جامعة الملك سعود
كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية
مجلة الآداب
ردمد (ورقي):٣٦١٢-١٠١٨
ردمد (النشر الإلكتروني): ٨٣٣٩-١٦٥٨

King Saud University
College of Humanities and Social Sciences
Journal of Arts
ISSN (Paper):1018-3612
ISSN (Electronic):1658-8339

مجلة الآداب، مج (٣٧)، ع (٤)، ص ص ٦٧-٨٠، جامعة الملك سعود، الرياض (٢٠٢٥م/ ١٤٤٦هـ)
Journal of Arts, Vol. 37 (4), pp 67-80, © King Saud University, Riyadh (2025 /1446H.)

التحليل المكاني والزماني لانبعاث ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية باستخدام Google Earth Engine

رزان بنت عبد العزيز المعقل
ماجستير نظم المعلومات الجغرافية، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة الملك سعود، السعودية.

سلافة بنت صلاح الدين حاج الصافي
أستاذ نظم المعلومات جغرافية المشارك، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة الملك سعود، السعودية.

(قدم للنشر في ١٣/ ٨/ ١٤٤٦هـ، وقبل للنشر في ١٤/ ١١/ ١٤٤٦هـ)

https:/doi.org/10.33948/ARTS-KSU-37-4-4

الكلمات المفتاحية: ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، Google Earth Engine، Sentinel-5P ، المملكة العربية السعودية.

ملخص البحث: يركز البحث على تحديد الأنماط المكانية والزمانية لانبعاث ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية باستخدام تقنية الذكاء الاصطناعي، لما لها أهمية في القضايا البيئية لتحسين جودة الهواء. وتهدف الدراسة إلى تحليل التغيرات في مستويات متوسط انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 لعام ٢٠١٩م إلى ٢٠٢٣م، بالإضافة إلى إظهار التغيرات خلال الأشهر التي تصادف فترة الإغلاق بسبب جائحة Covid-19 وذلك من شهر مارس إلى يونيو لعام ٢٠٢٠م، اعتمدت الدراسة على المنهج العلمي في تحليل البيانات الكمية وتحليل التباين الزماني والمكاني لهذه البيانات. واستخدمت الدراسة منصة Google Earth Engine، للحصول على بيانات من القمر الصناعي Sentinel-5P. وأسفرت نتائج الدراسة إلى أن أقل قيمة لتركز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 كان في عام ٢٠٢٠م التي صاحبت فترة الإغلاق التي فرضتها الجائحة Covid- 19 حيث بلغت متوسط أقل قيمة (١,٠٣×١٠$^{-٣}$ mol/m^2). وجاءت أعلى نسبة لتركز هذا الغاز في عام ٢٠٢٢ حيث بلغ متوسط قيمته (٦,٣٠×١٠$^{-٣}$ mol/m^2). ومن خلال تحديد المساحة النسبية للتلوث التي تؤثر على صحة المجتمعات الحساسة، والتي تتراوح قيمتها ما بين (٢,٤٥×١٠$^{-٣}$ mol/m^2 – ١,٢٢٦×١٠$^{-٣}$ mol/m^2) أظهرت النتائج أن الملوث NO_2 وصل إلى ذروته في شهر يونيو بنسبة مساحة تصل إلى ٤٦٪ من المناطق. وبناءً على النتائج توصي الدراسة إلى توجيه الاهتمام على المناطق الحضرية والصناعية التي تظهر أعلى تركز لانبعاث غاز NO_2.

Spatiotemporal Analysis of NO2 emission in the Kingdom of Saudi Arabia using Google Earth Engine

Razan Abdulaziz Al-Maqal
Master's Degree in Geographic Information Systems, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, King Saud University, Saudi Arabia.

Sulafa Salah Al-Din Haj Al-Safi
Associate Professor of Geographic Information Systems, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, King Saud University, Saudi Arabia.

(Received: 13/ 8/1446 H, Accepted for publication 14/ 11/1446 H)
https:/doi.org/10.33948/ARTS-KSU-37-4-4

Keywords: Nitrogen dioxide NO2, Google Earth Engine, Sentinel-5P, Saudi Arabia.

Abstract. The research focuses on identifying Spatiotemporal patterns of nitrogen dioxide emissions in the Kingdom of Saudi Arabia using artificial intelligence technology, as it is important in environmental issues to improve air quality. The study aims to analyze changes in average NO2 emission levels from 2019 to 2023, in addition to showing changes during the months that coincide with the lockdown period due to the Covid-19 pandemic from March to June 2020. The study relied on the scientific approach in analyzing quantitative data and analyzing the temporal and spatial variation of this data. The study used the Google Earth Engine platform to obtain data from the Sentinel-5P satellite. The results of the study showed that the lowest value of NO2 concentration was in 2020, which coincided with the lockdown period imposed by the Covid- 19 pandemic, where the average lowest value was (1.03×10-3 mol/m2). The highest concentration of this gas was in 2022, with an average value of (6.30×10-3 mol/m2). By determining the relative area of pollution that affects the health of sensitive communities, which ranges between (2.45×10-3 mol/m2- 1.226×10-3 mol/m2). the results showed that the NO2 pollutant reached its peak in June, covering an area of up to 46% of the regions. Based on the results, the study recommends directing attention to urban and industrial areas that show the highest concentration of NO2 gas emissions.

١. المقدمة:

يعد تلوث الهواء أحد أبرز التحديات التي تواجه الدول ذات النمو السريع والتطور في قطاعاتها الاقتصادية والصناعية، مثل قطاعي إنتاج النفط، واستهلاكه. ويؤدي هذا النمو إلى انبعاث كميات كبيرة من الجسيمات الضارة، لاعتمادها الكبير على عمليات الاستخراج، والتكرير، والنقل والتوزيع في القطاع النفطي، إضافة إلى الوقود الأحفوري في المصانع، ومحطات الطاقة. هذا من شأنه المساهمة في زيادة تركيز الملوثات، مثل: ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، وثاني أكسيد الكبريت SO_2، وأول أكسيد الكربون CO، والجسيمات الدقيقة PM2.5 وPM.10؛ مما يساهم في توسع المشكلات البيئية والصحية الخطرة(١).

وعرفت منظمة الصحة العالمية (WHO) بأن تلوث الهواء يعد عاملاً يعطل التوازن الاجتماعي، وكذلك يؤثر سلباً على النمو السكاني والتكنولوجي(٢). ويعد الاستخدام المفرط للوقود الأحفوري وأنظمة النقل الحضري من أهم مصادر تلوث الهواء، وإطلاق الغازات المختلفة، من بينها NO_2، الذي يمثل واحداً من أبرز ملوثات الهواء خاصة في المناطق الصناعية وذات الاكتظاظ السكاني حيث يؤثر تأثيرًا كبيرًا على جودة الهواء وصحة الإنسان(٣).

