دراسة تأثير الإغلاق أثناء فترة جائحة كوفيد -١٩ على تغير خريطة تلوث الهواء في مدينة الرياض باستخدام صور القمر الصناعي Sentinel-5 P

إعداد

دكتورة / خديجة يحيى فقيه

أستاذ الخرائط المساعد

قسم الجغرافيا _كلية الآداب

جامعة الأميرة نورة بنت عبد الرحمن

الرياض – المملكة العربية السعودية

Email: kafaqeeh@pnu.edu.sa

٢٠٢٣

إصدار يوليو لسنة ٢٠٢٣م

شعبة البحوث الجغرافية

الملخص

تزامن انتشار جائحة (كوفيد -١٩) مع التدابير الاحترازية التي قامت بها الدول للحد من انتشار الوباء، حيث تم إغلاق كثير من المدن الصناعية والمدن الكبيرة المزدحمة بالسكان والذي ساهم بدورة في الحد من تلوث الهواء المرتبط بعوادم السيارات واحتراق النفط والتي تؤدي إلى تدهور جودة الهواء .المملكة العربية السعودية من الدول السباقة في اتخاذ تدابير احترازية صارمة للحد من انتشار الوباء.

الهدف الرئيسي من الدراسة هو تسليط الضوء على استخدام بيانات الأقمار الصناعية للكشف عن معدل انبعاث ملوثات الهواء الأولية بما في ذلك ثاني أكسيد النيتروجين NO2، وأول أكسيد الكربون CO في مدينة الرياض خلال فترة الإغلاق. باستخدام Sentinel-5 Precursor لفترة الإغلاق ل عام ٢٠٢٠ ولنفس الفترة من العام السابق ٢٠١٩، ومن خلال الدراسة وجد أن ثاني أكسيد النيتروجين NO2 هو الملوث الذي يستجيب بشكل أفضل للتدابير الاحترازية والإغلاق حيث انخفض تركيزه في مدينة الرياض خلال فترة الإغلاق بمتوسط بلغ ٥٠%. مقارنة بالفترة نفسها في السنة ٢٠١٩، كما شهدت مدينة الرياض أيضاً انخفاضاً في التركيز بمعدلات متفاوتة بين أحياء المدينة لغاز أول أكسيد الكربون CO وصلت إلى (٥،٤%) عام ٢٠٢٠ مقارنةً بعام ٢٠١٩، والذي يسهم بدورة في تحسين جودة الهواء في مدينة الرياض.

كلمات مفتاحية: كوفيد ١٩، القمر الصناعي سنتينل ٥، جودة الهواء، خارطة تلوث الهواء، تحليل إحصائي مكاني.

A Study of the Impact of the Closure During the Covid-19 Pandemic on the Change in the Air Pollution Map in the City of Riyadh Using Sentinel-5 P Satellite Images

Abstract

The spread of the (Covid-19) pandemic coincided with the precautionary measures taken by countries to limit the spread of the epidemic. Many industrial cities and large crowded cities were closed, which in turn contributed to reducing air pollution associated with car exhausts and oil combustion, which lead to deterioration of air quality. Saudi Arabia is one of the first countries to take strict precautionary measures to limit the spread of the epidemic.

The main objective of this study is to highlight the use of satellite data to detect the emission rate of primary air pollutants including nitrogen dioxide, NO2, and carbon monoxide (CO) in the city of Riyadh during the lockdown period. Using Sentinel-5 Precursor for the closure period of 2020 and the same period of the previous year 2019, and through the study, it was found that nitrogen dioxide, NO 2, is the pollutant that responds best to precautionary measures and closures, as its concentration decreased in the city of Riyadh during the closure period by an average of 50%. Compared to the same period in the year 2019, the city of Riyadh also witnessed a decrease in the concentration of carbon monoxide (CO) at varying rates between the city's neighborhoods, reaching (5.4%) in 2020 compared to 2019, which in turn contributes to improving air quality in the city of Riyadh.

Key words: COVID-19, Sentinel 5 P, Air quality, Air pollutants map, Geostatistical analysis.

١ – المقدمة

تم الإبلاغ عن العديد من حالات الإصابة بفيروس كوفيد –١٩ في ديسمبر ٢٠١٩ في مدينة ووهان الصينية (Jiang et al., 2020). ومع تزايد عدد حالات الإصابة بـ كوفيد –١٩، بدأ المرض في الانتشار بسرعة إلى بقية أنحاء العالم وأصبح المشكلة الصحية العالمية الرئيسية (Wu et al., 2020, Gilbert et al., 2020) من ناحية أخرى، أعلنت منظمة الصحة العالمية في ٣٠ يناير من العام ٢٠٢٠، أن كوفيد –١٩ تشكل حالة طوارئ صحية عامة ذات اهتمام دولي. وفي ١١ مارس من العام ٢٠٢٠ تم الإعلان عن أن مرض فيروس كورونا الجديد "كوفيد –١٩" هو "وباء عالمي" (WHO, 2020) مما دفع بالحكومات في جميع أنحاء العالم إلى اتخاذ مجموعة من الإجراءات والتدابير للحد من انتشار هذا الوباء.

تم اتخاذ سلسلة من الإجراءات استجابة لوباء كوفيد –١٩بعد اكتشاف الحالة الأولى لـ كوفيد –١٩ في المملكة العربية السعودية في ٢ مارس ٢٠٢٠ والتي تضمنت: تعليق العمرة في ٤ مارس٢٠٢٠، تعليق جميع المدارس والجامعات في ٨ مارس وكذلك تعليق الرحلات الدولية في ٩ مارس .كما فرضت الجهات المختصة في المملكة العربية السعودية إغلاقاً جزئياً على مستوى البلاد من الساعة ٧ مساء حتى الساعة ٦ صباحاً في ٢٣ مارس، تلاه فرض قيود على التنقل بين المحافظات في ٢٥ مارس. تم فرض الإغلاق الكامل على مدار ٢٤ ساعة على مستوى البلاد في الفترة من ٦ أبريل حتى ٢٥ إبريل، ثم أعيد حظر التجول الجزئي في ٢٦ إبريل. وفي ٢٨ مايو، تم رفع الإغلاق جزئياً في جميع المدن باستثناء مكة المكرمة، وتم تخفيف الحركة بين المناطق، وافتتحت مراكز التسوق .بعد ذلك، سمح بالصلاة في المساجد باستثناء الحرم المكي، وتم تخفيف القيود على الرحلات الجوية الداخلية والمطاعم والمقاهي والحدائق في ٣١ مايو. وكان الإجراء الأخير في ٢١ يونيو، حيث تم رفع الإغلاق الجزئي بكل المناطق. ومع ذلك، ظلت الرحلات الجوية الدولية معلقةً باستثناء رحلات العودة

إلى الوطن للمقيمين وسمح بالحج للمقيمين المحليين والمواطنين السعوديين بأعداد محدودة فقط (وزارة الصحة، ٢٠٢٠).

أدت هذه التدابير الاحترازية وحالة الإغلاق التي فرضتها البلاد إلى تقليل انبعاثات الملوثات من أنشطة النقل والأنشطة الصناعية، والذي يتوقع تأثيره على معدل انبعاث الكثير من الغازات ومنها ثاني أكسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والتي ترتبط ارتباط وثيقا بحركة النقل والأنشطة الصناعية.

٢- تساؤلات الدراسة وأهدافها

حاولنا في هذه الدراسة الإجابة على التساؤلات الآتية:

-هل تغيرت معدلات انبعاث أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين مع حالة الإغلاق الكامل في منطقة الدراسة؟

- ما هي نسبة التغيير في معدل انبعاث الغازات خلال فترة الدراسة المختارة؟

- أي الغازات هو الأكثر تأثراً خلال فترة الإغلاق الكامل في منطقة الدراسة؟

- أي الأحياء هو الاكثر تأثراً بحالة الإغلاق الكامل في منطقة الدراسة؟

تركز هذه الدراسة على التحقيق في الآثار المحتملة للإغلاق بسبب جائحة كوفيد -١٩ على جودة الهواء باستخدام مجموعات بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P في مدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية في فترة الإغلاق الكامل في مدينة الرياض و امتدت فترة الدراسة من ١٣ أبريل حتى ٢٥ إبريل من العام ٢٠٢٠م ومقارنتها بنفس الفترة من العام ٢٠١٩ م والخروج بخرائط من صور الأقمار الصناعية لمعدل انبعاث غازات تلوث الهواء المعنية بالدراسة (أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين) وخرائط لنسبة التغيير بهما خلال فترات الدراسة المختارة.

