



Journal of Environmental Studies
Vol. 48, No. 3, Autumn 2022

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 **Online ISSN 2345-6922**

Investigation of Air Pollution in Tehran According Wind and Precipitation Conditions

Document Type
Research Paper

Taher Safarrad*, Yadollah Yousefi

Received
May 21, 2022

Department of Geography, Faculty of Humanity & Social Science, University Of Mazandaran, Babolsar, Iran

Accepted
September 29, 2022

DOI: 10.22059/JES.2022.343398.1008320

Abstract

To investigate the role of wind and precipitation on air pollution in the metropolis of Tehran, daily NO₂ data from the Sentinel satellite and daily wind and precipitation data from Mehrabad station from August 1, 2018, to December 31, 2021, were used. To examine the relationship between precipitation and wind data with air pollution, the correlation method and the existence of significant differences in air pollution in different conditions, t-test was used. The results showed the variance and mean NO₂ of rainy days and days without rainfall were not equal and on rainy days the amount of air pollution was reduced by 31.06%. The average air pollution on rainy days is less than on days without rainfall, but no specific pattern was observed between the amount of rainfall and the reduction of air pollution. The results showed that increasing the wind speed to 2.5 m / s will reduce air pollution, but higher speeds will not necessarily reduce pollution further. The variance and mean NO₂ are not equal on windy days of more than 2.5 meters per second. At speeds of more than 2.5 meters per second, the amount of air pollution is reduced by 59.25% with 99% confidence. The results show that the effect of wind in reducing air pollution in Tehran is more than rainfall and shows a more distinct pattern of air pollution.

Keywords: Air Pollution, NO₂, Wind, Precipitation, Tehran.

* Corresponding Author:

Email: t.safarrad@umz.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

With the growth of urbanization and the increase of industrial activities, more environmental problems appeared in human life. One of the direct effects of urban development is environmental change such as reduced air conditioning, reduced lighting, increased heat island, air pollution and other environmental problems. Today, air pollution is increasing in metropolitans, especially in industrial cities. Many cities around the world face the problem of photochemical smog. The smog reduces visibility, affects people's regular travel and reduces air quality. Nitrogen dioxide (NO_2) and nitrogen oxide (NO) are commonly known as nitrogen oxides ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) and are important trace gases in the atmosphere that exist in both the troposphere and stratosphere, resulting in human activities, especially combustion. NO_2 gas is one of the main undesirable components of photochemical smoke fog and one of the criteria for detecting air pollution under National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Short-term inhalation of this toxic gas will cause vital problems and especially worsen the condition of people with respiratory diseases. This gas is the result of industrial activities and motor vehicles inside cities. Spatially, this pollutant is specific to large cities and it can be called urban air pollutant. NO_2 has a seasonal cycle and its peak occurs in the cold season and has the lowest rate in the warm season. One of the important factors in reducing or increasing the concentration of pollutants is weather conditions.

The most important factors affecting air pollution are inversion, precipitation occurrence, relative humidity, wind direction and speed, and in other words, atmospheric conditions. To effectively control air pollution, it is essential to know the relationship between air pollution and daily air conditions. One of the most important problems in Tehran is air pollution. Traffic congestion is the most important source of air pollution in Tehran and the two main groups of polluting industries around Tehran are the automotive industry and fuel production. These industries have high energy consumes in Iran, whose energy is produced by the power plants around them. In addition to the above, topography and climate characteristics have also added to Tehran's air pollution problem. Tehran is located at a high altitude and is surrounded by the Alborz mountain range, so the polluted air will be trapped by the wind in the eastern half of the city. Air pollution in Tehran has long been considered as an important environmental factor by the community and managers. For better understanding and management, it is necessary to study the temporal and spatial changes of air pollution and its reducing or increasing environmental factors. The aim of this study is to investigate the effect of two factors: wind and precipitation, which are often considered reducing factors of urban pollutants, and the effect of each of these parameters on the concentration of NO_2 , which is one of the important compounds in the formation of smog.