وتواجه المملكة العربية السعودية -كما هو الحال على المستوى العالمي- تحديات بيئية كبيرة تستدعي تعزيز الجهود وتوحيد السياسات على الصعيدين الإقليمي والدولي؛ إذ يعد تلوث الهواء الناتج عن الصناعات النفطية والتوسع الحضري السريع في المملكة العربية السعودية أحد القضايا البيئية المهمة، فقد أشار "المركز الوطني للإرصاد" إلى أن تلوث الهواء قد يؤدي إلى تأثيرات مباشرة على الوظائف الحيوية للإنسان وفي حالات قد يمتد إلى المستوى الجيني؛ مما يزيد من احتمالية ظهور أمراض وراثية.

تعد تقنية الذكاء الاصطناعي في تحليل المرئيات الفضائية من التقنيات التي أسهمت في تطوير دراسة الظواهر الطبيعية لما لديها من أمكانيات كبيرة في التعامل مع البيانات الضخمة مستخدمة مرئيات الاستشعار عن بعد، وكانت أدوات التعلم الآلي مكونًا أساسيًا للتحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية لعقود، فقد أُستخدم التعلم الآلي في برامج نظم المعلومات الجغرافية لإجراء تصنيف الصور أو إثراء البيانات بالتجميع أو نموذج العلاقات المكانية(٤).

وأسهمت تقنية الذكاء الاصطناعي في الرصد المكاني والزماني طويل الأمد لجودة الهواء على مختلف المستويات؛ مما يسهم في تحليل البيانات البيئية بدقة، ويساعد في رصد التغيرات حاصلة في تركيز الغازات خلال فترات زمنية طويلة، وقد بدأ استخدام الأقمار الصناعية في مجال مراقبة تلوث الهواء منذ سبعينيات القرن العشرين، ويعد القمر الصناعي Sentinel-5P الذي تم إطلاقه لأول مرة في عام ٢٠١٣، من أحدث المستشعرات المتخصصة في مراقبة جودة الهواء على المستوى

(1) Abhimanyu Kumar Gond, et al. "Spatio-temporal Trend Analysis of Air Pollutants During COVID-19 Over Korba District, Chhattisgarh (India) using Google Earth Engin" *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, Volume 33, 21, (2024).1.

(٢) أروى الصاعدي ، ومحمد المقري، "استخدام البيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد لتحليل التغير في مرونة المناخ الحضري بالمدينة المنورة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٢٢م"، *مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية*. العدد ٣٩. (٢٠٢٤م). ٢٢؛ أنور، الكلابي. "التحليل الجغرافي لمستويات تلوث الهواء في مدينة المناذرة" *مجلة البحوث الجغرافية*. العدد ٢. (٢٠٢٠م). ٣٦٣.

(3) Hamidreza Rabiei-Dastjerdi, et al, "Spatiotemporal Analysis of NO2 Production using TROPOMI Time-series Images and Google Earth Engine in a Middle Eastern country" *Remote Sensing*, Volume 14, 7, (2022). 2.

(4) Esri. "Introduction to Deep Learning" accessed on date 2/1/2025 from:

https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/deep-learning/what-is-deep-learning-.htm

العالمي[٥]، حيث يوفر بيانات حول مستويات الملوثات في الغلاف الجوي وتأثير المناخ زمانياً ومكانيًا[٦].

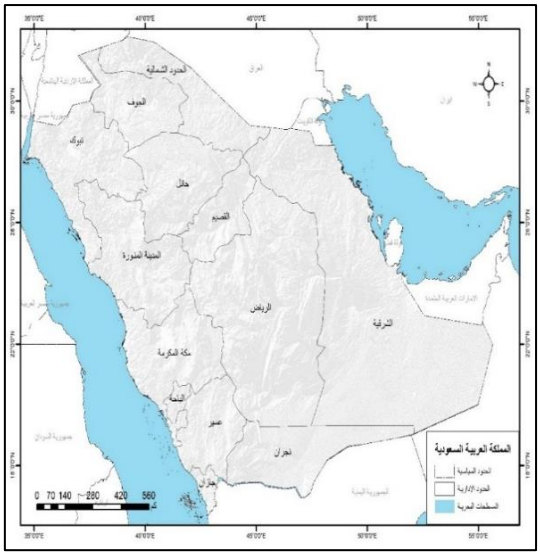
تهدف هذه الدراسة بشكل رئيس إلى مراقبة الأنماط المكانية والزمانية، وتحديد التغيرات في مستويات ثاني أكسيد النيتروجين في فترة الدراسة من عام ٢٠١٩م إلى عام ٢٠٢٣م، وذلك باستخدام منصة Google Earth Engine (GEE) حيث تعد هذه المنصة أداة قوية في مجال الاستشعار عن بعد، وتوفر كميات ضخمة من البيانات في مجموعة مختلفة من الأقمار الصناعية.

٢. أهمية الدراسة:

تتمثل الأهمية العلمية لهذه الدراسة في استخدام تقنية الذكاء الاصطناعي في تحليل مرئيات الاستشعار عن بُعد لرصد ملوثات الهواء عبر منصة Google Earth Engine. في هذا السياق، تبرز الأهمية العملية للدراسة في تحليل التغيرات الزمنية والمكانية لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2). وحيث إن المملكة تسعى إلى تطوير حلول تحقق من خلالها تنمية اقتصادية متوازنة وتساهم في تقليل الانبعاثات الضارة، تماشياً مع رؤية ٢٠٣٠.

٣. منطقة الدراسة:

تغطي منطقة الدراسة المملكة العربية السعودية، والتي تقع في جنوب غرب قارة آسيا وتشغل الجزء الأكبر من شبه الجزيرة العربية. يحدها من الشمال دولة الكويت والمملكة الأردنية الهاشمية، وجمهورية العراق، ويحدها من الغرب البحر الأحمر ومن الشرق الخليج العربي، وفي الجزء الجنوبي تحدها الجمهورية اليمنية وسلطنة عمان، وتقع بين دائرتي عرض (٠″ ١٣′ ١٤°) و (٠″ ١٥′ ٣٠°) شمال دائرة الاستواء، وبين خطي طول (٠″ ٢٧′ ٣٦°) و (٠″ ٢٩′ ٥٢°) شرق خط جرينتش، كما هو واضح في الشكل (١). وتتمتع المملكة بتنوع في الأنشطة الاقتصادية والصناعية حيث تعد من الدول المنتجة والمصدرة للنفط في العالم، بالإضافة إلى وجود المدن الصناعية مثل مدينتي الجبيل وينبع، اللتين تحتويان على منشآت ضخمة لصناعة البتروكيماويات وتكرير النفط، وهذا ما جعلهما منطقتين مثاليتين لدراسة ملوث ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2).



