Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Spatio-temporal behavior of atmospheriC concentration of NO2 using OMI sensor and its effect on precipitation in Iran

Abolhassan GHeibi [1]✉ | Ali Soleymani [2] | hossein malakooti[3]

1. Corresponding author, Associate Professor, Fuculty of Science, University of Hormozgan, Iran.
E-mail: abolhassang@hormozgan.ac.ir
2. PhD. Student of Meteorology, Faculty of Marine Science and Technology, university of Hormozgan, Iran
E-mail: alisoleymani67@yahoo.com
3. Associate Professor, Faculty of Marine Science and Technology, university of Hormozgan, Iran
E-mail: malakooti@hormozgan.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2022/07/17
Received in revised
2022/01/11
Accepted
2022/09/28
Pre-Published
2022/09/28
Published online
2025/03/21

Keywords:
Nitrogen dioxide,
air pollution,
OMI,
precipitation

ABSTRACT

Nitrogen dioxide is a significant factor affecting air quality in various regions worldwide. The aim of this study is to examine the concentration and trends of nitrogen dioxide pollution between 2005 and 2018, and explore its association with precipitation levels in the region. Based on data derived from the OMI sensor in Iran, the average vertical column concentration of nitrogen dioxide during this period revealed that the highest concentration was observed in the troposphere. Megacities, particularly Tehran metropolis, exhibited elevated levels of nitrogen dioxide due to the high population density and extensive road transportation. Analyzing the annual changes in nitrogen dioxide concentration in the troposphere alongside the average annual precipitation in Iran, it was observed that the pollutant concentration increased from 2005 to 2016 and subsequently decreased from 2016 to 2018, primarily due to population growth. However, when considering the overall trend, there was an upward trend with a slope of 3.53× -2. In contrast, the time series analysis of average annual precipitation in Iran demonstrated a declining trend with a slope of (-0.159 mm ×). Comparing the trends of these two variables, it can be deduced that they exhibit a negative correlation.

Cite this article: Gheibi, Abolalhassan., Soleymani, Ali., & Malakooti, Hossein. (2025). Spatio-temporal behavior of atmospheriC concentration of NO2 using OMI sensor and its effect on precipitation in Iran. Journal of *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (76), 248-261. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.19

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.19

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Nitrogen dioxide is a significant indicator of atmospheric air pollution, which is a leading factor in the degradation of air quality worldwide. In addition to natural emissions, nitrogen dioxide is predominantly generated through human activities such as transportation, industrial operations, residential heating, power plants, and other related sources. By scrutinizing the data on NOx emissions from both natural and artificial sources in Iran, as provided by the European Research Center EDGAR during the period from 1970 to 2012, it becomes evident that the emission of nitrogen dioxide in Iran has witnessed an upward trend. The primary sources of these emissions in Iran encompass road transportation, heat and electricity generation, residential sectors, energy production industries, oil and gas resources, as well as direct soil emissions. When considering the average vertical column concentration of nitrogen dioxide in Iran between the years 2005 and 2018, as observed by the OMI sensor, it becomes apparent that the highest concentration of nitrogen dioxide is found in urban areas, particularly in the densely populated metropolis of Tehran, which experiences extensive intercity road traffic. Isfahan, Karaj, Mashhad, Ahvaz, and Shiraz also exhibit elevated levels of nitrogen dioxide due to their high population densities and industrial activities.

Material and Methods

Examining the trend of annual changes in the vertical column concentration of nitrogen dioxide and the average annual rainfall in Iran, it is evident that the concentration of this pollutant has increased due to population growth and human activities from 2005 to 2016, as well as from 2016 to 2018. In general, there is an increasing trend with a slope of 3/53*-2 for the nitrogen dioxide concentration, in contrast to the decreasing trend with a slope of (-0.159 mm*) for the average time series of annual rainfall in Iran. By comparing these two parameters, a negative impact on each other can be observed. For instance, in 2016, when the concentration of nitrogen dioxide was higher than in 2015 and 2017, the amount of rainfall in 2016 was lower than in previous and subsequent years. Moreover, an inverse relationship between the concentration of pollutants and precipitation is observed in 2009, 2010, 2011, 2015, and 2008. This is attributed to the dissolution of pollutants inside and below the cloud by precipitation, resulting in cleaner air in the region. Examining the changes in nitrogen dioxide using the Mankendal z statistical method in Iran, it is evident that industrial cities such as Isfahan, Yazd, Arak, and the south of Tehran, as well as southern coastal cities with refineries, exhibit a significant upward trend.

Results and Discussion

Furthermore, concerning rainfall patterns, there is a noteworthy increase in the northwestern region of the country, while a significant decrease is observed in the eastern and southeastern parts. Moreover, the age estimation slope for nitrogen dioxide and precipitation indicates that Tehran exhibits the highest increasing slope for nitrogen dioxide, whereas the northern

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

regions display the highest increasing slope for precipitation. To conduct a more comprehensive investigation into the interplay of these factors, four major cities with high pollution levels, namely Tehran, Isfahan, Mashhad, and Ahvaz, were selected. It is important to note that errors may arise when comparing precipitation and vertical column concentration on a large scale. Examining the diagrams for the period of 2005-2008 pertaining to these four cities, it becomes apparent that the average annual rainfall in these locations demonstrates a negative slope, indicating a decreasing trend. Notably, Tehran exhibits the most pronounced decreasing slope at a rate of 2.6139mm/year, while Mashhad displays the lowest decreasing slope at -0.4445mm/year. In contrast, the concentrations of the vertical vertebral column in these cities show an increasing trend, with Tehran exhibiting the highest positive slope and Isfahan displaying the lowest positive slope. Based on the diagrams, it can be observed that in most years, the intensity of precipitation is higher during winter compared to autumn. Conversely, the concentration of nitrogen dioxide is higher in autumn due to the process of moisture deposition. In other words, pollutants are washed away by precipitation, leading to dilution. Consequently, the atmosphere becomes more polluted, particularly in autumn.

Conclusion

Examining the trend of annual changes in the vertical column concentration of nitrogen dioxide and the average annual rainfall in Iran, we can observe that the concentration of this pollutant has increased with the rise in population and human activities from 2005 to 2016. However, it decreased from 2016 to 2018. Overall, it has shown an increasing trend with a slope of 3/5297*-2 -1, contrasting with the time series of average annual rainfall in Iran. The average annual rainfall in Iran has exhibited a decreasing trend with a slope of (-0/5978 mm/year).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

بررسی تراز و رفتار زمانی – مکانی غلظت وردسپهری NO_2 با استفاده از سنجنده OMI و تأثیرش بر روی بارش (مطالعه موردی کشور ایران)

ابوالحسن غیبی [۱]✉، علی سلیمانی دامنه [۲]، حسین ملکوتی [۳]

۱. نویسنده مسئول، استادیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: abolhassang@yahoo.com
۲. دانشجو دکتری هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: a.soleymani67@yahoo.com
۳. دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: malakooti@hormozgan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۷/۰۶
تاریخ پیش انتشار:
۱۴۰۱/۰۹/۳۰
تاریخ انتشارآنلاین:
۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
نیتروژن دی‌اکسید، آلودگی‌هوا، سنجنده‌ی OMI، بارش.

