Han, T. L., & Gulliver, J. (2021). Development of spatiotemporal and use regression models for PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> in Chongqing, China, and exposure assessment for the CLIMB study. *Atmospheric Pollution Research*, 12(7).
  15. Health Effects Institute. (2020). State of Global Air 2020. Special Report. [https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-2020-report-10-26\\_0.pdf](https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-2020-report-10-26_0.pdf)
  16. Huang, J., Ma, H., Sedano, F., Lewis, P., Liang, S., Wu, Q., & Zhu, D. (2019). Evaluation of regional estimates of winter wheat yield by assimilating three remotely sensed reflectance datasets into the coupled WOFOST-PROSAIL model. *Field Crops Research*, 238, 36-45.
  17. Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote sensing of environment*, 164, 298-313.
  18. Khan, M. K., Naeem, K., Huo, C., & Hussain, Z. (2022). The nexus between vegetation, urban air quality, and public health: an empirical study of Lahore. *Frontiers in Public Health*, 10, 842125.
  19. Li, X., Wang, P., Wang, W., Zhang, H., Shi, S., Xue, T., ... & Meng,

- X. (2023). Mortality burden due to ambient nitrogen dioxide pollution in China: application of high-resolution models. *Environment International*, 176, 107967.
20. Malik, M. S., Shukla, J. P., & Mishra, S. (2019). Relationship of LST, NDBI and NDVI using landsat-8 data in Kandaihimmat watershed, Hoshangabad, India.
21. Mateo-García, G., Gómez-Chova, L., Amorós-López, J., Muñoz-Marí, J., & Camps-Valls, G. (2018). Multitemporal cloud masking in the Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10(7), 1079.
22. Mehmood, K., Anees, S. A., Muhammad, S., Hussain, K., Shahzad, F., Liu, Q., ... & Khan, W. R. (2024). Analyzing vegetation health dynamics across seasons and regions through NDVI and climatic variables. *Scientific Reports*, 14(1), 11775.
23. Melamed, M. L., Schmale, J., & von Schneidemesser, E. (2016). Sustainable policy—key considerations for air quality and climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 23, 85–91.
24. NCSS 2021 Statistical Software (2021). NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA, [ncss.com/software/ncss](http://ncss.com/software/ncss).
25. Phan, T. N., & Kappas, M. (2018). Application of MODIS land surface temperature data: a systematic literature review and analysis. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(4), 041501-041501.
26. Prunet, P., Lezeaux, O., Camy-Peyret, C., & Thevenon, H. (2020). Analysis of the NO<sub>2</sub> tropospheric product from S5PTROPOMI for monitoring pollution at city scale. *City and Environment Interactions*, 8(2).
27. Rahaman, S. N., Ahmed, S. M., Zeyad, M., & Zim, A. H. (2023). Effect of vegetation and land surface temperature on NO<sub>2</sub> concentration: A Google Earth Engine-based remote sensing approach. *Urban Climate*, 47, 101336.
28. Rahaman, S. N., Ahmed, S. M., Zeyad, M., & Zim, A. H. (2023). Effect of vegetation and land surface temperature on NO<sub>2</sub> concentration: A Google Earth Engine-based remote sensing approach. *Urban Climate*, 47, 101336.
29. Rahman, M. T. (2017). Urbanization and agricultural land use changes in the city of Al-Qatif, Saudi Arabia. In 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2017 (pp. 317-322). International Multidisciplinary Scientific

- Geoconference.
30. Rao, M., George, L. A., Rosenstiel, T. N., Shandas, V., & Dinno, A. (2014). Assessing the relationship among urban trees, nitrogen dioxide, and respiratory health. *Environmental pollution*, 194, 96-104.
  31. Salman, A., Al-Tayib, M., Hag-Elsafi, S., Zaidi, F. K., & Al-Duwarij, N. (2021). Spatiotemporal assessment of air quality and heat island effect due to industrial activities and urbanization in Southern Riyadh, Saudi Arabia. *Applied Sciences*, 11(5), 2107.
  32. Shah, S. A., & Siyal, A. A. (2019). GIS-based approach estimation of area under Wheat and other major Rabi crops in district Ghotki and corresponding irrigation water requirement. *ACTA Scientific Agriculture*, 3(12), 59-70.
  33. Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5, 17.
  34. Sidhu, N., Pebesma, E., & Câmara, G. (2018). Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 486-500.
  35. Sonawane, K. R., & Bhagat, V. S. (2017). Improved change detection of forests using Landsat TM and ETM+ data. *Remote Sensing of Land*, 1(1), 18-40.
  36. Yli-Pelkonen, V., Scott, A. A., Viippola, V., & Setälä, H. (2017). Trees in urban parks and forests reduce O<sub>3</sub>, but not NO<sub>2</sub> concentrations in Baltimore, MD, USA. *Atmospheric environment*, 167, 73-80.
  37. Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO<sub>2</sub> and its impact factors in China: An application of sentinel-5P products. *Remote Sensing*, 11(16), 1939.