الشكل (١) منطقة الدراسة

٤. مشكلة الدراسة:

تشهد المملكة العربية السعودية، مثل العديد من الدول، تطورًا في الزحف العمراني وفي القطاعات الصناعية التي تعمل على إنتاج واستهلاك النفط، حيث تؤدي زيادة النشاط الصناعي واستخدام السيارات في المناطق الحضرية إلى العديد

(٥) سعد جاسم ، وعلي سبع، "تحليل مؤشرات التلوث البيئي باستخدام معطيات القمر الصناعي Sentinel-5p لقضاء بلد" *مجلة جامعة تكريت للعلوم الانسانية*. المجلد ٣١، العدد ٦، (٢٠٢٤م). ١٣٩؛ رائد، عبد القادر. "رصد ومراقبة تلوث الهواء في محافظة صلاح الدين باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 ". *مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية*، المجلد ٢٩، العدد١٠، (٢٠٢٢م). ١٠٣.

(6) Fatemeh,Ghasempour et al. "Google Earth Engine Based Spatial -temporal Analysis of Air Pollutants Before and During the First Wave Covid-19 Outbreak Over Turkey Via Remote Sensing" *journal of cleaner production*, (2012). 1.

من القضايا الصحية والبيئية، الناتجة عن انبعاث الغازات الضارة، ومن بينها ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) الذي يُنتج بشكل رئيس عن احتراق الوقود الأحفوري. ومن هنا تبرز مشكلة البحث، التي يمكن صياغتها في التساؤلات التالية:

١-ما النمط المكاني والزماني لانبعاثات (NO_2) في المملكة العربية السعودية.

٢-ما التغيرات الحاصلة في مستويات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) خلال الفترة من عام ٢٠١٩م إلى ٢٠٢٣م.

٥. أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى رصد انبعاثات غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) وتحليلها مكانيًا وزمانيًا في المملكة العربية السعودية. وتندرج منها تحقيق الأهداف التالية:

١-تحديد الأنماط المكانية والزمانية لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية من عام ٢٠١٩م إلى ٢٠٢٣م.

٢-تحليل التغيرات في مستويات ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية من عام ٢٠١٩م إلى ٢٠٢٣م.

٦. الدراسات السابقة:

تنوعت الدراسات التي تناولت موضوع تلوث الهواء وانبعاثات الغازات، وفيما يلي أبرز الدراسات التي ركزت على ملوثات الهواء بالإضافة تلك التي استخدمت منصة Google Earth Engine لاستخراج بيانات تتعلق بتلوث الهواء.

قدمت (Al Mubarak, 2020) دراسة بعنوان آثار جائحة كورونا على ملوثات الهواء NO_2 وSO في منطقة الرياض قبل وأثناء تطبيق حظر التجوال وبعده باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، واستخدام بيانات الأقمار الصناعية Sentinel-5P في شهر يوليو ٢٠١٩، وفبراير ٢٠٢٠، وإبريل ٢٠٢٠، ويوليو ٢٠٢٠، وهدفت الدراسة إلى تقييم تأثير جائحة كورونا في جودة الهواء في منطقة الرياض قبل وأثناء وبعد فترة تطبيق الحظر، وخلصت الدراسة إلى وجود انخفاض كبير في تركيزات ملوثات الهواء SO_2, NO_2 منذ أن بدأ تطبيق الحظر(٧).

وجاء في دراسة (Al-Alola, et al, 2022) بعنوان تقدير جودة الهواء باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية المكانية على طول مسار قطار الشمال، مدينة القريات في المملكة العربية السعودية، واستخدام بيانات الأقمار الصناعية من Sentinel-5، MODIS، وMERRA-2؛ لاستخراج بيانات تلوث الهواء، وتم استخدام الاستبانة لحصر مدى تأثير تلوث الهواء على صحة سكان المنطقة، وكان الهدف من الدراسة هو التحقق من العلاقة بين الملوثات والظروف المناخية مثل الحرارة وسرعة الرياح في منطقة القريات، وأظهرت النتائج وجود تركز في ملوثات الهواء مقارنة بالحدود القياسية التي وضعتها المنظمة الصحة العالمية، وتبين أن هناك علاقة قوية بين NO_2 و CO_2 وحركة المرور، بخلاف غاز SO_2 ومقياس AOD للجسيمات الهوائية(٨).

تناولت دراسة (Ghasempour, et al, 2021) التحليل المكاني والزماني لملوثات الهواء قبل تفشي جائحة (COVID-19) وأثنائها في الموجة الأولى في تركيا باستخدام منصة Google Earth Engine، وهدفت الدراسة التحقق من تأثير

(7) Hessah Al Mubarak. "The Effects of the Corona Pandemic on NO2 and SO2 Air Pollutants in Riyadh Province before, during, and after the Enforcement of Curfew Using Remote Sensing Data and GIS" *Arab Journal of Geographic Information Systems*. Volume 14, (1), (2020): 69 – 94.

(8) Seham Al-Alola, et al. "Air Quality Estimation Using Remote Sensing and GIS-Spatial Technologies Along Al-Shamal train pathway, Al-Qurayyat City in Saudi Arabia". *Environmental and Sustainability Indicators*, Volume 15, (6), (2022). 1 -10

الأنشطة البشرية والصناعية على تلوث الهواء، وتحليل التغيرات في مستويات NO_2 و SO_2 ، تم استخدام بيانات TROPOMI لمراقبة تركيزات NO2 وSO_2، وبيانات MODIS لقياس AOD للجسيمات الهوائية، من يناير ٢٠١٩ حتى سبتمبر ٢٠٢٠، ومن ثم مقارنة البيانات المستمدة من الأقمار الصناعية مع بيانات المحطات الأرضية، وخلصت نتائج الدراسة إلى وجود انخفاض ملحوظ في مستويات NO_2 وAOD في فترة الإغلاق، ولم يظهر في غاز SO_2 تغيرًا كبيرًا في هذه الفترة، وكشفت الدراسة إلى وجود ارتباطٍ قوي بين تلوث الهواء ودرجة حرارته وضغطه، على النقيض من هطول الأمطار وسرعة الرياح[٩].