چکیده

نیتروژن دی‌اکسید از شاخص‌های مهم آلودگی هوا در جو می‌باشد. NO_2 علاوه بر گسیل طبیعی به‌طور عمده توسط فعالیت‌های انسان‌ساخت همچون حمل‌ونقل، صنعت، گرمایش خانگی، نیروگاه‌های انرژی و سایر موارد تولید می‌شود. هدف ما در این مقاله بررسی غلظت نیتروژن‌دی‌اکسید و تأثیر آن بر بارش منطقه می‌باشد. بررسی داده‌های جهانی مربوط به گسیل سطحی این آلاینده در فضای ایران نشان می‌دهد که بیشترین مقدار گسیل مربوط به کلان‌شهرها می‌باشند که می‌تواند از نقل و انتقالات جاده‌ای، تولیدات گرمایی و الکتریکی ناشی شده باشد. با بررسی روند تغییرات نیتروژن‌دی‌اکسید با استفاده از روش آماری من‌کندال z بر روی منطقه موردمطالعه (ایران) مشاهده می‌شود که در شهرهای صنعتی مثل اصفهان، یزد، اراک و جنوب تهران و شهرهایی ساحلی جنوب به علت افزایش فعالیت‌های انسانی در حوزه منابع نفت و گاز و پالایشگاه‌ها روند افزایشی معنی‌داری را نشان می‌دهند. براساس آنالیز داده‌های بارش، روند تغییرات بارش در قسمت شمال غرب کشور افزایش معنی‌دار و قسمت شرق و جنوب شرق کشور کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. همچنین شیب تخمین گرسن برای نیتروژن دی‌اکسید و بارش نشان می‌دهد که تهران دارای بیشترین شیب افزایشی سالانه ($6.2 * 10^{+14} molecule/cm-2$) برای نیتروژن‌دی‌اکسید می‌باشد. با مقایسه داده‌های گسیل سطحی نیتروژن‌دی‌اکسید و داده‌های غلظت ستون قائم تروپوسفری این آلاینده مشاهده می‌کنیم که یک همبستگی خوبی این دو پارامتر وجود دارد و مکان‌هایی با بیشترین گسیل سطحی دارای بیشترین غلظت ستون قائم تروپوسفری نیز می‌باشند. با بررسی روند تغییرات سالانه‌ی غلظت ستون قائم وردسپهری نیتروژن‌دی‌اکسید و متوسط سالانه‌ی بارش روی ایران مشاهده می‌کنیم که غلظت این آلاینده با افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ روند افزایشی و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ روند کاهشی داشته است، در مقابل سری زمانی متوسط بارش سالانه روی ایران با شیب ($-۰/۵۹۷۸ mm*year^{-1}$) روند کاهشی داشته است.

استناد: غیبی، ابوالحسن؛ سلیمانی، علی؛ و ملکوتی، حسین (۱۴۰۴). بررسی تراز و رفتار زمانی – مکانی غلظت وردسپهری NO2 با استفاده از سنجنده OMI و تأثیرش بر روی بارش (مطالعه موردی کشور ایران). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۶)، ۲۶۱-۲۴۸. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.19

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

مقدمه

نیتروژن دی‌اکسید (NO_2) از مهم‌ترین آلاینده‌های جوی و یکی از عوامل کاهش کیفیت هوا در اکثر مناطق دنیا است. این گاز در بین واکنش‌پذیرترین گروه از گازهای شناخته شده تحت عنوان (اکسیدهای نیتروژن) می‌باشد که در وردسپهر موجود بوده و اثرات مخربی بر سلامتی و دید (بینایی) انسان دارد. در صورتی که انسان برای مدت طولانی در معرض این گاز قرار گیرد باعث تنگی نفس و افزایش عفونت‌های تنفسی می‌شود (WHO[1], 2003). طول عمر NO_2 در وردسپهر بسته به فصل از سال، غلظت OH، دما، رطوبت، شدت تابش و پوشش ابر در یک روز متغیر خواهد بود و عمدتاً در اثر واکنش با رادیکال‌های هیدروکسید از جو حذف می‌شود (مرتضی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه غلظت گاز NO_2 در جو کم می‌باشد اما در کیفیت هوای سطح زمین نقش معنی‌داری را بازی می‌کنند، (لینگاسومی[3] و همکاران،2017، الانسکی[4] و همکاران ،2016). نیتروژن دی‌اکسید به‌طور طبیعی از فرایندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی در اقیانوس‌ها و زمین و در دهه‌های اخیر اصولاً توسط فعالیت‌های انسان‌ساخت نیز تولید می‌شود، (سینفلد و پاندیس[5]، 2008). در تولید ازون وردسپهری(O_3)، نیتریک اسید(HNO_3) و باران اسیدی نیز سهیم هستند(U.S. EPA,1998). شواهد نشان می‌دهد که قرار گرفتن گیاهان و سبزی‌ها در معرض NO_2، رشدشان را به خطر می‌اندازد. اکسیدهای نیتروژن وردسپهری ($NO_x = NO + NO_2$) در ابتدا به شکل نیتروژن مونوکسید(NO) گسیل می‌شوند و سپس مطابق واکنش زیر به‌وسیله‌ی فرایندهای اکسیداسیون به NO_2 تبدیل می‌شوند.

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

متعاقباً NO_2 به‌وسیله‌ی فرایندهای فوتوشیمیایی در طول روز به NO تبدیل می‌شود (ورنر[6] و همکاران ۲۰۱۳). این گاز هم به‌طور مستقیم با جذب تابش خورشیدی و هم به‌طور غیرمستقیم (با تشکیل ازون یا تغییر طول عمر گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان‌مثال متان) می‌تواند توازن تابشی جو را تعدیل کند، (شرعی پور و بیدختی،۱۳۹۳).

$$NO_2 + h\nu \rightarrow O + NO$$
$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$
$$O_3 + O \rightarrow O_2 + NO_2$$

به‌طور عمده، NO_2 توسط فعالیت‌های انسان‌ساخت همچون حمل‌ونقل، صنعت، گرمایش خانگی، نیروگاه‌های انرژی و سایر موارد تولید و اصولاً در محیط‌های شهری به‌وفور یافت می‌شود. بخش اندکی از غلظت جهانی NO_2 به‌وسیله‌ی منابع طبیعی همچون سوختن زیست توده، رعدوبرق و فعالیت‌های میکروبی خاک تولید می‌شود(هیلبل[7] و همکاران2013) . شرعی‌پور و بیدختی(۱۳۹۱) غلظت آلاینده‌ی NO_2 را در تهران موردبررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در ماه‌های دسامبر و آگوست روند بلندمدت آلاینده‌یNO_2 برای دوره‌ی ۱۰ ساله ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ افزایشی بوده است. موارد مصرف NO_2 وردسپهری در واقع واکنش با هیدروکسیدها(OH) است، که منجر به تولید آلاینده‌های ثانویه همچون(O_3)، HNO_3، متان و آلدهیدها می‌شود(کانایا[8] و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش غلظت O_3 در گرمایش جهانی سهیم است و از طرف دیگر برای سلامت انسان و رشد گیاهان اثرات مضری دارد(هایاشیدا[9] و همکاران، ۲۰۱۸). تغییرات اقتصادی اجتماعی از شروع انقلاب صنعتی تا به امروز تأثیر مهمی بر روی میزان NO_2 در نواحی مختلف جهان داشته است. همچنین به‌طور هم‌زمان جمعیت جهان رو به افزایش است و تراکم جمعیت در شهرها و کلان‌شهرها منجر به گسترش مناطق شامل غلظت‌های بالایNO_2 می‌شود که می‌توان این مناطق را از فضا پردازش کرد(اسچنیدر[10] و همکاران، ۲۰۱۵). شواهد نشان می‌دهند که تغییرپذیری