٣- الدراسات السابقة

تعددت وتنوعت الدراسات على المستوى العالمي والإقليمي والتي هدفت إلى دراسة تأثير فترة الإغلاق على جودة الهواء بالاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية، وهي كما يأتي:

دراسة (Al Mubarak, 2020) والتي اهتمت بدراسة تركيز ملوثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وثاني أكسيد النيتروجين في الهواء في منطقة الرياض قبل وأثناء وبعد فترة تطبيق حظر COVID-19 وذلك باستخدام بيانات القمر الأوربي Sentinel-5p. أظهرت نتائج الدراسة انخفاض تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين في الهواء منذ أن بدأ تطبيق الحظر للحد من انتشار فيروس COVID-I9. حاولت هذه الدراسة تحديد الارتباط بين تراكيز الملوثات المدروسة ودرجات الحرارة، التي تم الحصول عليها من معالجة صور القمر الصناعي MODAIS، في أحياء مختارة من منطقة الدراسة. أوصى هذا البحث بدراسة تراكيز ملوثات أخرى مثل أول أكسيد الكربون وهذا ما قمنا به في دراستنا، كما قمنا بتقييم نتائج بحثنا استناداً إلى قياسات حقلية رسمية لتراكيز الملوثات خلال فترة الإغلاق وهذا ما لم تقم به الدراسة المذكورة.

دراسة (Siddiqui et al., 2020) والتي ركزت على تحليل سيناريوهات التلوث الغازي، قبل وأثناء الإغلاق من خلال بيانات القمر الصناعي Sentinel-5P والقياسات الأرضية (مؤشر جودة الهواء التابع للهيئة المركزية لمكافحة التلوث، AQI) لمجموعة من المدن لهندية. توصلت الدراسة إلى انخفاض متوسط قيمته ٤٦% من انبعاثات ثاني أكسيد النيتروجين وتحسن بنسبة ٢٧٪ في مؤشر جودة الهواء في المدن المدروسة خلال مرحلة الإغلاق مقارنةً بمرحلة ما قبل الإغلاق.

دراسة (Vîrghileanu et al., 2020) االقترح الباحثين آلية لدراسة ديناميكية انبعاث ثاني اكسيد النيتروجين NO_2 في طبقة التربوسفير للعمود فوق أوروبا بين فترات مماثلة في ٢٠١٩ و٢٠٢٠، بالاعتماد على الصور التي التقطتها وكالة الفضاء الأوروبية ESA (https://www.esa.int) باستخدام القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor. سلطت النتائج الضوء على الانتقال المفاجئ من حالة طبيعية الى فترة تفشي COVID-19 والتي تميزت بانخفاض قصير في كثافة الحركة المرورية والأنشطة الصناعية وهو ما كشف بدوره عن انخفاض في كثافة عمود التربوسفير في طبقة ثاني أكسيد النيتروجين الى نسبة ٨٥% في بعض المدن الأوروبية الكبرى. كما أثبتت نتائج الدراسة أن العلاقة بعقد مقارنة فيما بين تركيز ثانى أكسيد النتروجين المستخرج من البيانات بصور القمر الصناعي والبيانات الأرضية حيث تراوح معامل الارتباط بين ٠.٥ و ٠.٧ خلال فترة الدراسة (٢٠١٩،٢٠٢٠) على الترتيب.

دراسة (Abdelsattar et al., 2021) والتي تم فيها البحث في تأثير الإغلاق بسبب COVID-19 على تراكيز NO2 في مدينة القاهرة بجمهورية مصر العربية ومدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية. تم الاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية للحصول على قيم تراكيز NO2 للفترة الممتدة من أبريل ٢٠١٧ إلى ٢٠٢٠ وتم استخدام المتوسط الشهري لقيمة تراكيز NO2 في أبريل ٢٠١٧-٢٠١٩ كقيمة مرجعية ومقارنة تركيز NO2 في أبريل ٢٠٢٠ بهذه القيمة المرجعية لتقييم أثر الإغلاق على تركيز NO2. وأظهرت النتائج أن الإغلاق أدى إلى انخفاض في تركيز غاز NO2 بنسبة ٤٠.٣% في مدينة الرياض و٢٣% في القاهرة. وبمقارنة انخفاض تركيز ثاني أكسيد النيتروجين في عطلات نهاية الأسبوع وأيام الأسبوع، وجد أن الانخفاض في أيام الأسبوع في القاهرة (١٦.٣%) كان أقل من عطلة نهاية الأسبوع (٣١.٩%). بينما في

الرياض، كان الانخفاض في أيام الأسبوع (٤٣.٩%) أعلى من عطلة نهاية الأسبوع (٢٩.٣%). وأشارت الدراسة الى أن التباين في معدلات التخفيض مرتبط بنظم الإغلاق المختلفة التي اتخذها البلدان كما أوصت الدراسة البلدان على اتخاذ تدابير التخفيف المناسبة للحفاظ على جودة الهواء المحيط الجيدة لحماية صحة الإنسان والبيئة.

دراسة (Abou El-Magd & Zanaty, 2021) والتي تم فيها استخدم هذا البحث بيانات فضائية تم الحصول عليها من عدة مستشعرات لرسم خريطة لتغيرات جودة الهواء في مصر في الأشهر الستة الأولى من يناير إلى يونيو ٢٠٢٠ بسبب الإغلاق ومقارنة بالسنوات السابقة لعامي ٢٠١٨ و٢٠١٩. توصلت الدراسة إلى أن جودة الهواء في جميع أنحاء البلاد قد تحسنت نتيجة لتقليل انبعاثات الملوثات، مع انخفاض انبعاثات أكسيد النيتروجين بنسبة ٤٥.٥%، وانخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٤٦.٢٣%، وانخفاض تركيز الأوزون بنحو ٦١.١٪ مقارنة بالسنوات السابقة. كما أوصت بإغلاق كامل لمدة ٢-٣ أيام (عطلة نهاية أسبوع طويلة) كل شهرين إلى ثلاثة أشهر على الأقل، على المستوى الوطني و / أو العالمي، لتعزيز جودة الهواء وتحسين البيئة الصحية للكوكب.

دراسة (Aljahdali et al., 2021) حيث قام الباحثون بدراسة تأثير إغلاق في فترة COVID-19 على جودة الهواء كل ساعة في تسع مدن بالمملكة العربية السعودية مع التركيز على خمسة ملوثات هي: أول أكسيد الكربون (CO) والجسيمات PM10 (جزيئات صلبة تحملها غازات المداخن) وثاني أكسيد الكبريت (SO2) وثاني أكسيد النيتروجين (NO2) والأوزون (O3). حصلت هذه الدراسة على قياسات الأرصاد الجوية (درجة حرارة الغلاف الجوي والرطوبة

النسبية وسرعة الرياح) للمدن المدروسة من الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة في المملكة العربية السعودية (GAMEP) للفترة الواقعة بين يناير ٢٠١٩ ومايو ٢٠٢٠ وتوصلت الى وجود انخفاض في تراكيز الملوثات الخمس في الغلاف الجوي أثناء الإغلاق باستثناء تركيز O3 في تبوك والقصيم وحقل. وأشارت الدراسة إلى أن النسبة المئوية للتغيرات في تراكيز ثاني أكسيد الكربون (٣٣.٦٠%) وثاني أكسيد الكبريت (٤٤.١٦%) أعلى في جدة وبلغت نسبة تركيز PM10 (٩١.١٢%) في الرياض بينما كانت تراكيز NO2 (٤٤.٣٥%) وO3 (١٨.٩٨%) أعلى في مكة المكرمة. أشارت الدراسة أن فترة الإغلاق COVID-19 في المملكة العربية السعودية كشفت عن إمكانية الحد من الملوثات الجوية بشكل كبير من خلال التحكم في حركة المرور وأنشطة الصناعات وبرامج النقل الصديقة للبيئة مثل برامج التنقل الخضراء.

دراسة (Madkour, 2022) والتي كان الهدف الرئيسي منها هو رصد تأثير جائحة COVID-19 على تغير المناخ والبيئة من خلال إجراءات مثل فرض حظر التجول الجزئي والحفاظ على تدابير التباعد الاجتماعي، بالإضافة إلى تعليق الطيران وخفض استهلاك الكهرباء في قطاعات العمل داخل القاهرة الكبرى في مصر. تعتمد هذه الدراسة على تحليل منتجات القمر الصناعي Sentinel-5P لرصد التغير في ملوثات الهواء في منطقة الدراسة قبل وأثناء وبعد انتشار جائحة كوفيد-١٩. كما تعتمد على استخدام منهجية أثر الكربون. توصلت الدراسة إلى أن حظر التجول الجزئي وإجراءات التباعد الاجتماعي قلصت انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في مصر بحوالي ١٥% وانبعاثات NO2 في منطقة القاهرة الكبرى بحوالي ١٧%، وانخفض انبعاث SO2 بنسبة ١٥.٦% وانبعاث CO بنسبة حوالي ٧.٧%.