وجاء في دراسة (Rabiei-Dastjerdi, at al, 2022) التحليل الزماني والمكاني لإنتاج (NO_2) باستخدام صور السلاسل الزمنية (TROPOMI) ومحرك (Google Earth) في بلد شرق أوسطي في إيران، هدفت الدراسة إلى التحقق من التباين الزماني والمكاني لانبعاث NO_2 باستخدام أداة مراقبة التروبوسفير (TROPOMI) المثبت على القمر الصناعي Sentinel-5P (S5P) ومنصة Google Earth Engine (GEE) فوق إيران، بالإضافة إلى استخدام بيانات حقيقية لمعرفة العلاقة بين البيانات، وأظهرت نتائج الدراسة إلى وجود ارتباط قوي بين بيانات الأقمار الصناعية وبيانات المراقبة الأرضية، ووجد أن تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 في طبقة التروبوسفير -بعامة- تقع فوق الجزء الشمالي من إيران[١٠].

قدم كلٌ من (Sunarta & Saifulloh, 2022) دراسة بعنوان التباين المكاني لمستويات ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 أثناء جائحة Covid-19 في منطقة بالي السياحية، تم استخدام بيانات من الأقمار الصناعية (Sentinel 5p – TROPOMI) باستخدام منصة (GEE)، هدفت الدراسة إلى تحديد التغيرات الزمنية في مستويات NO_2، وتحليل تأثير السياسات الحكومية والقيود على هذه المستويات، وخلصت الدراسة إلى وجود تباين في مستويات NO_2 في أثناء الجائحة في منطقة بالي، حيث يظهر انخفاض في مستوى NO_2 في الفترة الأولى نتيجة تقليل الأنشطة البشرية، ويرتفع مستوى NO_2 في شهرَيْ نوفمبر وديسمبر، بسبب زيادة الأنشطة السياحية[١١].

تناولت دراسة (Jamali, et al, 2023) تغيرات في مستويات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) والأوزون (O_3) نتيجة إغلاق وباء (covid-19) للمدن الصناعية: طهران، وأراك بإيران باستخدام صور القمر الصناعي Sentinel-5P، منصة Google Earth Engine (GEE) والتحليل الإحصائي، وهدفت الدراسة إلى تقييم تأثير الإغلاق المرتبط بجائحة covid 19 في مستويات ملوثات الهواء NO_2 و O_3، باستخدام الأقمار الصناعية، وخلصت الدراسة إلى وجود انخفاض في مستويات ثاني أكسيد النيتروجين بنسبة ٣,٥٪ في مدينة طهران وفي أراك بنسبة ٢٠,٩٧٪، وكذلك وجود انخفاض في مستويات الأوزون في طهران بنسبة ٦,٨٪ وفي أراك بنسبة ٥,٦٧٪ في عام ٢٠٢٠[١٢].

(9) Fatemeh Ghasempour, et al. "Google Earth Engine Based Spatial -Temporal Analysis of Air Pollutants Before and During the First Wave Covid-19 Outbreak over Turkey via Remote Sensing" *journal of cleaner production*, (2012). 1 - 21

(10) Hamidreza Rabiei-Dastjerdi, et al, "Spatiotemporal Analysis of NO2 Production using TROPOMI Time-series Images and Google Earth Engine in a Middle Eastern country" *Remote Sensing*, Volume 14, 7, (2022). 2.

(11) Nyoman Sunarta,& Moh Saifulloh. "Spatial Variation of NO2 Levels During the COVID-19 Pandemic in the Bali Tourism Area" *Geographia Technica*, Volume 17, (1), (2022). P 141-150.

(12) Ladan Gharibvand, et al "Changes in NO2 and O3 Levels due to the Pandemic Lockdown in the Industrial Cities of Tehran and Arak, Iran using Sentinel 5P images, Google Earth Engine (GEE) and statistical analysis" Stochastic *Environmental Research and Risk Assessment*, Volume 37, (7). (2023). P 2023–2034.

وجاء في دراسة (Amiri, et al, 2023) تتبع تغيرات تلوث الهواء (CO، وNO2، وSO2، وHCHO) باستخدام صور GEE وSentinel 5P في الأهواز، بإيران، وتم استخدام القمر الصناعي Sentinel 5 بالتعاون مع منصة Google Earth Engine (GEE) لاستخلاص بيانات ملوثات الهواء في فترة الحظر، وهدفت الدراسة إلى تقييم جودة الهواء بناء على تدابير الإغلاق في فترة جائحة covid-19 في مدينة الأهواز، من عام ٢٠٢١ ومقارنتها بنفس الفترة من عام ٢٠١٩[١٣].

قدم (Kamod Kanwar, et al, 2024) دراسة بعنوان التقييم المكاني والزماني لجودة الهواء في منطقة راجسامند، راجستان باستخدام محرك Google Earth، استخدمت الدراسة بيانات من القمر الصناعي Sentinel-5P TROPOMI، وهدفت إلى تحليل الاختلافات الزمانية والمكانية لمستويات ملوثات الهواء في منطقة راجسامند في الفترة من يناير ٢٠١٥إلى ديسمبر ٢٠١٩، وكشفت نتائج الدراسة إلى وجود ارتفاع في مستويات ملوثات الهواء وذلك بالقرب من مناطق التعدين، وتؤكد النتائج على وضع لوائح صارمة لممارسات التعدين المستدامة[١٤].

يتبين مما تقدم وجود اختلاف في منهجية الدراسات السابقة، فقد اختلفت الأساليب ومصادر البيانات بين الأقمار الصناعية حيث إن بعض الدراسات اعتمدت على القمر الصناعي MODIS وMERRA-2، بالإضافة إلى طرق جمع البيانات مثل استخدام المحطات الأرضية والاستبانات، بينما تناولت هذه الدراسات ملوثات الهواء المختلفة وركزت تركيزًا خاصًا على فترة جائحة Covid-19، لكن هذه الدراسة تركز تركيزًا أساسيًّا على انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين؛ لأنه أحد الغازات الرئيسة التي ترتبط بحركة المرور والأنشطة الصناعية في المملكة العربية السعودية، وتمتد الدراسة من ٢٠١٩م إلى ٢٠٢٣م؛ مما يوفر فهماً عميقًا للتغيرات في انبعاثات الغاز على مدار هذه السنوات.

٧. منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي لتحقيق أهداف الدراسة بتحليل البيانات الكمية واستخدام السلاسل الزمنية للخرائط، وتحليل التباين الزماني والمكاني للبيانات المستخدمة في الدراسة، باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P، الذي يعد جزءًا من برنامج Copernicus الذي تديره وكالة الفضاء الأوروبية، ويقدم القمر الصناعي قياسات جوية تتعلق بجودة الهواء وتأثير المناخ زمانياً ومكانياً، وتستخدم بياناته لمراقبة تركيزات الملوثات المختلفة بما فيهم ثاني أكسيد النيتروجين.