[1] World Heealth Organization
[2] Murtaza
[3] Lingaswamy
[4] Elansky
[5] Seinfeld and Pandis
[6] Werner
[7] Hilboll
[8] Kanaya
[9] Hayashida
[10] Schneider

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

در مقدار ستون قائم وردسپهری NO_2 اکثراً به شرایط اقلیمی، تغییرات فصول، الگوهای مختلف استفاده از سوخت‌ها و سیاست‌های اقتصادی اجتماعی مربوط است(ژو[11] و همکاران، ۲۰۱۲). بعد از چین و هند، ایران و پاکستان آلوده‌ترین کشورها در منطقه جنوب و شرق آسیا می‌باشند (WHO, 2016). ایران در گروه کشورهای درحال‌توسعه قرار دارد و در فرایند صنعتی شدن و بهینه‌سازی تکنولوژی با مشکلات زیادی همچون بحران انرژی روبرو است که به‌طور محلی منجر به افزایش شدید گسیل NO_2 می‌شود. بنابراین مطالعات گسترده‌ی از نظر مکانی و زمانی از روند تغییرات NO_2 وردسپهری در جای‌جای کشور لازم است تا در جهت کاهش گسیل NO_2 سیاست‌ها و تصمیمات مؤثر اتخاذ شود. غلظت ستون قائم NO_2 متأثر از گسیل منطقه‌ای، نقل و انتقالات ورودی و خروجی به ستون قائم، تولیدات و واپاشی‌های شیمیایی محلی و انواع دیگر واپاشی‌ها می‌باشد. از این‌رو انتظار می‌رود که در هر منطقه غلظت‌های ستون‌های قائم NO_2 با مقدار نشر NO_2 ، میزان باد، رطوبت نسبی و پارامترهای هواشناسی دیگر نظیر بارش، که طول عمر فوتوشیمیایی NO_2 و موقعیت سطحی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تغییر کند(ژو و همکاران ۲۰۱۲).

روش‌شناسی

در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای غلظت ستون قائم وردسپهری (NO_2 VCD[12]) توسط ابزار پایش ازن (OMI) استفاده شده است. این سنجنده که بر روی ماهواره زمین آهنگ AURA نصب شده است، تابش بازپراکنده‌ی خورشید را در محدوده‌ی طیفی (۵۰۰- ۲۷۰) نانومتر اندازه می‌گیرد و دارای تفکیک طیفی ۰.۵ نانومتر است. این داده‌ها به‌طورکلی برآوردی از تعداد مولکول‌های NO_2 در یک ستون قائم جو از سطح زمین تا قله وردسپهر، (حدود ۲۰۰ hpa، برحسب $molec/cm^2$ به دست می‌دهند (http://www.temis.nl/airpollution/no2.html). در این مطالعه داده‌های ماهانه ماهواره‌ای این سنجنده با تفکیک مکانی ۰.۱۲۵× ۰.۱۲۵ درجه برای یک دوره‌ی ۱۴ ساله از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. داده‌های مشاهداتی زمین مبنا مربوط به گسیل NO_x در منطقه موردمطالعه از داده‌های مرکز EDGAR[13] ، که از سال ۱۹۷۰ تا حداکثر سال ۲۰۱۲ این مجموعه داده‌ها را جمع‌آوری نموده، اخذ شده است. داده‌های زمین مبنای بارش نیز از سازمان هواشناسی کل کشور تهیه شده است.

ماهواره AURA و سنجنده‌ی OMI

Aura یک ماهواره با مدار خورشید هم‌زمان می‌باشد. این ماهواره که در ۱۵ جولای سال ۲۰۰۴ به فضا پرتاب شد، در ارتفاع ۷۰۵ کیلومتری از تراز میانگین سطح دریا قرار دارد و زمان عبور آن از استوا در ساعت ۱۳:۴۵ بوقت محلی می‌باشد،(OMI Data User's Guide, 2012). هدف این ماهواره مشاهده و مطالعه کیفیت هوای وردسپهر، اوزون پوشن‌سپهری و تغییرات اقلیم می‌باشد. سنجنده‌ی دیدبانی اوزون (OMI) که بر روی این ماهواره نصب شده یک طیف نگار می‌باشد که با استفاده از باند فرابنفش و مرئی تصویربرداری را انجام می‌دهد و مشاهده‌ی کلی از گازهای آلاینده‌ی مهم جوی مثل NO_2،SO_2 و O_3 را از سال ۲۰۰۴ فراهم کرده است. این ابزار سنجش دارای تفکیک مکانی (۲۴*۱۳) کیلومتر به ترتیب (مداری*نصف‌النهاری)، تفکیک طیفی ۰.۵ نانومتر و تفکیک زمانی روزانه می‌باشد به‌طوری‌که کل زمین را در یک روز پوشش می‌دهد. تفکیک مکانی داده‌های این سنجنده دارای پوشش مکانی و زمانی پایداری بوده و امکان بازیابی و مطالعه غلظت‌های گسیل طبیعی و گسیل مربوط به فعالیت‌های انسانی را در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای فراهم می‌کند. داده‌های میانگین ماهانه‌ی زمین مبنای غلظت ستون قائم تروپوسفری NO_2 از آژانس فضایی اروپایی شبکه‌ی کنترل نشر تروپوسفری اخذ شده‌اند. تفکیک مکانی داده‌های غلظت ستون تروپوسفری ۰.۱۲۵*۰.۱۲۵ درجه می‌باشد. مقادیر نامعتبر(صفر و مقادیر منفی) از داده‌های اصلی حذف شده‌اند و داده‌های شبکه با استفاده از روش درون‌یابی معکوس وزن فاصله به تفکیک مکانی ۰.۱*۰.۱ درجه تغییر داده شده‌اند.

[11] Zhou
[12] Vertical Culomn Density
[13] Emmition Database for Global Atmospheric Research

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

محاسبه نقشه‌های بارش و NO_2

بعد از اخذ داده‌های اقلیمی بارندگی با استفاده از روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله[14] نقشه‌های بارش و NO_2 تهیه شدند. روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول به دست می‌آید. در این روش فرض می‌شود که نقاط نزدیک به یکدیگر، نسبت به نقاط دورتر، شباهت بیشتری داشته و لذا بر طبق این روش نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتری دارند. رابطه فاصله وزنی معکوس با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

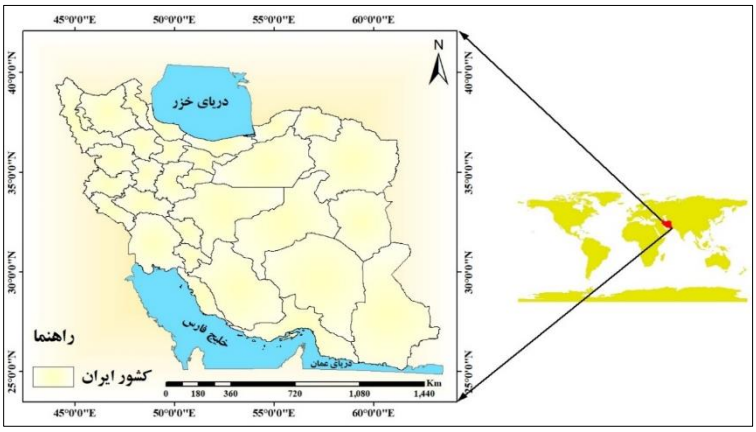
رابطه (۱)

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{Z_i}{d_i^{\,m}}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_i^{\,m}}}$$

که در این رابطه Z ارزش برآوردی از روش درون‌یابی، Z_i مقادیر نمونه، d_i فاصله اقلیدسی هر مکان تا نمونه، m عامل توان و N تعداد نقاط نمونه است.