دراسة (سليمان، ٢٠٢٢) والتي تم فيها تقييم تراكيز الجسيمات الهوائية PM10 وNO_2 في مدينة الرياض خلال الفترة الممتدة من عام ٢٠١٦ الى ٢٠١٨ م. وهنا، تم تحليل البيانات اليومية لـ ١٦ محطة ثابتة في مدينة الرياض ومتوزعة على في المناطق الحضرية، وتم تحليل البيانات زمانياً ومكانياً برسم خرائط التوزيع المكانى لتركيز العناصر بإستخدام الإحصاء المكانية Geostatistic analysis عن طريقة Ordainary Kriging بواسطة برنامج Arcgis10.1 توصل البحث الى وجود زيادة في تركيز العوائق الهوائية في جنوب وشرق مدينة الرياض بسبب الأنشطة الصناعية وزيادة حركة المرور. وأوصى البحث بزيادة المساحات الخضراء في هذا الجزء من المدينة والعمل على وجود حلول لتقليل التلوث وتحسين جودة الهواء بها.

دراسة (Grzybowski, et al., 2023) والتي كان هدفها الرئيسي هو التحقق من إمكانية استخدام مستشعر(Sentinel-5 Precursor (S-5P لقياس كثافة عمود ثاني أكسيد النتروجين في طبقة التروبوسفير NO_2 TVCD لدعم رصد تلوث الهواء في بولندا، كما سعت الدراسة إلى إنشاء علاقة بين تلوث الهواء والظروف الجوية. تم دمج بيانات ERA-5 (بيانات تحليل الظروف الجوية بشكل ساعي) مع منتج NO_2 TVCD وبيانات إضافية في نموذج ذكاء اصطناعي لتقدير تراكيز NO_2 على سطح الأرض. توصلت الدراسة إلى أنه من الممكن استخدام النموذج المقترح لمدة ١٢٠ يوما على الأقل في السنة بسبب ظروف عدم وجود الغيوم. كما تبين أن NO_2 TVCD كانت المتغير الأهم، حيث فسر أكثر من ٥٠% من التوقعات. وكانت المتغيرات الأخرى المهمة هي إضاءة الشوارع ليلاً، وشدة الإشعاع الشمسي، وكثافة الطرق، والسكان، وارتفاع طبقة حدود الكوكب (الجزء الأدنى من طبقة التروبوسفير). كانت التوقعات التي تم الحصول عليها باستخدام النموذج المقترح أكثر تطابقاً مع تراكيز NO_2 الفعلية على سطح الأرض مقارنة بمتوسط تقديرات CAMS (تحليل وتنبؤ يومي بنوعية الهواء في أوروبا) المجمعة.

٤- طرائق البحث ومواده

منطقة الدراسة

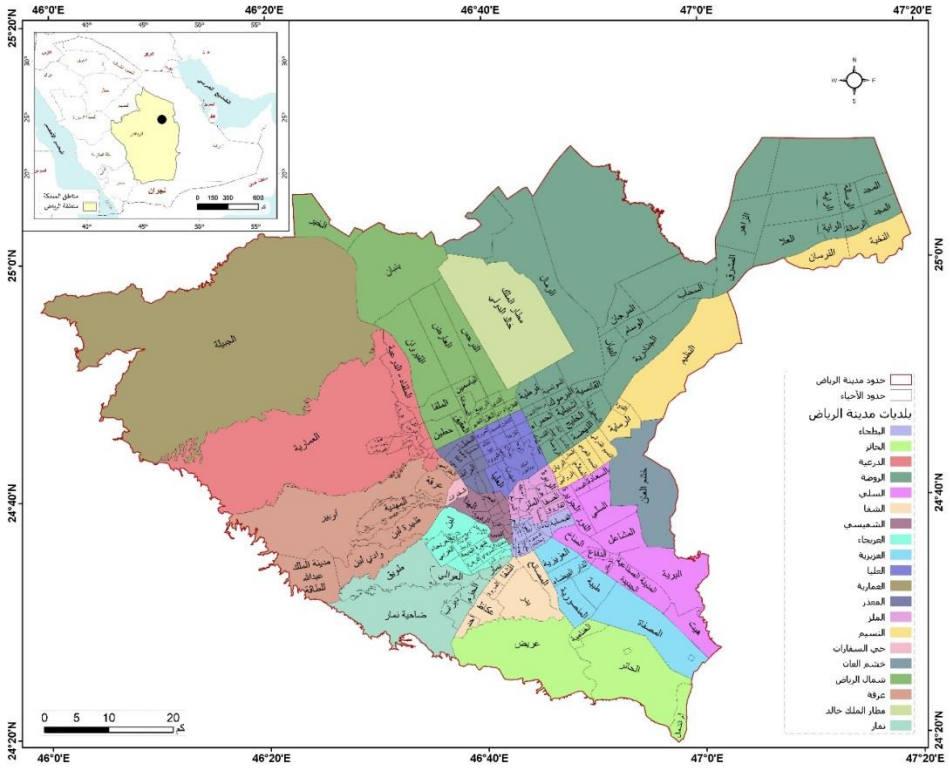
منطقة الدراسة هي مدينة الرياض (الشكل ١) والتي تقع في وسط المملكة العربية السعودية بين خطي طول ° ٤٦ و ′47°17 شرقاً، ودائرتي عرض′24°20 و ′25°10 شمالاً، على هضبة رسوبية يصل ارتفاعها نحو ٦٠٠ متر فوق سطح البحر في الجزء الشرقي لشبه الجزيرة العربية، تبلغ **مساحتها ٣١١٥ كيلومتر** مربع و يبلغ عدد سكانها ٨,٦٦٠,٨٨٥ (ثمانية مليون وستمائة وستون الفا وثمانمائة خمسة وثمانون) نسمة عام ٢٠١٩م (الهيئة العامة للإحصاء ٢٠١٩).

تعد مدينة الرياض واحدة من أسرع مدن العالم نموا في السكان واتساعا في المساحة نتيجة لزيادة النمو العمراني السريع. وقد ازدادت فيها الخدمات والإمكانات الحضارية بشكل يضاهي كثيراً من المدن العالمية المعاصرة. ولكن مدينة الرياض تعاني كما تعاني غيرها من المدن الكبيرة من ظاهرة تلوث البيئة، وخاصة تلوث الهواء. وتأتي ملوثات الهواء الشائعة في الرياض من المصادر التالية:

- وسائل النقل مثل السيارات، وخاصة تلك التي تعمل بالديزل.
- الصناعة مثل الصناعة الكيميائية ومصانع الإسمنت والحجر والطوب ومواد البناء التي يمكن أن تلوث الهواء بنواتج احتراق الوقود اللازم لهذه الصناعات او بمخلفات هذه الصناعة.
- عمليات التخلص من النفايات البشرية والصناعية.
- الغبار الذي يحدث احياناً في شهور معينة من السنة.
- محطات توليد الكهرباء.
- المدن الصناعية التي تخدم السيارات .

ولعل اهم ملوثات الهواء في مدينة الرياض هي:

- أكاسيد الكربون وتشمل اول وثاني اكسيد الكربون والهيدروكربونات.
- أكاسيد النتروجين.
- الجسيمات الدقيقة التي تضم الغبار والرماد والدخان والسخام، إضافة إلى دقائق صغيرة من بعض الفلزات مثل الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك والزئبق.. إلخ.



شكل (١) منطقة الدراسة.

القمر الصناعي Sentinel 5 P

تعتبر مهمة Copernicus Sentinel-5 Precursor أول مهمة كوبرنيكوس مخصصة لمراقبة الغلاف ولجراء قياسات عليه بدقة مكانية وزمانية عالية، لاستخدامها في تقييم جودة الهواء، والأوزون والأشعة فوق البنفسجية، ومراقبة المناخ والتنبؤ به. تم إطلاق القمر الصناعي بنجاح في ١٣ أكتوبر ٢٠١٧ من قاعدة بلسيتسك الفضائية في روسيا.

تحمل هذه المهمة، والمكونة من قمر صناعي واحد، الأداة Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) وهي أداة تجمع بين نقاط القوة في SCIAMACHY وOMI والتكنولوجيا الحديثة للحصول على الأرصاد مع أداء لا يمكن تحقيقه بواسطة الأدوات الحالية في الفضاء. في الواقع، تتفوق هذه

الأداة على الأجهزة الحالية الموجودة في المدار من حيث الحساسية والدقة الطيفية، المكانية والزمنية (Shikwambana et al., 2020).