Materials and Methods

Satellite data is an innovative way to monitor surface phenomena. The Sentinel 5 satellite with a Tropomi sensor allows the detection of gaseous pollutants. To study the amount of NO_2 as one of the most important air pollutants, we used Sentinel 5 satellite products from August 1, 2018, to December 31, 2021. The pixel size of these data is 1113.2 meters. Daily rainfall and wind data of Mehrabad synoptic station in Tehran were used to check the wind and precipitation status during this period. After filtering the lost data, 1077 days with pollution data and weather conditions were prepared for analysis. This study was conducted on Tehran, the capital of Iran, the largest and most populous city in the country. Levene's test was used to show the differences between the effects of wind at different speeds on pollution. This test was introduced in 1960 by Professor Howard Leven. This method proposed a new approach for analysis of variance by using F-test for absolute deviation of observations from its group mean. Levene's test is a very popular tool for examining the homogeneity of variances. This test is less sensitive to normal distribution than Bartlett's Test and has more capability than Bartlett's test.

Discussion of Results

Emission of air pollutants in Tehran under the influence of 3 features; 1. Location of most sources of pollutants in the west and south of Tehran 2. Existence of heights in the north, northeast and east of Tehran and 3. The prevailing west and southwest direction of the wind in this city has caused the formation of a thick layer of particles suspended in the air of the city with long-term durability, especially in the east. Temporal examination of NO_2 concentration indicates the existence of an annual

cycle. In this way, from July to Dec is the period of increase and from Dec to Jul is the period of decrease. Usually, the highest amount of NO_2 is in Dec and the lowest amount is in July. The highest combustion volumes due to fossil fuels and the highest inversion events and thermal overpressures occur on the ground in winter, so it is common to expect cold months compared to warmer months when low pressure usually forms on the ground, Have more air pollution. Another important point about NO_2 is that the concentration of the highest amount of NO_2 in all seasons corresponds to the central areas with an extension to the east and northeast of Tehran. This condition clearly shows the effect of topography in creating a barrier to the exit of pollutants. It is quite clear that in the study area, regardless of the higher concentration of NO_2 in the cold season, in all seasons, the maximum accumulation of NO_2 is in the dominant wind path and in front of the mountain. Due to the relationship between precipitation and wind speed with the reduction of air pollution in this study, the role of precipitation and wind speed in air pollution has been investigated. Investigation of precipitation and pollution characteristics of Tehran during the study period shows that NO_2 has a maximum and minimum time and precipitation fluctuation in a year does not have a pattern similar to it.

The study period was divided into rainy days (at least 1 mm of rainfall per day) and days without rainfall. The results of Leven's and Ttest showed that NO_2 variance and mean were not equal on rainy days and days without rain and it was found that on rainy days the amount of air pollution was reduced by 31.06%, which is statistically significant with 99% confidence. Examination of the average NO_2 in different rainfall classes to find the rainfall threshold affecting the amount of pollution showed that there is no specific regulation regarding rainfall threshold and pollution. For example, on 12/10/2018, the amount of 96 mm of precipitation was recorded, which was the highest precipitation recorded during the statistical period in Tehran, but the amount of NO_2 concentration in the air was 0.000431 mol/m². While the lowest amount of NO_2 concentration in the studied statistical period (0.000086 mol/m²) was on 10/26/2018, the amount of rainfall on that day was 0.15 mm, on the other hand on 12/2021 19 NO_2 concentration was equal to 0.006671 mol/m² (one of the highest values recorded for NO_2 concentration) on which day 4 mm of precipitation was recorded.

The average wind speed increases in proportion to the increase in temperature in the warm months and decreases in the cold months and the lower wind speed in the cold months can be added to the reasons for the increase in pollution in these months. To more accurately investigate the role of wind in air pollution, the amount of pollution at different wind speeds at intervals of 0.5 m / s was investigated. The results showed that increasing the wind speed initially linearly reduces the amount of air pollution; but, increasing the wind speed to more than 2.5 meters per second does not have a further reducing effect on air pollution and at speeds higher than this amount, the amount of pollution remains almost constant. The results of Levene's and Ttest showed that the variance and mean of NO_2 were not equal on days with wind speeds greater than and less than 2.5 m / s and it was found that on days with wind speeds of more than 2.5 m / s the amount of air pollution 59.25% decreases, which is statistically significant with 99% confidence (Figure 1).