موقعیت منطقه موردمطالعه

شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه، یعنی کشور ایران را نشان می‌دهد. کشور پهناور ایران در جنوب غرب آسیا یکی از مناطق نیمکره شمالی است که به سبب برخی عوامل از جمله شرایط اقلیمی متفاوت، وجود کوه‌های مرتفع حصار مانند در اطراف، وجود کویر بزرگ مرکزی و با وسعتی بیش از ۱۶۴۰۰۰۰ کیلومترمربع، نوعی ویژگی و تنوع زیستی در هر گوشه و کنار خود دارد. بخش بزرگی از این سرزمین را نواحی بیابانی، نیمه بیابانی و کویری تشکیل می‌دهد.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

روش انجام پژوهش

برای محاسبه روند تغییرات ماهانه و فصلی NO_2 و بارش در منطقه موردمطالعه از آزمون روندیابی من-کندال و شیب تخمین‌گر سن استفاده شده است. آماره‌های این آزمون با استفاده از روابط (۲ تا ۵) به دست می‌آیند.

رابطه (۲)

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \mathrm{sgn}(x_j - x_i)$$

که S آماره آزمون من-کندال x_i مقدار داده iام، x_j مقدار داده jام، n تعداد داده‌ها و $\mathrm{sgn}(x_j - x_i)$ تابع علامت می‌باشد که با استفاده از رابطه (۳) به دست می‌آید.

[14] Inverse Distance Weighting (IDW)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

رابطه (۳)

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, if(x_j - x_i) > 0 \\ 0, if(x_j - x_i) = 0 \\ -1, if(x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

واریانس آماره من‌کندال با استفاده از رابطه (۴) به دست می‌آید.

رابطه (۴)

$$Var(S) = \frac{1}{18}\left[N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i(t_i-1)(2t+5) \right]$$

که در آن N تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m تعداد دنباله‌ها، t_i تعداد دنباله‌ها برای i امین مقدار و t تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در رابطه فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون z از رابطه (۵) به دست می‌آید.

رابطه (۵)

$$z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{Var(S)}, ifs > 0 \\ 0, ifs = 0 \\ (S+1)/\sqrt{Var(S)}, ifs < 0 \end{cases}$$

مقدار مثبت z روند افزایش و مقدار منفی z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین برای آزمون روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح معنی‌داری p، اگر مقدار z بزرگ‌تر از $z_{1-p/2}$ باشد (که $z_{1-p/2}$ از جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد به دست می‌آید) فرض صفر رد می‌شود. برای این کار، سطح معنی‌دار p=۰/۰۵ به کار می‌رود، که حالت استاندارد z در این مطالعه ۱/۹۶ در نظر گرفته شده است. برای تأیید درستی و صحت تغییرات روند از شیب تخمین‌گر سن استفاده شد؛ که از طریق رابطه (۶) به دست می‌آید.

رابطه (۶)

$$\beta = Median\left[\frac{X_i - X_j}{i - j} \right] (\forall j > i)$$

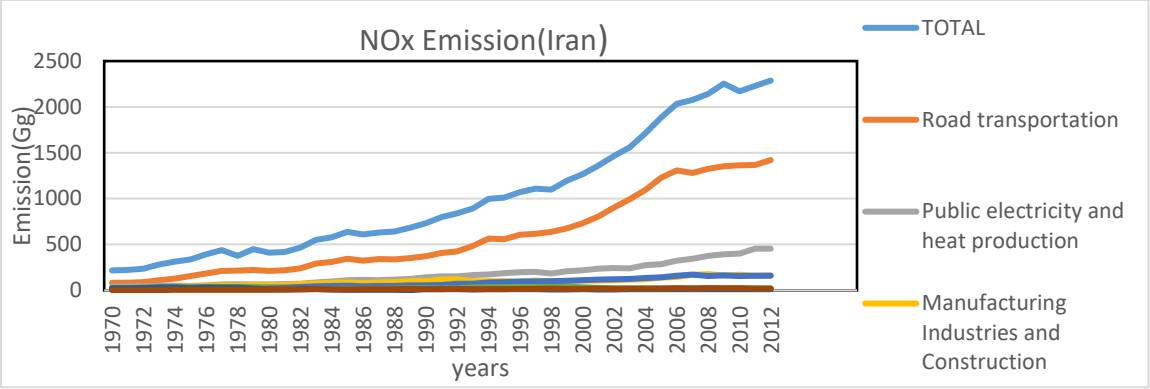
که در آن β برآوردگر شیب‌خط روند، X_i و X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی iام و jام می‌باشند که i و j نشانگر شمارنده سال است. مقادیر مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان دهنده روند کاهشی است (القورشی و کومار، ۲۰۰۲).

نتایج و بحث

داده‌های مربوط به گسیل NO_x از منابع مصنوعی و طبیعی منطقه موردمطالعه (کشور ایران) از مرکز تحقیقاتی اروپایی EDGAR برای سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲ اخذ گردید. سری زمانی این داده در شکل (۲) رسم شده است. با مشاهده شکل (۲) در می‌یابیم که گسیل NO_x روی ایران در طی این سال‌ها روند صعودی تندی داشته که اصلی‌ترین منابع آن به ترتیب نقل و انتقالات جاده‌ای، منابع تولید گرما و الکتریسیته، بخش‌های مسکونی، صنایع تولید انرژی، منابع نفت و گاز و گسیل مستقیم از خاک می‌باشند. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود از سال ۱۹۷۰ تا سال ۲۰۰۰ گسیل NO_x با سرعت کمتری ($\frac{Gg}{year}$ ۳۵) رو به افزایش بوده اما این روند از سال ۲۰۰۰ به بعد، همراه با افزایش فعالیت‌های صنعتی و راه‌اندازی مراکز صنعتی جدید بخصوص در زمینه نفت و گاز (از جمله عسلویه) با شیب تندتری ($\frac{Gg}{year}$ ۸۵) در حال افزایش است، که اهمیت و ضرورت بررسی منابع و راهکارهای مناسب برای کاهش گسیل این آلاینده‌ها را ضروری می‌نماید.