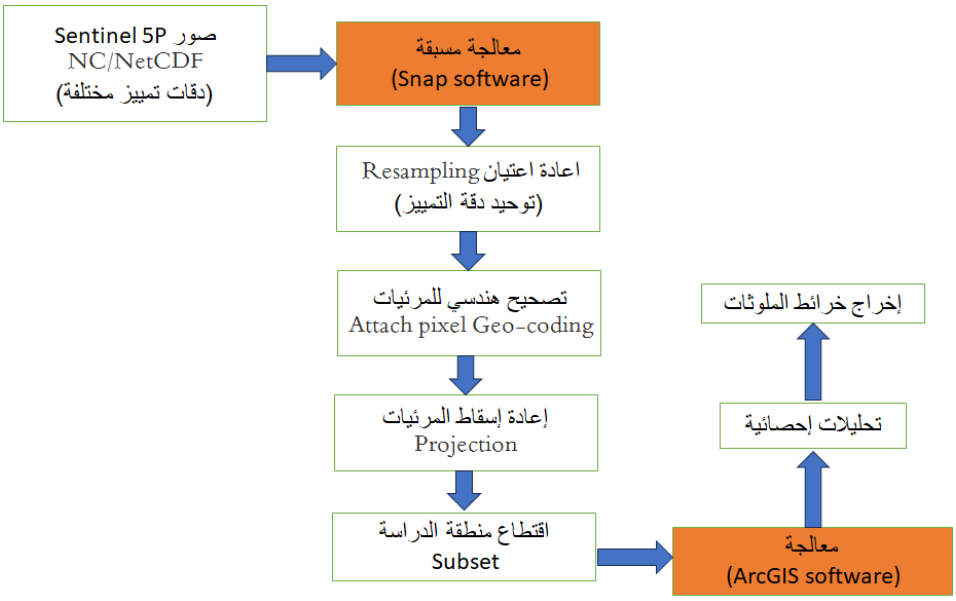
تعمل مهمة Copernicus Sentinel-5 Precursor على تقليل الفجوات فيما يخص توافر منتجات بيانات الغلاف الجوي العالمية بين SCIAMACHY / Envisat (التي انتهت في أبريل ٢٠١٢) ومهمة / OMI AURA ومهمتي Copernicus Sentinel-4 و Sentinel-5 المستقبلية (Veefkind, 2012).

منهجية البحث

اعتمدت الدراسة على الأسلوب التحليلي الآلي للمرئيات الفضائية كمصدر أساسي للبيانات وإنتاج خرائط للتلوث بالغازات المعنية بالدراسة، كما استخدم التحليل الاحصائي لبيانات ملوثات الهواء. المنهجية المطبقة موضحة في الشكل (٢).

فيما يخص مرحلة المعالجة المسبقة للمرئيات فقد تم استخدام البرنامج SNAP حيث تم توحيد دقة التمييز المكانية Spatial resolution للمرئيات(٧.٥كم و ٣.٥كم) نظراً لاختلافها لفترتي الدراسة ولذلك تم توحيدها ل ٣.٥كم من خلال عمليات إعادة الاعتيان Resampling داخل البرنامج. تم بعد ذلك تم القيام بالتصحيح الهندسي للمرئيات لتصحيح التشوهات الموجودة فيها وتم إعادة إسقاطها Reprojection في نظام الإحداثيات الوطني الخاص بمنطقة الدراسة وهو Ain_el_Abd_UTM_Zone_38N. وأخيراً، تم اقتطاع منطقة الدراسة وهي مدينة الرياض.

بالنسبة لمرحلة المعالجة للمرئيات وإخراج خرائط الملوثات فقد تمت بالاستعانة بالبرنامج ArcGIS 10.8 وقد تضمنت تحليل المتوسطات لبكسلات المرئيات، التحليل الإحصائي المكاني للبيانات من خلال التحليل النطاقي Zonal statistics، تحليل نسب التغير خلال فترات الدراسة والإخراج والعرض الخرائطي.



المصدر: من إعداد الباحثة

شكل (٢) منهجية المعالجة.

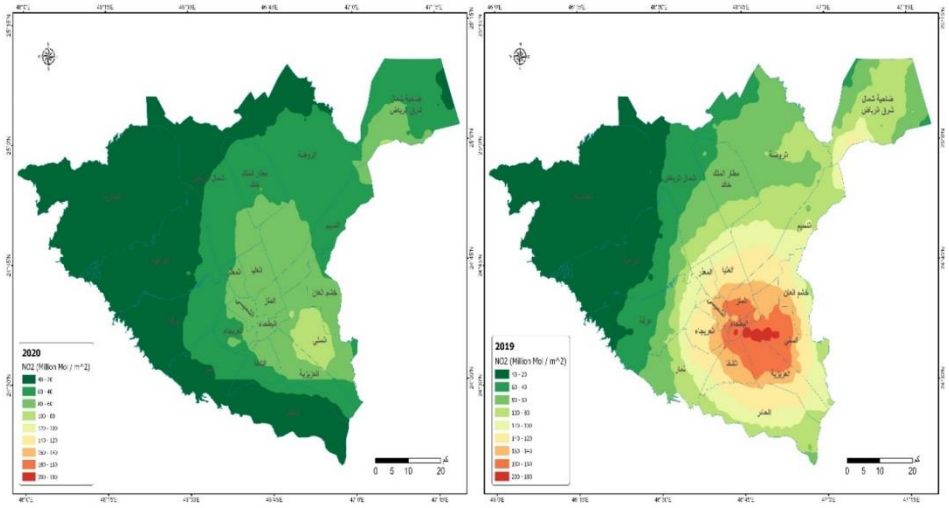
٥- النتائج والمناقشة

التحليل الإحصائي لبيانات غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO2

عند دراسة معدل انبعاث NO2 استخدمت الصور Sentinel 5 Precursor التي التقطتها وكالة الفضاء الأوروبية ESA في عامي ٢٠٢٠ و٢٠١٩ في رسم خرائط للتلوث في مدينة الرياض. أظهرت النتائج وجود انخفاض كبير في معدل انبعاث هذا الغاز في العام ٢٠٢٠ مقارنةً بالفترة نفسها من العام ٢٠١٩ (الشكل (3)). في الواقع، تشير النتائج إلى الانخفاض في تراكيز NO2 ليس فقط في المناطق كثيرة السكان التي تكتظ فيها حركة المرور فحسب، بل في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة نسبياً والتي توجد فيها حركة مرور قليلة الغزارة. ونشير هنا، إلى أنه بالرغم من إمكانية تأثر متوسط القيم المعروضة على الخرائط بالظروف الجوية وانبعاثات ملوثات الهواء، وكذلك بوجود السحب أثناء عبور الأقمار الصناعية، إلا أن التغييرات في تراكيز NO2

واضحة حيث بلغ متوسط الانخفاض ما قيمته 50% في منطقة الدراسة في فترة الدراسة من العام ٢٠٢٠ مقارنةً بفترة الدراسة من العام ٢٠١٩.

تمثل الخرائط الموضحة في الشكل (3) إجمالي جزيئات ثاني أكسيد النيتروجين وتظهر في مفتاح الخارطة Legend حيث يعبر اللون الأخضر عن "القليل من التلوث" واللون الأحمر عن "الكثير من التلوث." ونلاحظ من الخريطة لعام ٢٠١٩ في الشكل (٣) أن معدل انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين بلغ قيمته العظمى في وسط مدينة الرياض (يظهر باللون الأحمر) و يمتد لجنوب وشرق المدينة بتركيز اقل نوعا ما عن وسط مدينة الرياض (يظهر لنا باللون الأصفر) اما الأحياء ذات معدل الانبعاث الأقل فتظهر باللون الأخضر الغامق وتتركز في الشمال الغربي من مدينة الرياض.



المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

شكل (٣) خريطة معدل انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين في مدينة الرياض قبل الإغلاق (عام ٢٠١٩) وخلال الإغلاق (عام ٢٠٢٠)

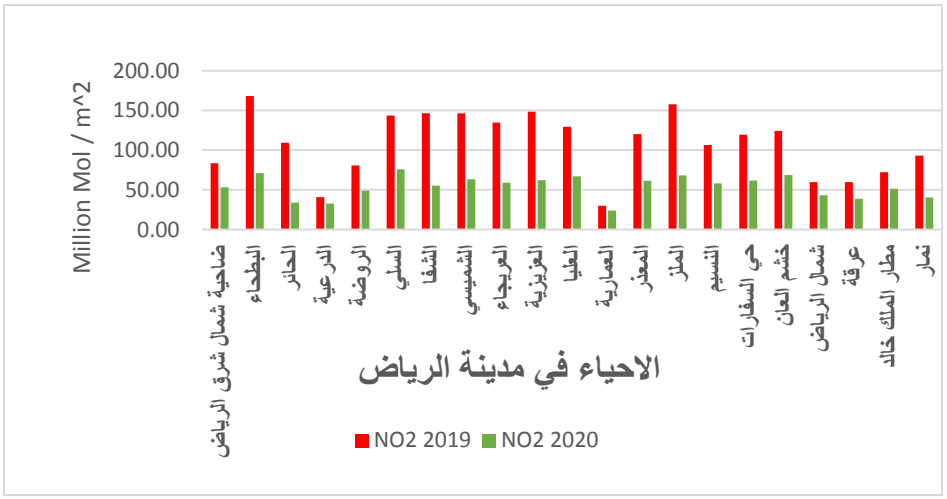
نجد في الشكل (٤) والجدول (١) معدل انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين في بلديات مدينة الرياض عام ٢٠١٩، حيث تتركز اعلى متوسط لمعدل الانبعاث في

المناطق الوسطى إلى الجنوبية من مدينة الرياض حيث بلغت اقصى ما يمكن في حي البطحاء الواقع في مركز مدينة الرياض $168.32\ Million\ Mol/m^2$. يعتبر هذا الحي منطقة تجارية مزدحمة. يلي هذا الحي حي الملز، حيث بلغت قيمة متوسط معدل الانبعاث $157.72\ Million\ Mol/m^2$ ويضم هذا الحي الكثير من الدوائر الحكومية بالإضافة إلى انه حي تجاري. من ناحية أخرى، نلاحظ بشكل عام أن الأحياء الأقل نصيباً من معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين هي الأحياء الواقعة شمال وشمال غرب مدينة الرياض كحي عرقة وحي شمال الرياض وهي أحياء سكنية ذات كثافة سكانية منخفضة، وكذلك حي العمارية الذي بلغ معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين به $29.9\ Million\ Mol/m^2$ ويعتبر حياً سكنياً زراعياً.

من ناحية أخرى، نلاحظ من الشكل (٤) والجدول (١) الانخفاض الكبير في معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين في العام ٢٠٢٠. نلاحظ أن القيمة العظمى لهذا المعدل تتوافق مع منطقتي وسط وجنوب شرق الرياض، فقد بلغت قيمة هذا الانخفاض في حي السلي، الواقع جنوب شرق الرياض، القيمة $75.9\ Million\ Mol/m^2$، في حين بلغت في حي البطحاء، الواقع في وسط مدينة الرياض، القيمة $70.9\ Million\ Mol/m^2$.

من ناحية أخرى، نلاحظ أن الأحياء التي معدل انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين بها أقل ما يمكن تقع في شمال وشمال غرب مدينة الرياض، فقد بلغت قيمة هذا المعدل في حي عرقة القيمة $38.8\ Million\ Mol/m^2$ وفي حي الدرعية $32.6\ Million\ Mol/m^2$ (٣٢،٦) وهما حيان سكنيان، كما بلغت في حي العمارية، وهو حي سكني زراعي، القيمة $23.8\ Million\ Mol/m^2$. نلاحظ أيضاً إن معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين في حي الحائر الواقع اقصى جنوب مدينة الرياض قد بلغ $34.0\ Million\ Mol/m^2$ وهذا الحي سكني إلا أنه قريب من مصفاة ارامكو الرياض. نستنتج أن فترة الأغلاق قد ساهمت بشكل

كبير في قلة الحركة المرورية والنشاط الصناعي وهذا ما أدى بالتالي إلى الانخفاض في معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين خلال هذه الفترة.



المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

شكل (٤) معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين في أحياء مدينة الرياض في عام ٢٠١٩ وعام ٢٠٢٠ خلال فترة الدراسة

يوضح الشكل (5) نسبة التغيير في معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين بين عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠ في أحياء مدينة الرياض حيث تظهر الأحياء الأكثر تأثراً بالإغلاق والأكثر تغيراً في معدل انبعاث هذا الغاز باللون الأخضر في حين تظهر الأحياء الأقل تأثراً باللون البرتقالي.

نلاحظ من الجدول رقم (١) والشكل (٥) ان نسبة اختلاف التركيز بين عام ٢٠١٩ وعام ٢٠٢٠ لنفس الفترة المحددة في الدراسة كانت أكبر ما يمكن في حي الحائر جنوب مدينة الرياض (بلغت النسبة ٦٨.٩%) بسبب توقف العمل بمصنع الجبس ومصفاة أرامكو للبترول الواقعة جنوب الرياض بالإضافة إلى توقف مصنع الأسمنت الواقع في نفس المنطقة. نلاحظ أيضاً امتداد أثر هذا

التوقف على حي السلي الذي انخفض به معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين فيه (بلغت النسبة ٤٧.١%،)

جدول (١) معدل ونسبة التغيير في انبعاث غاز NO2 في الهواء بين عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠ م في أحياء مدينة الرياض

اسم الحي	NO2 (2019)	NO2 (2020)	نسبة التغير(%)
ضاحية شمال شرق الرياض	83.7	53.2	-36.5
البطحاء	168.3	70.9	-57.9
الحائر	109.3	34.0	-68.9
الدرعية	41.0	32.6	-20.4
الروضة	80.8	48.7	-39.7
السلي	143.6	75.9	-47.1
الشفا	146.4	55.4	-62.2
الشميسي	146.4	63.4	-56.7
العريجاء	134.9	58.8	-56.4
العزيزية	148.5	62.1	-58.2
العليا	129.4	67.0	-48.2
العمارية	29.9	23.8	-20.3
المعذر	120.3	61.3	-49.0
الملز	157.7	68.2	-56.8
النسيم	106.5	58.1	-45.5
حي السفارات	119.4	61.6	-48.4
خشم العان	124.4	68.5	-45.0
شمال الرياض	59.7	43.1	-27.8
عرقة	59.9	38.8	-35.2
مطار الملك خالد	72.2	51.3	-28.9

نمار	93.1	40.4	-56.6
المتوسط العام	108.3	54.1	-50.0

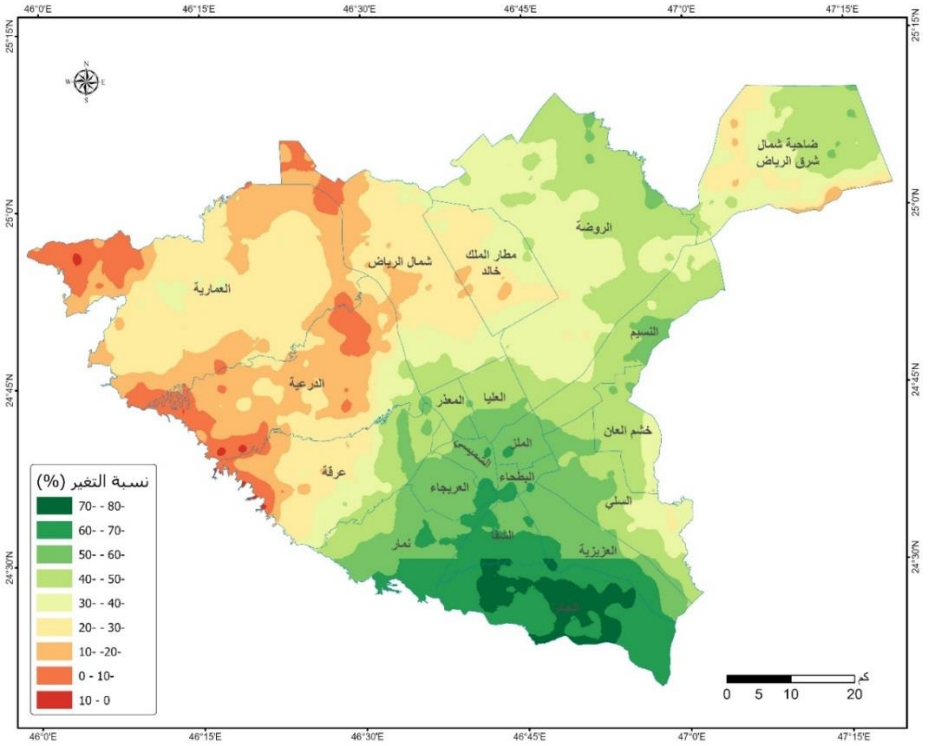
المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

وكذلك في حي الشفاء الوقع جنوب مدينة الرياض حيث بلغت نسبة الانخفاض ٦٢.٢% وهو من الأحياء المكتظة بالسكان مثله مثل بقية الأحياء التي تتصف بكثافة سكانية وغزارة مرورية عالية مثل حي العزيزية (٥٨.٢%) وحي البطحاء (٥٧.٢%) وحي عريجاء (٥٦،٢%).