يتميز هذا القمر بوجود جهاز الاستشعار TROPO spheric Monitoring Instrument (TROPOMI) على متنه، ويعمل في نطاق الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء القصيرة ويتكون من سبعة نطاقات طيفية مختلفة. تصل دقته المكانية إلى ٨كم في النطاق الطيفي الذي يتجاوز ٣٠٠ نانومتر، بينما تبلغ الدقة أقل من ٥٠ كم للطيف الذي يقع تحت نطاق ٣٠٠ نانومتر، ولتحليل انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين من بيانات القمر الصناعي يتم استخدام النطاقين الطيفيين التاليين:

- النطاق طيفي من ٤٠٥- ٤٥٠ نانومتر: لقياس امتصاص الأشعة فوق البنفسجية
- النطاق طيفي من ٧٠٠- ٧٥٠ نانومتر: لقياس امتصاص الأشعة تحت الحمراء القريبة.

(13) Fatemeh Amiri, et al. "Tracing Air Pollution Changes (CO, NO2, SO2, and HCHO) using GEE and Sentinel 5P images in Ahvaz, Iran" *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 195, (10), (2023). P 1- 12.

(14) Rathore Kamod Kanwar. "Bhartendu, S., Pankaj, K., Gowhar, M., Saurabh, S. Spatio-Temporal Assessment of Air Quality in Rajsamand District, Rajasthan Using Cloud-Based Google Earth Engine" Approach. Journal of Climate Change, Volume 10, (3), (2024). P 9 -22.

تم إجراء تحليل البيانات لمتوسط انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) من القمر الصناعي Sentinel-5P، من عام ٢٠١٩م إلى ٢٠٢٣م، وبيانات شهرية من شهر مارس إلى شهر يونيو لعام ٢٠٢٠م، لمعرفة تأثير جائحة (COVID-19) على مستويات التلوث، وتم ذلك من خلال الاعتماد على منصة Google Earth Engine، باستخدام لغة البرمجة JavaScript، لكتابة الأكواد اللازمة على هذه المنصة، التي تتيح التعامل مع البيانات الجغرافية المكانية، شملت الأكواد تحديد لمنطقة الدراسة حيث تم استخدام دالة FeatureCollection من قاعدة بيانات "USDOS/LSIB_SIMPLE/2017"، ومن خلال دالة filter تم تصفية البيانات بحيث تحتوي على حدود المملكة العربية السعودية فقط.

ولتنزيل بيانات ثاني أكسيد النيتروجين من القمر الصناعي Sentinel-5P تم استخدام مجموعة بيانات COPERNICUS /S5P/NRTI/L3_NO2 التي تحتوي على قيم انبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين مكانياً وزمانياً، ومن هذه المجموعة استخدمت أداة ee.ImageCollection لتحميل مجموعة الصور، ولتصفية البيانات حسب الفترة الزمنية المحددة تم استخدام طريقة filterDate، كذلك استخدمت طريقة select لتحديد المقياس حيث تم من خلاله اختيار مقياس mol/m2. ولحساب متوسط تركيزات غاز ثاني أكسيد النيتروجين استخدمت دالة mean لحساب المتوسط عبر مجموعة الصور.

ولعرض البيانات على الخريطة لتشمل منطقة معينة، استخدمت طريقة map.centerobject للكود النصي ، ودالة Map. addLayar لإضافة طبقة جديدة تحتوي على البيانات المستخرجة. بعد ذلك يتم تصدير البيانات إلى Google Drive بصيغة GeoTIFF باستخدام أمر Export. image. toDrive ويبين الجدول رقم (١) متوسط معايير التركيز وجودة الهواء لملوث الهواء ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 التي وضعتها منظمة الصحة العالمية WHO تم تحويلها من وحدة (ميكروغرام/ م^3) إلى وحدة (mol/m^2) لتتناسب مع بيانات الدراسة.

جدول (١) تصنيف جودة الهواء بناءً على تركيز الملوث NO_2 وفق منظمة الصحة العالمية (WHO)

قيم NO_2 (mol/m^2)	تصنيف جودة الهواء
٠,٠٠١٢٣-٠	جيد
٠,٠٠٢٠٤-٠,٠٠١٦٣	متوسط
٠,٠١٢٢٦-٠,٠٠٢٤٥	غير صحي للمجتمعات الحساسة
٠,٠٢٢٤٨-٠,٠١٢٦٧	غير صحي
٠,٠٤٢٥-٠,٠٢٢٨٩	غير صحي جداً
٠,٠٨٣٣٨-٠,٠٤٢٩١	خطر

المصدر:.(Seham, Al-Alola, et al ,2022)

الخطوات التفصيلية للمنهجية:

- مرحلة جمع البيانات:

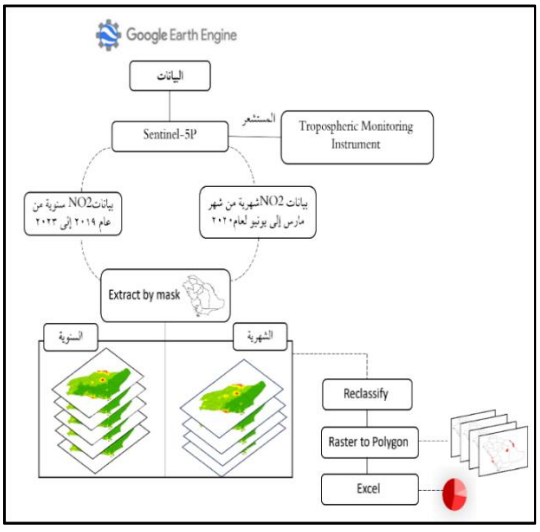
تم استخدام لغة البرمجة Java لكتابة كود في منصة GEE؛ لاستخراج بيانات من القمر الصناعي Sentinel-5P من خلال جهاز الاستشعار Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) الذي يستخدم لقياس تركيزات الغاز NO_2، وتم الحصول على البيانات السنوية للدراسة التي تمتد من عام ٢٠١٩ إلى عام ٢٠٢٣م، وبعد ذلك تم استخراج البيانات الشهرية التي تبدأ من شهر مارس إلى شهر يونيو لعام ٢٠٢٠م.

- مرحلة المعالجة الأولية:

تم إزالة الأجزاء غير المطلوبة من البيانات باستخدام أداة Extract by mask للتركيز على حدود المملكة العربية السعودية.