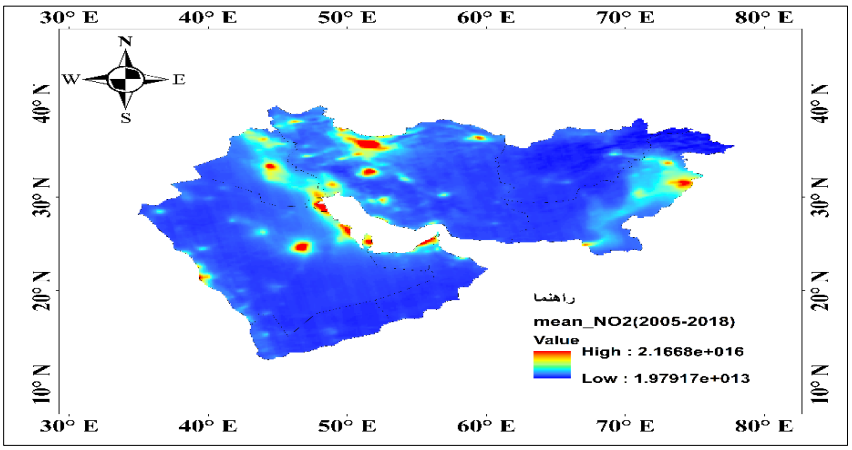
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]



شکل (۲). سری زمانی سالانه منابع گسیل NO_x روی ایران از سال ۲۰۱۲ - ۱۹۷۰

شکل (۳) میانگین غلظت ستون قائم وردسپهری دی‌اکسید نیتروژن را در بازه‌ی زمانی بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ توسط سنجنده‌ی OMI برای منطقه‌ی ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین غلظت نیتروژن‌دی‌اکسید در حدود $3.07 * 10^{+16}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع از مقطع ستون هوای وردسپهری مربوط به کلان‌شهرها به‌ویژه تهران است که به دلیل جمعیت زیاد و متعاقب آن بیشترین نقل و انتقالات جاده‌ای را در بین کلان‌شهرهای کشور دارد. شهرهای اصفهان، کرج، مشهد، اهواز و شیراز نیز به دلیل جمعیت زیاد و افزایش روند فعالیت‌های صنعتی در حومه‌ی این شهرها منجر به افزایش تولید غلظت نیتروژن دی‌اکسید در این مناطق شده است. افزایش فعالیت‌های صنعتی در زمینه استخراج معادن بخصوص در بخش مرکزی کشور نیز تا حدودی منجر به افزایش گسیل این آلاینده‌ها شده است. به‌عنوان‌مثال، در اطراف شهر کرمان، منطقه‌ای که با رنگ زرد و آبی روشن مشخص شده مربوط به منطقه صنعتی مس سرچشمه می‌باشد که به دلیل مسائل مربوط به استخراج و حمل‌ونقل در این معادن باعث افزایش تولید نیتروژن دی‌اکسید گردیده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بیشترین غلظت متوسط این گاز در سال‌های (۲۰۱۸-۲۰۰۵) در ۱۴ سال اخیر به کشورهای حوزه خلیج‌فارس از جمله عربستان با غلظت $1.19 * 10^{+16}$، عراق با غلظت $9.11 * 10^{+15}$، افغانستان با غلظت $1.89 * 10^{+15}$ و قطر با غلظت $7.93 * 10^{+15}$ (مولکول بر سانتیمتر مربع) می‌باشد که به دلیل جهت وزش باد غالب در کشور می‌تواند یکی از عوامل افزایش غلظت زیاد این گاز در کشور ایران باشد.

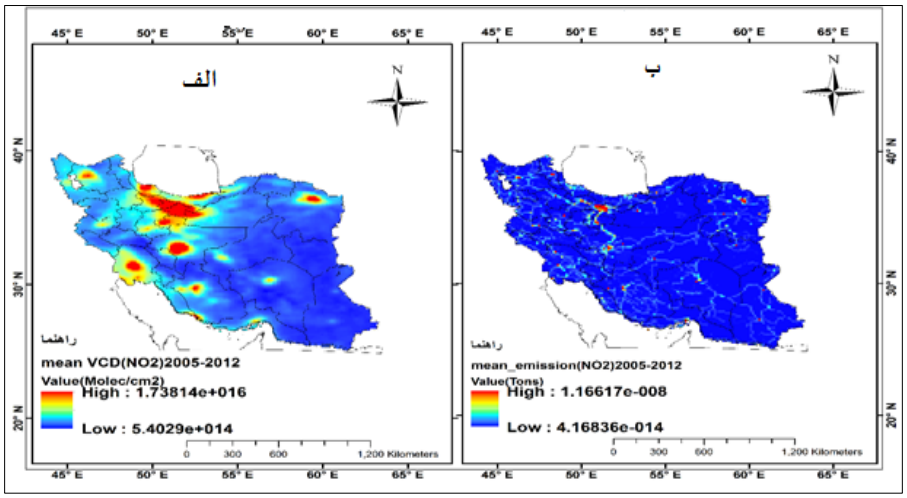


شکل (۳). میانگین غلظت ستون قائم وردسپهری دی‌اکسید نیتروژن در بازه‌ی زمانی بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸

با بررسی داده‌های مربوط به گسیل NO_x از مرکز تحقیقاتی اروپایی EDGAR و مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای ستون قائم وردسپهری NO_2 مشاهده می‌شود که سازگاری خوبی بین این داده‌ها وجود دارد. چون داده‌های مربوط به گسیل NO_x

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

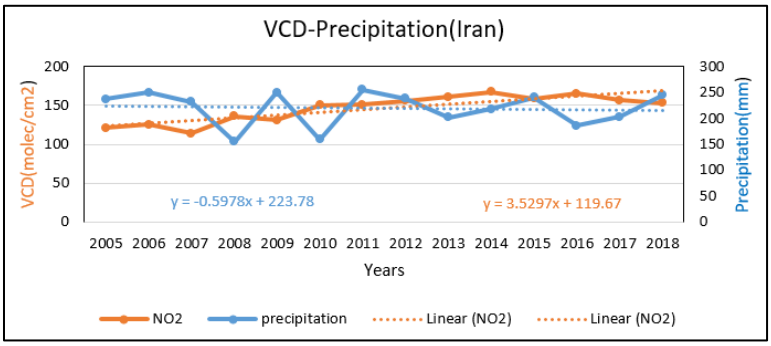
حداکثر تا سال ۲۰۱۲ موجود است مقایسه بین داده‌های ستون قائم وردسپهری NO_2 و داده‌های گسیل NO_x بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ انجام شده است شکل (۴).



شکل (۴). الف) ستون قائم وردسپهری نیتروژن دی‌اکسید برحسب مولکول بر سانتی‌متر مربع ب) گسیل NO_x بر حسب تن برای سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۲

در شکل (۴ الف) غلظت ستون قائم وردسپهری نیتروژن دی‌اکسید بر حسب مولکول در سانتی‌متر مربع و شکل (۴ ب) میزان گسیل NO_x بر حسب تن را در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۵ نشان می‌دهند. از شکل (۴) مشاهده می‌شود که بین نقاط دارای بیشترین میزان گسیل و بیشترین مقدار غلظت ستون قائم وردسپهری نیتروژن‌دی‌اکسید سازگاری خوبی وجود دارد.