من ناحية أخرى، اسهم الإغلاق التام أيضا إلى توقف العمل في الكسارات الواقعة شرق مدينة الرياض التي كان تأثيرها يمتد إلى الأحياء شرق وشمال شرق مدينة الرياض مثل ضاحية شمال شرق الرياض وحي النسيم وحي الروضة حيث سجل حي النسيم انخفاض بنسبة ٤٥.٥% ، وحي الروضة انخفاض بنسبة ٣٩.٧% وهي تعتبر من الأحياء ذات الكثافة السكانية العالية بالإضافة إلى وجود ورش صغيرة للسيارات والمستودعات والتي ساهم الإغلاق الكامل بها على انخفاض كبير في معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين نتيجة توقف الأنشطة الصناعية بالإضافة إلى توقف حركة المرور وبالتالي انخفاض التلوث بغاز ثاني أكسيد النيتروجين. كما انخفض تركيز هذا الغاز بنسبة 28.9% في مطار الملك خالد الذي يقع شمال شرق مدينة الرياض نتيجة لتوقف العمل في مصانع البلوك والخرسانة الجاهزة والكسارات والمصانع العشوائية الصغيرة الموجود شرق مدينة الرياض بالإضافة إلى توقف حركة الطيران وبالتالي توقف حركة المرور في منطقة المطار

أخيراً، نلاحظ أن الانخفاض ملحوظ بشكل كبير في الأحياء الممتدة جنوب وشرق مدينة الرياض، كما يتضح من الشكل (5) حيث أخذت المناطق الأكثر انخفاضا اللون الأخضر، أما الأحياء شمال غرب مدينة الرياض، مثل حي

الدرعية وحي العمارية، فهما الأقل في معدل الانبعاث حيث بلغت نسبة الانخفاض بهما ٢٠.٤ % و٢٠.٣% على التوالي.



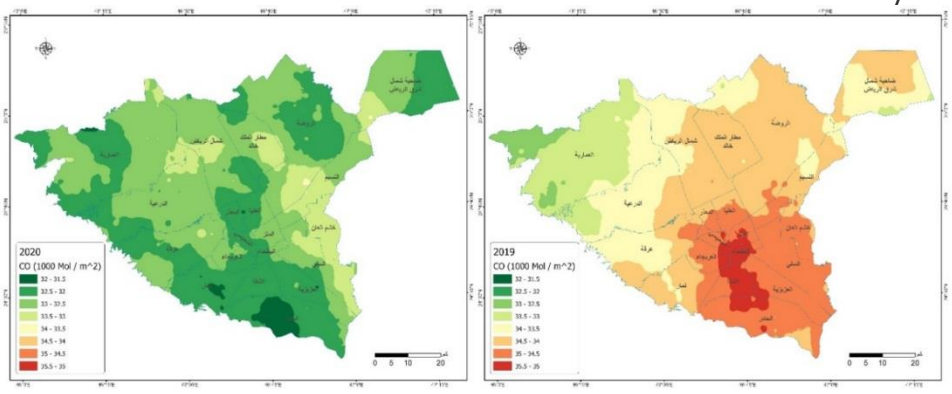
المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

شكل (٥) خريطة نسبة التغير في معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين في مدينة الرياض خلال فترة الدراسة

التحليل الإحصائي للبيانات غاز أول أكسيد الكربون CO

عند دراسة معدل انبعاث CO تم استخدام الصور Sentinel 5 Precursor التي التقطتها وكالة الفضاء الأوروبية ESA في عامي ٢٠٢٠ و٢٠١٩ في رسم خرائط للتلوث في مدينة الرياض. أظهرت النتائج وجود انخفاض في معدل انبعاث هذا الغاز عام ٢٠٢٠ مقارنةً بالفترة نفسها من العام ٢٠١٩ (الشكل (6)). في الواقع، نلاحظ من الشكل (٦) والجدول (٢) انتشار غاز أول أكسيد الكربون CO بشكل كبير

في وسط وجنوب وشرق مدينة الرياض في العام ٢٠١٩. في الواقع، نلاحظ أن حي البطحاء وحي الملز الواقعين وسط مدينة الرياض يمتلكان أكبر معدلين لانبعاث غاز أول أكسيد الكربون واللذين بلغا $35.06\ Million\ Mol/m^2$ و$34.94\ Million\ Mol/m^2$ على التوالي. ونشير إلى أن هذين الحيين هما من الأحياء التي تنشط فيها الحركة المرورية كثيراً حيث يعتبران مناطق تجارية وتنتشر بحي الملز أيضاً بعض من الدوائر الحكومية. إضافةً إلى ما سبق، نلاحظ ارتفاع معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون في الأحياء الواقعة جنوب مدينة الرياض التي تتصف بحركة مرورية عالية نتيجة لكثافة السكان بها إضافةً إلى قربها من مصفاة أرامكو الرياض ومصنع الإسمنت. نلاحظ أن معدل الانبعاث في حي الشفاء قد بلغ $34.97\ Million\ Mol/m^2$ وبلغ في حي الشميسي القيمة $34.90\ Million\ Mol/m^2$. من ناحية أخرى، نجد أن معدل الانبعاث لأول أكسيد الكربون في حي الحائر الواقع في أقصى جنوب مدينة الرياض قد بلغ $34.7\ Million\ Mol/m^2$



المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

شكل (6) معدل انبعاث أول أكسيد الكربون في مدينة الرياض قبل الإغلاق (عام ٢٠١٩) وبعد الإغلاق (عام ٢٠٢٠)

أما فيما يخص الأحياء الواقعة إلى شرق مدينة الرياض، فنلاحظ من الجدول (٢) والشكل (٧) أن معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون يتعبر كبيراً نتيجةً للحركة

المرورية بالإضافة إلى وجود مستودعات وورش صناعية صغيرة منشرة بحي السلي ووجود الكسارات. وهنا نلاحظ أن معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون في حي السلي شرق مدينة الرياض قد بلغ $34.71\ Million\ Mol/m^2$. كما نجد أنه كلما اتجهنا باتجاه الشمال الغربي فإن معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون CO ينخفض، حيث أن هذا المعدل قد بلغ في حي الدرعية $33.7\ Million\ Mol/m^2$ وبلغ في حي العمارية $33.27\ Million\ Mol/m^2$.

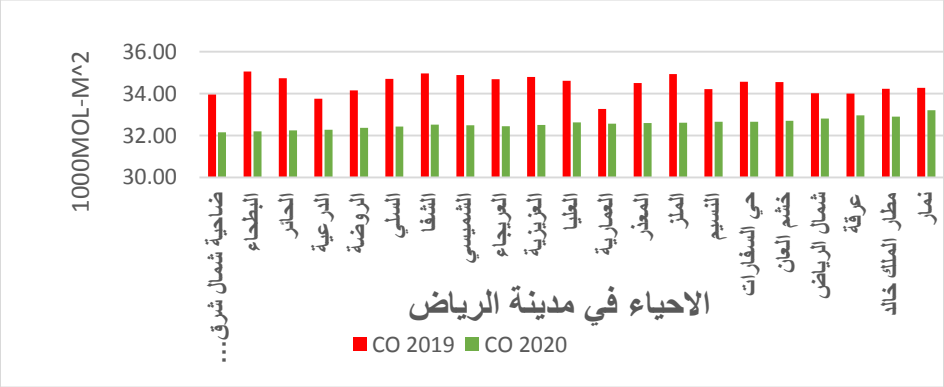
جدول (٢) معدل ونسبة التغيير في انبعاث غاز CO في الهواء بين عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠ م في أحياء مدينة الرياض

اسم الحي	CO (2019)	CO (2020)	نسبة التغير(%)
ضاحية شمال شرق الرياض	33.95	32.15	-5.3
البطحاء	35.06	32.21	-8.1
الحائر	34.74	32.25	-7.2
الدرعية	33.76	32.28	-4.4
الروضة	34.16	32.37	-5.2
السلي	34.71	32.43	-6.6
الشفا	34.97	32.52	-7.0
الشميسي	34.90	32.50	-6.9
العريجاء	34.70	32.45	-6.5
العزيزية	34.80	32.51	-6.6
العليا	34.61	32.63	-5.7
العمارية	33.27	32.57	-2.1
المعذر	34.50	32.59	-5.5
الملز	34.94	32.61	-6.7
النسيم	34.22	32.65	-4.6
حي السفارات	34.57	32.67	-5.5
خشم العان	34.55	32.71	-5.3

شمال الرياض	34.02	32.81	-3.6
عرقة	34.00	32.96	-3.1
مطار الملك خالد	34.24	32.90	-3.9
نمار	34.28	33.22	-3.1
المتوسط العام	34.43	32.57	-5.4

المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

يوضح الشكل (٧) والجدول (٢) أنه مع فترة الإغلاق عام ٢٠٢٠ تأثر معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون حيث انخفض في جميع أحياء مدينة الرياض وبمتوسط بلغ ٥.٤% عما كان عليه في العام ٢٠١٩ وخلال نفس الفترة. هذا، وتعتبر الأحياء الواقعة وسط وجنوب مدينة الرياض هي الأكثر تأثراً بالإغلاق حيث وصل معدل انبعاث غاز اول أكسيد الكربون في حي البطحاء وسط مدينة الرياض $32.21\ Million\ Mol/m^2$ مع نسبة انخفاض تساوي 8.1 %عما كان عليه في العام ٢٠١٩ كما بلغ هذ المعدل $32.20\ Million\ Mol/m^2$ في وحي الحائر الواقع اقصى جنوب مدينة الرياض بنسبة انخفاض بلغت 7.2 %عن عام ٢٠١٩.