- تصنيف البيانات إلى فئات وتحليلها:

في هذه المرحلة تم تصنيف البيانات إلى فئات، واستخراج من الخرائط الشهرية الفئة التي تمثل التركيزات غير الصحية للمجتمعات الحساسة بناءً على معايير منظمة الصحة العالمية WHO. من خلال أداة Reclassify ومن ثم تحويلها إلى Polygonباستخدام أداة Raster to Polygon وذلك لتحليل البيانات وعرض التغيرات الحاصلة من خلال حساب نسبة المساحة التي تحتوي على قيم مرتفعة في كل شهر. يوضح الشكل رقم (٢) المنهجية المتبعة لهذه الدراسة.



الشكل (٢) المنهجية الدراسة

٨. النتائج والمناقشة:

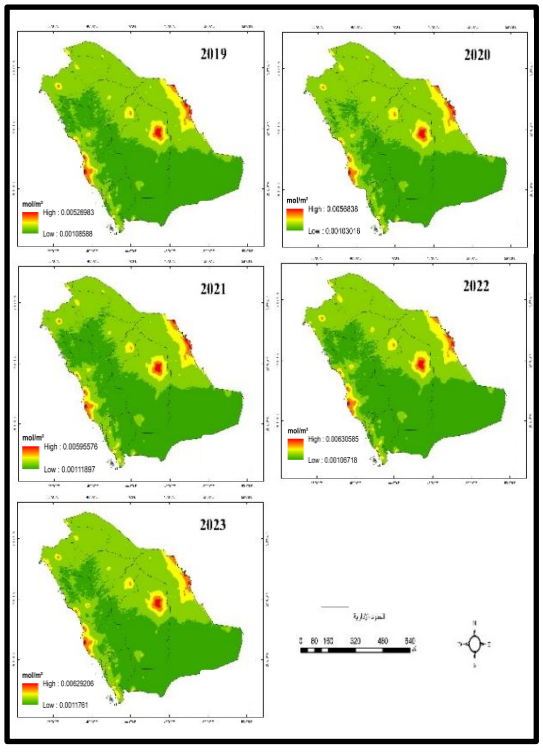
أولاً: الأنماط المكانية والزمانية لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية:

شهدت المملكة العربية السعودية في الفترة الأخيرة تطورًا في أنشطتها الاقتصادية والصناعية، وتنفيذها للمشاريع الكبيرة، ونتيجة لجهودها أدى هذا التطور إلى زيادة الأنشطة التي تسهم في انبعاث ثاني اكسيد النيتروجين NO2 خصوصًا في المدن الكبرى. ومع تزايد هذه الأنشطة أصبح من المهم متابعة مستويات ثاني أكسيد النيتروجين وتأثيره على جودة الهواء والصحة العامة.

يوضح الشكل رقم (٣) التغيرات الزمنية لتركيزات ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 في المملكة، من عام ٢٠١٩ إلى عام ٢٠٢٣، بلغت القيمة القصوى لانبعاث هذا الغاز في عام م٢٠١٩، (٢٦,٥×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، حيث يتركز في المناطق الصناعية، والمراكز الحضرية، التي تتمثل في مدينة الرياض والمنطقة الشرقية، وعلى السواحل الغربية في منطقة مكة المكرمة، وتصل أقل قيمة (٠٨,١×١٠$^{-٣}$ mol/m^2) ، لمتوسط لانبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، حيث تظهر في المناطق التي تقل فيها الأنشطة الصناعية التي تتمثل في جنوب المملكة وشمالها، وفي المناطق الصحراوية التي لا تحتوي على مصادر كبيرة للتلوث، وفي عام ٢٠٢٠م بلغ متوسط أقصى قيمة لانبعاث هذا الغاز (٥٦,٥×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، كما يلاحظ من الشكل (٢) فإنها تتركز في ذات المناطق، ولكن يلاحظ وجود انخفاض في القيمة الدنيا عن العام السابق حيث بلغ متوسطه (٠٣,١×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، ويرجع إلى فترة الإجراءات الوقائية لوباء COVID-19 وسوف يتم تناول هذا الجزء بالتفصيل في النتائج القادمة.

وفي عام ٢٠٢١م يأخذ هذا الغاز بالارتفاع ليبلغ متوسط أعلى تركز (٥٩,٥×١٠$^{-٣}$ mol/m^2) كذلك يلاحظ وجود ارتفاع في قيمة أدنى تركز لهذا العام، فالمملكة لتصل إلى (١١,١×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، وهذا بسبب عودة حركة المرور، والنشاط الصناعي بعد فترة الحجز. وفي عام ٢٠٢٢، يلاحظ وجود زيادة في تركز NO_2 خاصة في المنطقة الوسطى والشرقية بقيمة (٣٠,٦×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، ويختفي هذا التركز في شمال وجنوب المملكة، وبلغ متوسط أقل تركز لهذا العام

(١,٠٦×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، ويلاحظ في عام ٢٠٢٣م أن أعلى تركز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 ينخفض عن العام السابق، حيث بلغ (٦,٢٩×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)، وبلغت أقل قيمة لتركز هذا الغاز (١,١٧×١٠$^{-٣}$ mol/m^2)؛ إذ يتضح من السلسلة الزمنية أن تركز NO_2 يأخذ بالارتفاع في المناطق الصناعية والحضرية، بالإضافة إلى المناطق التي تقام عليها المشاريع الكبيرة. ويوضح الشكل رقم (٤) المناطق الصناعية والحضرية في المملكة العربية السعودية التي لها أعلى قيم انبعاث للغاز.



الشكل (٣) التوزيع المكاني والزماني لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية

الشكل (٤) المناطق الحضرية والصناعية ذات أعلى قيم لانبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO2

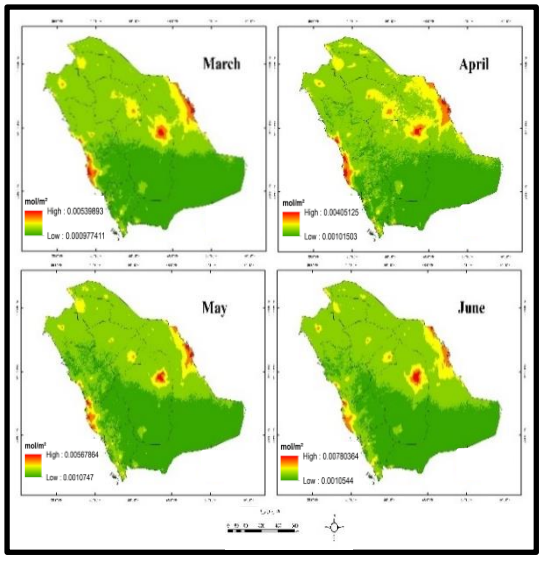
ثانياً: انبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة خلال فترة Covid 19:

سجلت العديد من المدن التي اجتاحها وباء covid-19، انخفاضًا كبيرًا في انبعاث الملوثات الهوائية ولا سيما غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، الذي يرتبط بانخفاض رحلات السيارات والمطارات والنشاط الصناعي ارتباطًا كبيرًا[١٥]. ويظهر الشكل (٥) تأثير إجراءات الإغلاق والحد من الأنشطة الصناعية على انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 في المملكة العربية السعودية من شهر مارس إلى يونيو لعام ٢٠٢٠م. يلاحظ في شهر مارس وجود تركيز مرتفع لانبعاث ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 في المدن الكبرى والمناطق

(١٥) قعيد لطيفة، "دور الإجراءات لمكافحة انتشار فيروس (كوفيد١٩) المستجد في تخفيض تلوث الهواء بالمدن" مجلة البحوث العلمية في التشريعات البيئية. المجلد ٧، العدد ٢، (٢٠٢٠م). ١٢٢؛

(١٦) زينب التغلبي، "التباين الجغرافي لنسب تلوث الهواء بالغازات خلال مدة الحظر الصحي لجائحة كورونا وما بعدها للمدة ١-٣-٢٠٢٠ إلى ١-١٠-٢٠٢٠" مجلة مركز دراسات الكوفة. العدد ٦٩. (٢٠٢٣م). ٢٠٢.

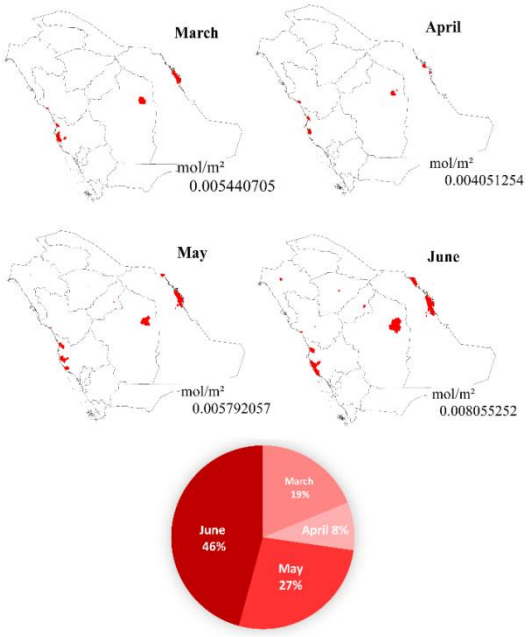
الصناعية بنسبة ٢٤,٩٪ من إجمالي الانبعاثات في فترة Covid-19، وتعد هذه الفترة بداية إجراءات الإغلاق، وفي شهر إبريل يلاحظ وجود انخفاض كبير في انبعاثات هذا الغاز حيث بلغت نسبته ١٨,٨٪ من الإجمالي، ويتبين من هذا الانخفاض الواضح إلى تأثير القيود المفروضة أثناء الجائحة على انبعاث هذا الغاز، ويلاحظ وجود زيادة طفيفة في انبعاث هذا الغاز في شهر مايو حيث ارتفعت نسبة إلى ٢٣,٥٪، وهذا يدل على تأثير استئناف بعض الأنشطة الصناعية في هذه الفترة، وفي شهر يونيو شهدت انبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 ارتفاعًا واضحًا، حيث بلغت نسبته ٣٢,٨٪؛ مما يعكس الفترة التي رفعت فيها القيود المفروضة في جميع مناطق المملكة، والسماح بعودة جميع الأنشطة الاقتصادية والصناعية.



الشكل (٥) التوزيع المكاني والزماني لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين NO2 في المملكة العربية السعودية من شهر مارس إلى يونيو

ويشير الشكل (٦) إلى المواقع التي تتركز فيها أعلى قيم لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، وعلى الرغم من أن هذه القيم لم تتجاوز المستويات الإرشادية التي وضعتها منظمة الصحة العالمية WHO للملوثات الرئيسة في الهواء، لكنها قد تؤثر تأثيرًا ملحوظًا على صحة المجتمعات الحساسة، وتتراوح قيمتها بين (٢,٤٥×١٠$^{-٣}$ – ١,٢٢٦×١٠$^{-٣}$ mol/m^2).

يتبين من الرسم البياني أن نسبة المساحة لأعلى قيمة بلغت في شهر مارس ١٩٪ من إجمالي مساحة انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة، وهي تمثل بداية فترة الإغلاق، وتتركز هذه القيمة في منطقة الشرقية تليها منطقة الرياض وفي الجزء الغربي من المملكة يتركز الملوث في منطقة مكة المكرمة وفي مدينة جدة، وفي شهر إبريل تأخذ مساحة أعلى القيم لتركز هذا الغاز بالانخفاض لتصل نسبة مساحتها إلى ٨٪ من إجمالي المساحة، وفي شهر مارس تعود القيم بالارتفاع لتصل نسبة مساحتها إلى ٢٧٪، وترتفع مساحة أعلى قيمة لتركيز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 ارتفاعًا كبيرًا وملحوظًا في شهر يونيو لتغطي مساحة تصل إلى ٤٦٪ من إجمالي مساحة انبعاثه، إذ إن المناطق ذات التركيزات المرتفعة تشمل المنطقة الشرقية تحديدًا في منطقتي الدمام والجبيل لتركز الصناعة فيها، والمناطق الحضرية الكبرى التي تتمثل في وسط المملكة تحديدًا مدينة الرياض والجزء الغربي الذي يتمثل في مدينة رابغ ومدينة جدة.



الشكل (٦) التوزيع المكاني لأعلى قيمة لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين NO2 في المملكة العربية السعودية من شهر مارس إلى يونيو.

٩. الخلاصة والتوصيات:

- ركزت الدراسة على استخدام تقنية الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات الضخمة لتحديد الأنماط المكانية والزمانية لانبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين في المملكة العربية السعودية، لما لها أهمية في القضايا البيئية لتحسين جودة الهواء، وقد تم استخدام منصة Google Earth Engine، للحصول على بيانات من القمر الصناعي Sentinel-5P، من عام ٢٠١٩م إلى عام ٢٠٢٣م. وتشير النتائج إلى أن أقل قيمة لتركز غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 كان في عام ٢٠٢٠م التي صاحبت فترة الإغلاق التي فرضتها جائحةCovid-19؛ إذ بلغ متوسط أقل قيمة (mol/m^2 ٠٣ ,١×١٠$^{-٣}$)، وجاءت أعلى نسبة لتركز هذا الغاز في عام ٢٠٢٢ فقد بلغ متوسط قيمته (mol/m^2 ٣٠ ,٦×١٠$^{-٣}$).
- أظهرت نتائج تأثير جائحة Covid-19 التي تتمثل في استخلاص متوسط انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 من شهر (مارس إلى يونيو) لعام ٢٠٢٠م إلى وجود انخفاض كبير وملحوظ في شهر أبريل، حيث بلغت نسبته ١٨ ,٨٪ من إجمالي الانبعاثات خلال هذه الفترة.
- ومن خلال تحديد المساحة النسبية للتلوث التي تؤثر على صحة المجتمعات الحساسة، التي تتراوح قيمتها ما بين (٤٥ ,٢×١٠$^{-٣}$ mol/m^2 – ٢٢٦ ,١×١٠$^{-٣}$ $(mol/m^2$
- أظهرت النتائج أن الملوث ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 وصل إلى ذروته في شهر يونيو بنسبة مساحة تصل إلى ٤٦٪ من المناطق.
- تشير النتائج إلى أن انبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 تتركز في المناطق الصناعية في شرق المملكة تحديداً في مدينتي الدمام والجبيل، بالإضافة إلى المنطقة الوسطى التي تتمثل في مدينة الرياض، وفي الجزء الغربي من المملكة تحديداً في مدينة رابغ ومدينة جدة.
- توصي الدراسة بناءً على النتائج إلى توجيه الاهتمام على المناطق الحضرية والصناعية التي تظهر أعلى تركز لانبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، واستخدام مصادر مختلفة للطاقة النظيفة مثل الطاقة الشمسية؛ لتقليل انبعاث هذا الغاز، وعلى الجانب الآخر توصي الدراسة إلى استخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-5p لكونه الأنسب في تحليل ورصد ملوثات الهواء عبر فترات زمنية طويلة.

١٠. المراجع:

المراجع العربية:

التغلبي، زينب "التباين الجغرافي لنسب تلوث الهواء بالغازات خلال مدة الحظر الصحي لجائحة كورونا وما بعدها للمدة ١-٣-٢٠٢٠ إلى ١-١٠-٢٠٢٠" *مجلة مركز دراسات الكوفة*. العدد ٦٩. (٢٠٢٣م): ١٩٩-٢٢٤.

جاسم، سعد، وسبع، علي. "تحليل مؤشرات التلوث البيئي باستخدام معطيات القمر الصناعي Sentinel-5p لقضاء بلد" *مجلة جامعة تكريت للعلوم الانسانية*. المجلد ٣١، العدد ٦، (٢٠٢٤م): ١٣٩-١٥٠.

حسن، عذراء، والوائلي علي. "التباين المكاني والزماني لتركيزات الملوثات الغازية في الهواء منطقة الكرادة" مجلة الآداب. المجلد ٣، العدد ١٤٣، (٢٠٢٢م): ٢٤٩ – ٢٦٢.

الصاعدي، أروى، والمقري، محمد "استخدام البيانات الضخمة في الاستشعار عن بعد لتحليل التغير في مرونة المناخ الحضري بالمدينة المنورة خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠٢٢م" *مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية*. العدد ٣٩. (٢٠٢٤م): ٢١-٥٣.

عبد القادر، رائد. "رصد ومراقبة تلوث الهواء في محافظة صلاح الدين باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 ". مجلة جامعة تكريت للعلوم الانسانية، المجلد ٢٩، العدد١٠، (٢٠٢٢م): ١٠٣-١٢٨.

الكلابي، أنور. "التحليل الجغرافي لمستويات تلوث الهواء في مدينة المناذرة" *مجلة البحوث الجغرافية*. العدد ٢. (٢٠٢٠م): ٣٦١ – ٣٩٠.

لطيفة، قعيد. "دور الإجراءات لمكافحة انتشار فيروس (كوفيد١٩) المستجد في تخفيض تلوث الهواء بالمدن" مجلة البحوث العلمية في التشريعات البيئية. المجلد ٧، العدد ٢، (٢٠٢٠م): ١١٣-١٣٣.

المراجع الأجنبية:

Al Mubarak, H. "The Effects of the Corona Pandemic on NO2 and SO2 Air Pollutants in Riyadh Province before, during, and after the Enforcement of Curfew Using Remote Sensing Data and GIS" *Arab Journal of Geographic Information Systems*. Volume 14, (1) (2020): p 69 – 94.

Al-Alola, S. S., Alkadi, I. I., Alogayell, H. M., Mohamed, S. A., & Ismail, I. Y. "Air quality estimation using remote sensing and GIS-spatial technologies along Al-Shamal train pathway, Al-Qurayyat City in Saudi Arabia "Environmental *and Sustainability Indicators*, Volume 15, (6), (2022): p 1 -10.

Amiri, f., Ali Akbar, J., Ladan Khedri, G. "Tracing Air Pollution Changes (CO, NO2, SO2, and HCHO) Using GEE and Sentinel 5P Images in Ahvaz, Iran" *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 195, (10), (2023). P 1- 12.

Esri, "Introduction to Deep Learning". 2025, accessed on date 2/1/2025 from:

Gharibvand, L., Ali Akbar, J., Amiri, F. "Changes in NO2 and O3 levels due to the Pandemic Lockdown in the Industrial Cities of Tehran and Arak, Iran using Sentinel 5P images, Google Earth Engine (GEE) and statistical analysis" *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Volume 37, (7). (2023). P 2023–2034.

Ghasempour, F., Sekertekin, A., Kutoglu, S. "Google Earth Engine Based Spatial -temporal Analysis of Air Pollutants Before and During the first wave covid-19 outbreak over turkey via remote sensing" *journal of cleaner production*, 319, (2021). P 1 -21.

Gond, A., Jamal, A., Verma, T. "Spatio-temporal trend analysis of air pollutants during COVID-19 over Korba district, Chhattisgarh (India) using Google Earth Engin" *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. Volume 33, (21), (2024). P 1 – 47.

https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/deep-learning/what-is-deep-learning-.htm

Kamod Kanwar, R., Suraj Kumar, S., Shruti, K., "Bhartendu, S., Pankaj, K., Gowhar, M., Saurabh, S. Spatio-Temporal Assessment of Air Quality in Rajsamand District, Rajasthan Using Cloud-Based Google Earth Engine" *Approach. Journal of Climate Change*, Volume 10, (3), (2024). P 9 -22.

Rabiei -Dastjerdi, H., Mohammadi, S., Saber, M., Amini, S., & McArdle, G. "Spatiotemporal analysis of NO2 production using TROPOMI time-series images and Google Earth Engine in a Middle Eastern country" Remote Sensing, Volume 14, (7), (2022). P 1 -18.

Sunarta, I. N., Saifulloh, M. "Spatial variation of NO2 levels during the COVID-19 pandemic in the Bali tourism area" *Geographia Technica*, Volume 17, (1), (2022). P 141-150. .