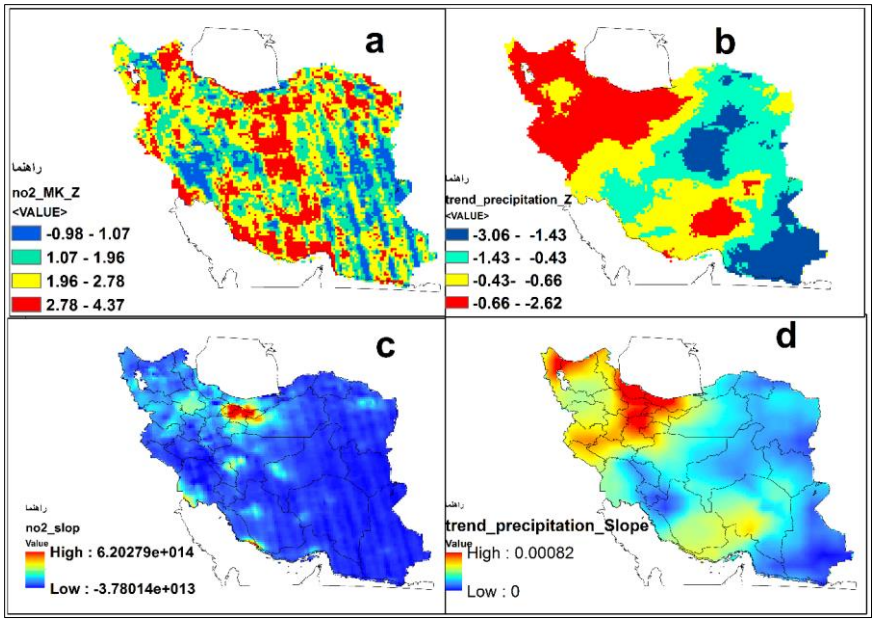
با بررسی روند تغییرات سالانه‌ی غلظت ستون قائم وردسپهری نیتروژن‌دی‌اکسید و متوسط سالانه‌ی بارش بر روی کشور ایران در شکل (۵) مشاهده می‌شود که غلظت این آلاینده از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ با افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی روند افزایشی و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ با توجه به رشد جمعیت روند کاهشی داشته است. اما در مجموع با شیب ($+۳/۵۲(molecule*cm^{-2})*10^{13}*year^{-1}$) روند افزایشی داشته، و در مقابل سری زمانی متوسط بارش سالانه روی ایران با شیب ($-۰/۵۹mm*year^{-1}$) روند کاهشی داشته است. از مقایسه روند این دو پارامتر مشاهده می‌شود که بر روی یکدیگر تأثیر منفی دارند. به‌عنوان‌مثال در سال ۲۰۱۶ که غلظت نیتروژن دی‌اکسید نسبت به سال‌های قبل و بعد از آن، یعنی ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ بیشتر بوده، میزان بارش در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال‌های قبل و بعد از آن کمتر بوده است، همچنین در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۱، ۲۰۱۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۰۸ هم این رابطه معکوس بین غلظت آلاینده و بارش مشاهده می‌شود که دلیل آن می‌تواند انحلال آلاینده‌ها درون و زیر ابر توسط بارش باشد که باعث ایجاد هوای پاک در منطقه می‌شود. با توجه به شیب‌خط مشاهده می‌شود به‌طور متوسط سالانه حدود ۰/۰۴- میلی‌متر کاهش بارندگی و حدود ۱۰^۱۳*۰/۲۵+ مولکول بر سانتی‌متر مربع افزایش غلظت ستون قائم وردسپهری را در کشورمان داریم.



شکل (۵). سری زمانی میانگین غلظت نیتروژن دی‌اکسید و متوسط بارش سالانه روی ایران از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]



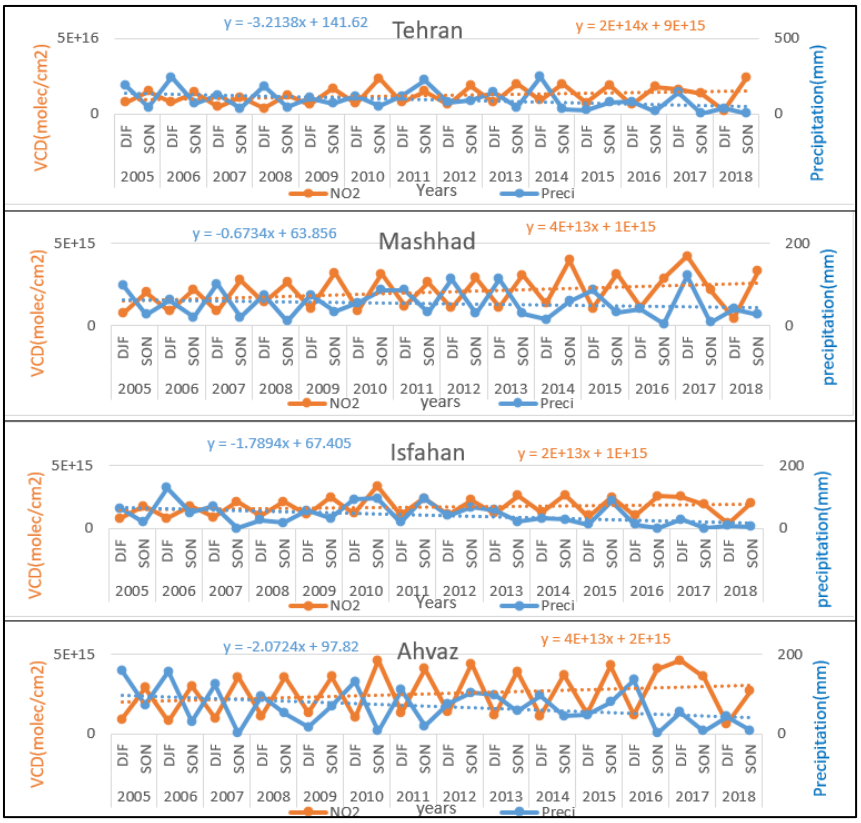
شکل (۶). روند تغییرات ۱۴ ساله‌ی a) غلظت نیتروژن دی‌اکسید و b) بارش سالانه روی ایران با استفاده از روش آماری من-کندال z. شیب تخمین‌گر سن c) برای نیتروژن دی‌اکسید و d) بارش بر روی ایران برای سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۸

شکل (۶ a و b) روند تغییرات ۱۴ ساله‌ی غلظت نیتروژن دی‌اکسید و بارش را با استفاده از روش آماری من-کندال z نشان می‌دهد. قسمت‌های قرمز رنگ افزایش معنی‌دار و قسمت‌های آبی رنگ کاهش معنی‌دار این دو کمیت را در طی این ۱۴ سال نشان می‌دهند. چون مقادیر Z بالاتر از ۱.۹۶ و کمتر از ۱.۹۶- سطح معنی‌داری را نشان می‌دهد رنگ‌های آبی روشن و زرد، کاهش و افزایشی را نشان می‌دهند که معنی‌دار نیستند. همان‌طور که در شکل (۶ a) مشاهده می‌شود در شهرهای صنعتی مثل اصفهان، یزد، اراک و جنوب تهران و شهرهای نوار ساحلی در جنوب، به علت وجود پالایشگاه‌ها و دیگر تأسیسات مربوط به صنعت نفت، روند افزایشی معنی‌داری را در غلظت نیتروژن دی‌اکسید نشان می‌دهند. همچنین در شکل (۶ b) که آزمون آماری Z را برای بارش نشان می‌دهد، در نواحی شمال غرب کشور افزایش معنی‌دار و برای قسمت‌های شرق و جنوب شرق کشور کاهش معنی‌داری در میزان بارش مشاهده می‌شود. اشکال (۶ d و c) شیب تخمینگر سن را برای نیتروژن دی‌اکسید و بارش نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در شکل (۶ (c)) استان تهران دارای بیشترین شیب افزایشی سالانه در حدود $6.20 * 10^{14}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع نیتروژن دی‌اکسید می‌باشد و در شکل d مناطق شمالی که با رنگ قرمز نشان داده شده دارای بیشترین شیب در افزایش بارش را نشان می‌دهند.