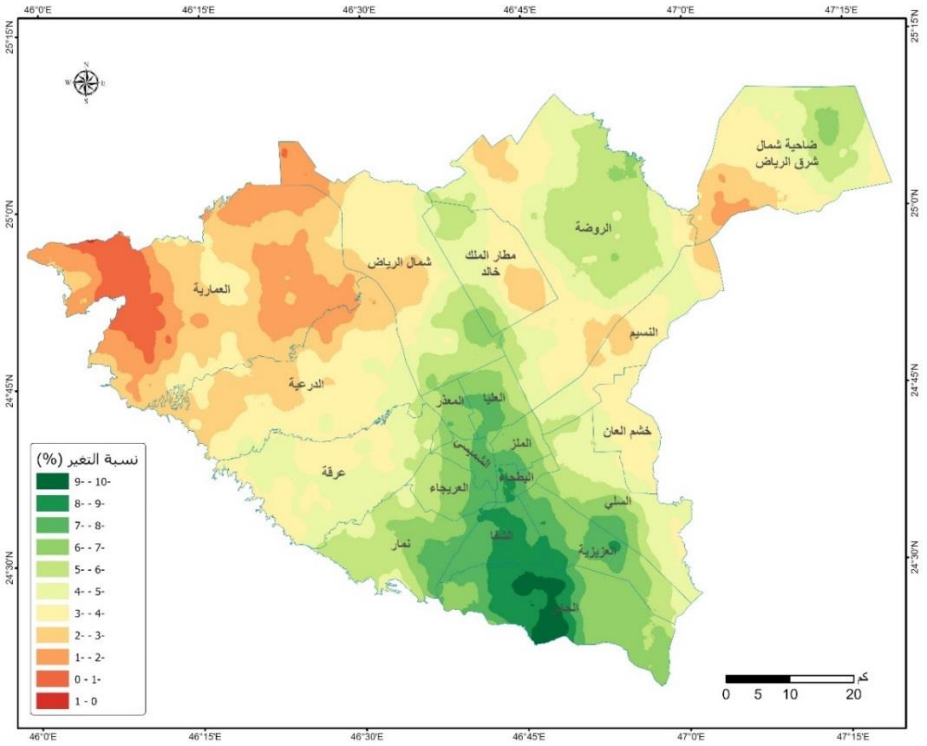


المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

شكل (7) معدل انبعاث أول أكسيد الكربون في مدينة الرياض قبل الإغلاق (عام ٢٠١٩) وخلال الإغلاق (عام ٢٠٢٠)

خلال فترة الإغلاق عام ٢٠٢٠، تأثر معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون حيث انخفض في جميع أحياء مدينة الرياض وبمتوسط بلغ 5.4 %عما كان عليه في العام ٢٠١٩ ولنفس الفترة (الشكل (٧) والشكل (٨)). نلاحظ من الشكل (٧) أن أكثر الأحياء تأثراً بالإغلاق هي الأحياء الواقعة وسط وجنوب مدينة الرياض والتي تظهر باللون الأخضر الغامق والتي انخفضت فيها حركة المرور نتيجةً للاحترازات الصارمة التي نفذتها الجهات المختصة للحد من انتشار الوباء. بلغ معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون في حي البطحاء وسط مدينة الرياض $32.21\ Million\ Mol/m^2$ **مع نسبة انخفاض تساوي 8.1% عما كانت عليه العام ٢٠١٩ كما بلغ هذا المعدل** $32.20\ Million\ Mol/m^2$ **في حي الحائر الواقع في اقصى جنوب مدينة الرياض مع نسبة انخفاض تساوي 7.2 %عن العام ٢٠١٩. وبالنسبة لحي العمارية الموجود في شمال غرب المدينة والذي يتميز بكثافة سكانية وحركة مرورية منخفضتين، فقد بلغت نسبة الانخفاض لغاز أول أكسيد الكربون CO 2.1%.**

وأخيراً، نجد أنه بشكل عام قد انخفض معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون CO في جميع أحياء مدينة الرياض بنسب تتراوح بين ٢.١% و٨.١ % خلال فترة الإغلاق في العام ٢٠٢٠ عما كان علية في الفترة نفسها من العام ٢٠١٩.



المصدر: من إعداد الباحثة بناء على بيانات القمر الصناعي Sentinel-5 Precursor

شكل (٧) نسبة التغير في معدل انبعاث اول أكسيد الكربون في مدينة الرياض خلال فترة الدراسة

لتفسير اكثر واقعيةً لنتائج البحث، قورنت التحليلات الكمية للتلوث اثناء فترة الإغلاق الناتجة من صور الاقمار الصناعية بقياسات المحطات الأرضية بين عام ٢٠١٩ و٢٠٢٠ لفترة الدراسة والتي أكدت الاتجاه العام للانخفاض لأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين في مدينة الرياض، ، حيث انخفض معدل انبعاث غاز ثاني أكسيد النيتروجين في فترة الدراسة عام ٢٠٢٠ بنسبة 34.3 %عما كان عليه في العام ٢٠١٩ للفترة نفسها، كما انخفض معدل

انبعاث غاز اول أكسيد الكربون في فترة الدراسة من العام ٢٠٢٠ بنسبة 27.9 %عما كان عليه لفترة الدراسة من العام ٢٠١٩ في مدينة الرياض.

جدول (٣) البيانات الأرضية لملوثات الهواء في مدينة الرياض خلال فترة الدراسة عام ٢٠١٩ و٢٠٢٠ خلال فترة الدراسة

غاز / ع	٢٠١٩	٢٠٢٠	نسبة الاختلاف
اول أكسيد الكربون CO	١٥٥٧.٨٧	2162.01	-٢٧.٩%
ثاني أكسيد النيتروجين NO2	44.30	29.10	-٣٤.٣%

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد وحماية البيئة ٢٠٢٠(Aljahdali et al., 2021) بتصرف.

يمكن تفسير الاختلافات بين نتائج معالجة البيانات الأرضية وبيانات القمر الصناعي بالاختلاف الزمني بين وقت التقاط صور القمر الصناعي ووقت القياسات الأرضية الثابتة كل ساعة، إضافةً إلى تأثر القياس بالمستشعر بالظروف المناخية المحلية ومن أهمها الرياح التي يمكنها تشتيت الملوثات في دقائق قليلة ونقلها الى أماكن بعيدة عن مصادر التلوث.

٦- الاستنتاجات والتوصيات

أظهرت نتائج الدراسة أن الإغلاق الاستثنائي استجابة لانتشار COVID-19 قد قلل من مثل هذه الأنشطة في مدينة الرياض. قد تؤدي إجراءات مثل إغلاق المصانع وحظر التجول الجزئي والكلي إلى تغيير صورة ملوثات الهواء في المدن. ركزت هذه الدراسة على الخفض المحتمل لثاني أكسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون نتيجة للإغلاق وحظر التجول. لقد تم في هذه الدراسة التحقق من النتائج المتوقعة للإغلاق بسبب وباء COVID-19 على جودة الهواء في

مدينة الرياض في المملكة العربية السعودية خلال الفترة الممتدة من ١٣ إلى ٢٥ إبريل من عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠ بالاعتماد على صور الأقمار الصناعية متمثلة في القمر الصناعي Sentinel-5P حيث تم إعداد خرائط عالية الدقة للغازات الملوثة للهواء غير المرئية للعين البشرية. لقد قمنا بدراسة تأثير إغلاق COVID-19على ملوثات الغلاف الجوي CO، NO 2 حيث أوضحت النتائج اختلاف معدلات الملوثات المدروسة قبل وأثناء الإغلاق مع انخفاض في هذه المعدلات أثناء الإغلاق. لقد كان الانخفاض في ملوثات الغلاف الجوي أثناء الجائحة بفضل تطبيق الإغلاق الذي أثر على الإنتاج الصناعي وعلى غزارة حركة المرور. في الواقع، انخفض متوسط معدل انبعاث ثاني أكسيد النيتروجين NO2في مدينة الرياض إلى مستويات أقل من الوضع الذي كانت عليه في العام ٢٠١٩ بنسبة وصلت إلى ٥٠%، كما انخفض متوسط معدل انبعاث أول أكسيد الكربون CO بنسبة تصل إلى 5.4 %خلال فترة الأغلاق عما كان عليه في العام ٢٠١٩.