به علت این‌که در مقیاس‌های بزرگ مقایسه بارش و غلظت ستون قائم NO_2 ممکن است با خطا مواجه شود، برای بررسی بهتر تأثیر این عوامل بر یکدیگر ۴ کلان‌شهر تهران، اصفهان، مشهد و اهواز را که دارای غلظت بالای آلودگی ناشی از نیتروژن دی‌اکسید هستند را انتخاب کرده و به‌صورت فصلی موردبررسی قرار داده‌ایم. با توجه به این‌که تعداد روزها با غلظت بالای آلودگی ناشی از NO_2 در فصل پاییز و زمستان نسبت به دیگر فصول بیشتر است این دو فصل را موردبررسی قرار گرفته‌اند که رفتار آن‌ها در شکل (۷) ارائه شده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]



شکل (۷). سری زمانی بارش و غلظت ستون قائم وردسپهری برای کلان‌شهرهای تهران، مشهد، اصفهان و اهواز (۲۰۱۸-۲۰۰۵)

همان‌طور که در تمامی نمودارهای مربوط به این چهار شهر مشاهده می‌شود در بازه زمانی (۲۰۱۸-۲۰۰۵) متوسط بارش سالانه این شهرها با یک شیب منفی رو به کاهش است و متوسط غلظت ستون قائم وردسپهری با یک شیب مثبت رو به افزایش می‌باشد. شهر تهران دارای بیشترین شیب کاهشی بارش (۳/۲۱-) و شهر مشهد دارای کمترین شیب کاهشی بارش ($-۰/۶۷\frac{mm}{year}$) در بازه زمانی موردنظر را دارا می‌باشد. در مقابل روند سالانه غلظت ستون قائم وردسپهری این شهرها در این بازه افزایشی بوده و دارای شیب مثبت است که شهر تهران دارای بیشترین شیب مثبت ($cm^{-2} * 10^{+14} molecule *$ cm^2) و شهر اصفهان دارای کمترین شیب مثبت ($cm^{-2} 2 * 10^{+13} molecule *$) می‌باشند. با توجه به نمودارهایی که تاکنون توضیح داده شد در اکثر سال‌ها شدت بارش در فصل زمستان نسبت به پاییز بیشتر می‌باشد ولی در مقابل غلظت نیتروژن‌دی‌اکسید در فصل پاییز مقدار بیشتری را نسبت به فصل زمستان دارد که علت آن می‌تواند نهشت رطوبت یا به عبارتی شسته شدن آلاینده‌ها توسط بارش باشد که باعث رقیق شدن جو از آلاینده‌ها به‌خصوص NO_2 می‌شود.

جدول (۱). شیب و مقدار همبستگی بین متغیرها (R^2) برای چهار کلان‌شهر موردمطالعه

	NO2 (Tehran)	NO2 (Mashhad)	NO2 (Isfahan)	NO2 (Ahvaz)
Precipitation	Y=-4E+13X+2E+16	Y=-9E+12X+3E+15	Y=-1E+11X+2E+15	Y=-2E+13X=4E+15
	$R^2 = 0.17$	$R^2 = 0.09$	$R^2 = 3E-05$	$\boldsymbol{R^2 = 0.33}$

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با بررسی داده‌های مربوط به گسیل NO_x و منابع آن در کشور ایران از مرکز تحقیقاتی اروپایی EDGAR برای سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲ و تحلیل اولیه سری زمانی این اطلاعات مشاهده گردید که گسیل NO_x روی ایران در طی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

این سال‌ها سیر صعودی نسبتاً شدیدی داشته و اصلی‌ترین منابع آن به ترتیب نقل و انتقالات جاده‌ای، منابع تولید گرما و الکتریسیته، بخش‌های مسکونی، صنایع تولید انرژی، تأسیسات نفت و گاز و گسیل مستقیم از خاک می‌باشد. تحلیل میانگین غلظت ستون قائم وردسپهری NO_2 در بازه‌ی زمانی بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ توسط سنجنده‌ی OMI روی ایران نشان داد که بیشترین غلظت NO_2 در کلان‌شهرها به‌ویژه کلان‌شهر تهران می‌باشد در حدود $3.07 * 10^{+16}$ مولکول بر سانتی‌متر مربع از مقطع ستون هوای وردسپهری که بیشترین جمعیت و به دنبال آن بیشترین نقل و انتقالات جاده‌ای را در بین کلان‌شهرها دارا می‌باشد و بعد از آن اصفهان، کرج، مشهد، اهواز و شیراز به دلیل جمعیت بالا و صنعتی بودن دارای غلظت بالای نیتروژن دی‌اکسید می‌باشند. به دلیل در دسترس نبودن داده‌های مربوط به گسیل از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ مقایسه بین داده‌های مربوط به گسیل NO_x و داده‌های غلظت قائم NO_2 بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ موردبررسی قرار گرفت که یک همبستگی مثبتی بین این اطلاعات مشاهده گردید و نشان داد شهرهایی با بیشترین مقدار گسیلNO_x در ستون قائم نیز دارای بیشترین غلظت NO_2 می‌باشند. ازآنجایی‌که پدیده‌های هواشناسی همچون دما، بارش، رطوبت نسبی، میزان باد و ساختار لایه‌مرزی بر روی غلظت آلاینده‌ها تأثیرگذار هستند در این مقاله تأثیر بارش که از اهمیت بالایی برخوردار است را بر روی آلاینده‌ها موردبررسی قرار داده‌ایم. با رسم سری زمانی سالانه‌ی غلظت NO_2 و مجموع بارش مشاهده می‌شود که در اکثر موارد رابطه معکوسی بین این دو پارامتر وجود دارد به‌طوری‌که بارش در طی این سال‌ها با یک شیب (۰/۵۹-$\frac{mm}{year}$) در حال کاهش و غلظت ستون قائم با شیب (۳/۵+ (molecule*cm^{-2})*10^{13}*year^{-1}) در حال افزایش می‌باشد به‌عنوان‌مثال در سال ۲۰۱۶ که غلظت نیتروژن دی‌اکسید نسبت به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ بیشتر بوده، میزان بارش در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال‌های قبل و بعد کمتر بوده است. همچنین در سال ۲۰۱۵،۲۰۱۱،۲۰۱۰،۲۰۰۹ و ۲۰۰۸ هم این رابطه معکوس بین غلظت آلاینده و بارش مشاهده می‌شود که دلیل آن در واقع شویش آلاینده‌ها توسط بارش می‌باشد که باعث ایجاد هوای پاک در منطقه می‌شود. در مقایسه فصلی (پاییز و زمستان) این دو عامل (غلظت نیتروژن دی‌اکسید و مجموع بارش) نیز این رابطه معکوس مشاهده می‌شود برای بررسی دقیق‌تر تأثیر این عوامل بر یکدیگر، چهار کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان و اهواز را به‌طور جداگانه موردبررسی قرار دادیم که در همه این شهرها غلظت ستون قائم وردسپهری NO_2 با یک شیب مثبت رو به افزایش و متوسط سالانه بارش با یک شیب منفی رو به کاهش بود. به‌طوری‌که در اکثر سال‌ها شدت بارش در فصل زمستان نسبت به پاییز بیشتر می‌باشد ولی در مقابل غلظت نیتروژن‌دی‌اکسید در فصل پاییز مقدار بیشتری را نسبت به فصل زمستان دارد که علت آن می‌تواند نهشت رطوبت یا به عبارتی شسته شدن آلاینده‌ها توسط بارش باشد که باعث رقیق شدن جو از آلاینده‌ها به‌خصوص NO_2 می‌شود.

منابع

khoshakhlagh, F. (2008). Study of the effects of North Atlantic oscillation on precipitation regime and temperature of the southern shores of the Caspian Sea. Natural Geography Research. 66.(in Persian).

SHareipour, z., Aliakbari Bidokhti, A.(2012). Investigating the trend of long-term changes in air pollution and meteorological factors affecting it in Tehran (during a period of 10 years). National Conference on Air Flow and Pollution. (in Persian).

SHareipour, z., Aliakbari Bidokhti, A. (2013). Investigation of the status of Tropospheric NO_2 in Iran during the years 2004 to (2012). Journal of Ecology. 65-78. (in Persian).

SHareipour, z., Aliakbari Bidokhti, A. (2014). Investigation of temporal spatial distribution of air pollutants in Tehran for the cold months of 2013-2011. (in Persian).

TolabiNezhad, M. (2015)., Effects of North Atlantic Fluctuation on Atmospheric Anomaly of Iran's Atmospheric Level (Case Study: Western Iran). Journal of Applied Research in Geographical Sciences, Year 18, Issue 94, Summer 94. (in Persian).

Abbasi, F., Babaeian, A. (2019). Analysis of the trend of average annual temperature and precipitation in Iran in the period 1988 to 2017. Newar, Volume 43, Number 107-106. (in Persian).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]

MashhadizadehMaleki,S., Bayat, A. (2016). Time series spectral analysis of nitrogen dioxide in Tehran by measuring OMI sensor. Fifth National Conference on Air and Noise Pollution Management, Razi International Conference Center. (in Persian).

Aristeidis, K., Georgoulias, l.. Ronald, J.. van der. A.. Piet Stammes. K.. Folkert Boersma Hek, J..Eskes. (2018). Trends and trend reversal detection in two decades of tropospheric NO2 satellite observations. Atmos. Chem. Phys. Discuss.. https://doi.org/10.5194/acp-2018-988.

Caiwang Zheng, Chuanfeng Zhao, Yanping Li, Xiaolin Wu, Kaiyang Zhang, Jing Gao, Qi Qiao, Yuanzhe Ren, Xi Zhang, Fahe Chai, (2018), Spatial and temporal distribution of NO2 and SO2 in Inner Mongolia urban agglomeration obtained from satellite remote sensing and groundobservations, Atmospheric Environment 188 (2018) 50–59.

Hayashida. S.. Kajini. M.. Deushi.M.. Thomas. T. (2018). Seasonality of the lower tropospheric ozone over China observed by the Ozone Monitoring Instrument.

Hilboll.A..Richter.A. and Burrows.J.P.: Long-term changes of tropospheric NO2 over megacities derived from multiple satellite instruments, Atmos. Chem. Phys., 13, 4145–4169, https://doi.org/10.5194/acp-13-4145-2013, 2013.

John.H..Seinfeld. Spyros.N. Pandis(2016). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.

Kanaya. Y.. Irie. H.. Takashima. H.. Iwabuchi. H.. Akimoto. H.. Sudo. K.. Gu. M.. Chong. J.. Kim. Y. J.. Lee. H.. Li. A.. Si. F.. Xu. J.. Xie. P.-H.. Liu. W.-Q.. Dzhola. A.. Postylyakov. O.. Ivanov. V.. Grechko, E.. Terpugova. S.. and Panchenko. M.(2014).Long-term MAX-DOAS network observations of NO2 in Russia and Asia (MADRAS) during the period 2007–2012: instrumentation, elucidation of climatology, and comparisons with OMI satellite observations and global model simulations, Atmos. Chem. Phys., 14, 7909–7927, https://doi.org/10.5194/acp-14-7909-2014, 2014.

1Lingaswamy. A.P..Arafath, S.M.. Balakrishnaiah. G.. Rama Gopal. K.. Siva Kumar Reddy. N..Raja Obul Reddy.K.. Chakradhar Rao.T.Observations of trace gases, photolysis rate coefficients and model simulations over semi-arid region, India Atmos. Environ., 158 (2017), pp. 246-258, 10.1016/j.atmosenv.2017.03.048.

Ponomarev, N.; Yushkov,V.; Elansky, N. Air Pollution inMoscow Megacity: Data Fusion of the Chemical Transport Model and Observational Network. Atmosphere 2021, 12, 374. https://doi.org/10.3390/atmos12030374.

Rabbia Murtaza, Muhammad Fahim Khokhar, Asma Noreen1, Salman Atif, Khalid Rehman Hakeem, (2018). Multi-sensor temporal assessment of tropospheric nitrogen dioxide column densities over Pakistan, Environmental Science and Pollution Research https://doi.org/10.1007/s11356-017-1176-7.

Seinfeld, J.. and Pandis, H. (2008). Atmospheric Chemistry and Physics(2006): From Air Pollution to Climate Change. 2nd Edn. 2006. John Wiley & Sons.Hoboken. New Jersey.

Saud. T.. Mandal. T.K.. Gadi. R.. Singh. D.P.. Sharma. S.K.. Saxena. M.. (2011). Emission estimates of particulate matter (PM) and trace gases (SO2, NO and NO2) from biomass fuels used in rural sector of Indo-Gangetic Plain, India. Volume 45, Issue 32, October 2011, Pages 5913-5923.

Schneider. P.. Lahoz. W. A.. and van der A. R.(2015): Recent satellite-based trends of tropospheric nitrogen dioxide over large urban agglomerations worldwide, Atmos. Chem. Phys.. 15. 1205–1220. https://doi.org/10.5194/acp-15-1205-2015.

varner, A. R. J., Eskes, M. A., Boersma, H. J., van Noije, K. F., Van Roozendael, T. P. C., De Smedt M., Peters v, andMei-jer D. H. M. U., 2013, Trends, seasonal variability and dominant NOx sourcederived from a ten year record of NO2 measured from space, J.Geophys. Res. 113, D04302.

World Health Organization. (2003). The world health report 2003: shaping the future. World Health Organization.
https://www.who.int/.

Zhou. Y.. Bruuer. D.. Hueglin. Ch.. Henne. S.. Staehelin. J..(2012). Changes in OMI tropospheric NO2 columns over Europe from 2004 to 2009 and the influence of meteorological variability.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOI: 10.61186/jgs.25.76.19]