أظهرت ا لنتائج أيضاً أن تحقيق الترابط بين البيانات المستمدة من القمر الصناعي Sentinel-5P والمحطات الأرضية المخصصة لقياس لجودة الهواء يؤكد صحة النتائج وقدرة الأقمار الصناعية في رصد التلوث.

نوصي في آخر هذه الدراسة بما يأتي:

١- العمل على تقليل ملوثات الغلاف الجوي بشكل كبير من خلال التحكم في حركة المرور والأنشطة حسب الصناعات وبرامج النقل الصديقة للبيئة مثل برامج التنقل الخضراء،

٢- الدراسة أظهرت تركز لملوثات الهواء في وسط وجنوب وشرق مدينة الرياض وبالتالي نوصي بزيادة المساحات الخضراء بهذه الأجزاء من المدينة.

٣- الاستفادة من الاستشعار عن بعد القائم على الأقمار الصناعية في مراقبة الملوثات المختلفة في الغلاف الجوي على النطاق العالمي، مما يسهل دراسة التوزيع المكاني والزماني لملوثات الهواء.

٤- الاستفادة من الإمكانيات العالية لدمج بيانات الاستشعار عن بعد مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية للتحقيق في المشكلات البيئية والصحية المعقدة مثل الروابط بين جودة الهواء وسياسات الحكومات لمواجهة الأوبئة.

٧. المراجع

المراجع باللغة العربية

١-سلمان، عبير. (٢٠٢٢). تقييم تراكيز PM10 and NO2 في مدينة الرياض جيو-احصائيا ٢٠١٦-٢٠١٨. مجلة بحوث كلية الآداب جامعة المنوفية .Doi:10.21608/sjam.2022.117999.1442.

٢-الهيئة العامة للإحصاء، الكتاب الإحصائي السنوي لعام ٢٠١٩م.

٣-وزارة الصحة (٢٠٢٠) المملكة العربية السعودية - بوابة وزارة الصحة.

المراجع باللغة الإنجليزية

1- Abdelsattar A، Nadhairi R، Hassan A.(2021)Space-based monitoring of NO2 levels during COVID-19 lockdown in

Cairo، Egypt and Riyadh، Saudi Arabia. Egypt J Remote Sens Space Sci.;24(3):659–64. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.03.004
2- Aljahdali M، Alhassan A، Albeladi M. (2021). Impact of novel coronavirus disease (COVID-19) lockdown on ambient air quality of Saudi Arabia،Saudi J. Biol. Sci.، 28، pp. 1356-1364، 10.1016/J.SJBS.2020.11.065
3- Cheng، N.L.، Li، Y.T.، Sun، F.، Chen، C.، Wang، B.Y.، Li، Q.، Wei، P. and Cheng، B.F. (2018). Ground-level NO2 in urban Beijing: Trends، distribution، and effects of emission reduction measures. Aerosol Air Qual. Res. 18: 343–356
4- Jiang, F., Deng, L., Zhang, L., Cai, Y., Cheung, C. W., & Xia, Z. (2020). Review of the clinical characteristics of coronavirus disease 2019 (COVID-19). Journal of general internal medicine, 35, 1545-1549.
5- Howarth, N., Odnoletkova, N., Alshehri, T., Almadani, A., Lanza, A., & Patzek, T. (2020). Staying cool in A warming climate: temperature, electricity and air conditioning in Saudi Arabia. Climate, 8(1), 4.
6- Gilbert, M., Pullano, G., Pinotti, F., Valdano, E., Poletto, C., Boëlle, P. Y., ... & Colizza, V. (2020). Preparedness and vulnerability of African countries against importations of COVID-19: a modelling study. The Lancet, 395(10227), 871-877.
7- Lokhandwala, S., & Gautam, P. (2020). Indirect impact of COVID-19 on environment: A brief study in Indian context. Environmental research, 188, 109807.
8- Mahato, S., Pal, S., & Ghosh, K. G. (2020). Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. Science of the total environment, 730, 139086.
9- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? Science of the total environment, 728, 138820.
10- Tu, Q., Hase, F., Chen, Z., Schneider, M., García, O., Khosrawi, F., ... & Fang, D. (2023). Estimation of NO 2 emission strengths over Riyadh and Madrid from space from a combination of wind-assigned anomalies and a machine

learning technique. Atmospheric Measurement Techniques, 16(8), 2237-2262.

11- Sharma, M., Jain, S., & Lamba, B. Y. (2020). Epigrammatic study on the effect of lockdown amid Covid-19 pandemic on air quality of most polluted cities of Rajasthan (India). Air Quality, Atmosphere & Health, 13, 1157-1165.

12- Vîrghileanu M‹ Săvulescu I‹ Mihai B-A‹ Nistor C‹ Dobre R. (2020). Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution Monitoring with Sentinel-5P Satellite Imagery over Europe during the Coronavirus Pandemic Outbreak. Remote Sensing; 12(21):3575.

13- WHO. (2020). www.who.int ((Accessed 27 Jul 2020).

14- WHO. (2006). . WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide : global update 2005 : summary of risk assessment. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/69477

15- WHO (2020) Coronavirus disease (COVID-19). https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019. (Accessed 27 Jul 2020).

16- Zhao, F., Liu, C., Cai, Z., Liu, X., Bak, J., Kim, J., ... & Liu, J. (2021). Ozone profile retrievals from TROPOMI: Implication for the variation of tropospheric ozone during the outbreak of COVID-19 in China. Science of The Total Environment, 764, 142886.

17- Grzybowski, Patryk Tadeusz, Krzysztof Mirosław Markowicz, and Jan Paweł Musiał. 2023. "Estimations of the Ground-Level NO2 Concentrations Based on the Sentinel-5P NO2 Tropospheric Column Number Density Product" Remote Sensing 15, no. 2: 378. https://doi.org/10.3390/rs15020378

18- Madkour, K M. (2022). Monitoring the impacts of COVID-19 pandemic on climate change and the environment on Egypt using Sentinel-5P Images, and the Carbon footprint methodology. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 25 (1), 205-219. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.07.003.

19- Abou El-Magd, I., Zanaty, N. (2021). Impacts of short-term lockdown during COVID-19 on air quality in Egypt. The

Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 24 (3), 493-500. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.10.003.

20- Siddiqui, A., Halder, S., Chauhan, P. et al. (2020). COVID-19 Pandemic and City-Level Nitrogen Dioxide (NO2) Reduction for Urban Centres of India. J Indian Soc Remote Sens 48, 999–1006. https://doi.org/10.1007/s12524-020-01130-7.

21- Al Mubarak, H. (2020). 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. vol 14. ISSUE 1, 69-94 http://search.mandumah.com/Record/1136507.

22- Shikwambana, L., Mhangara, P., & Mbatha, N. (2020). Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 91, 102130.

23- Veefkind, J. P., Aben, I., McMullan, K., Förster, H., De Vries, J., Otter, G., ... & Levelt, P. F. (2012). TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. Remote sensing of environment, 120, 70-83.

فهرس المحتويات

م	الموضوعات	رقم الصفحة
1	ملخص باللغة العربية	1
2	ملخص باللغة الإنجليزية	2
3	المقدمة	3

4	تساؤلات الدراسة وأهدافها	4
5	الدراسات السابقة	5
6	طرائق البحث ومواده	10
7	منطقة الدراسة	10
8	منهجية الدراسة	12
9	النتائج والمناقشة	13
10	التحليل الإحصائي لبيانات غاز ثاني أكسيد النيتروجينNO2	13
11	التحليل الإحصائي لبيانات غاز اول أكسيد الكربون CO	19
12	الاستنتاجات والتوصيات	25
13	المراجع باللغة العربية	27
14	المراجع باللغة الإنجليزية	27