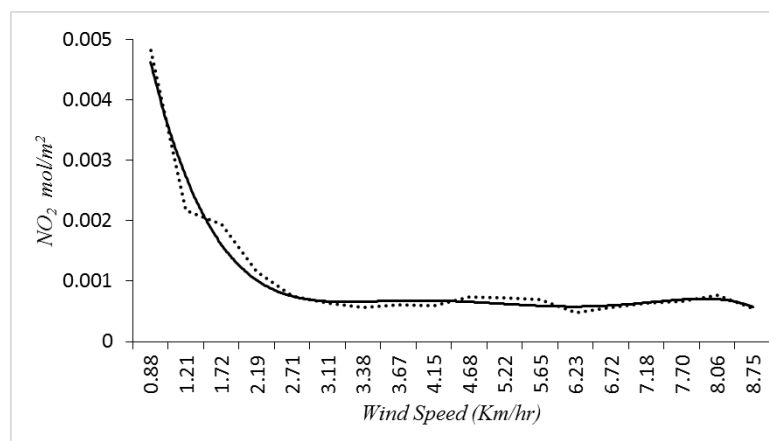


Figure 1. Mean of NO_2 in different wind speeds

Conclusions

The main sources of air pollution in Tehran include traffic congestion (city center) and automotive and fuel production industries (mainly located in the west, southwest and south of Tehran) which are located in the direction of the prevailing wind entering the city and the heights north, northeast and east of Tehran will prevent them from leaving the city. This causes more air pollution in the eastern half of Tehran. The results of this study showed that the accumulation and persistence of air pollution in the central areas northeast of Tehran reaches its maximum and the amount of this pollution in the cold months is more than the warm months. In this study, the role of precipitation and wind separately in changes in the amount of air pollution was investigated. The results showed that the amount of pollution on rainy days is significantly about 31% less than on days without rainfall, but no logical and significant relationship was observed between the amount of rainfall and the rate of reduction of air pollution; In other words, precipitation reduces air pollution, but changing the amount of precipitation does not cause significant changes in the amount of air pollution. The results of this study also show that wind has a more effective and lawful role in reducing air pollution so increasing wind speed will reduce the amount of air pollution. As the wind speed increases from 0.5 to 2.5 meters per second, the amount of air pollution decreases linearly and with a steep slope, after this, the amount of air pollution will remain almost constant. Winds with a speed of more than 2.5 meters per second have no greater effect on reducing air pollution. Simply put, the wind threshold to reduce pollution is 2.5 meters per second. It was also found that on days when the wind speed is more than 2.5 meters per second, the amount of air pollution is significantly reduced by about 59.25%; therefore, it can be said that the role of wind in reducing pollution is much greater than the role of precipitation.

بررسی آلودگی هوای شهر تهران براساس ویژگی‌های باد و بارش

طاہر صفرراد*، یدالله یوسفی

گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۷

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱

چکیده

با هدف بررسی نقش باد و بارش بر میزان آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران از داده‌های روزانه NO_2 ماهواره سنتینل و داده‌های روزانه باد و بارش ایستگاه مهرآباد طی بازه زمانی ۱۸ آگوست ۲۰۱۸ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۱ استفاده شد. برای بررسی ارتباط داده‌های بارش و باد با آلودگی هوا از روش همبستگی و جهت بررسی وجود تفاوت معناداری در میزان آلودگی هوا در شرایط متفاوت بارش و باد از آزمون t بهره گرفته شد. نتایج نشان داد، واریانس و میانگین NO_2 روزهای بارشی و روزهای بدون بارش برابر نیست و در روزهای بارشی $31/06\%$ مقدار آلودگی هوا کاهش می‌یابد. میانگین آلودگی هوا در روزهای بارشی کمتر از روزهای بدون بارش است اما قانونمندی خاصی میان مقدار بارش و کاهش آلودگی هوا مشاهده نشد. نتایج نشان داد، افزایش سرعت باد تا $2/5$ متر برثانیه سبب کاهش میزان آلودگی هوا می‌شود، اما سرعت‌های بیشتر از آن لزوماً کاهش بیشتر آلودگی را در پی نخواهد داشت. واریانس و میانگین NO_2 در روزهای با سرعت باد بیشتر و کمتر از $2/5$ متر برثانیه برابر نیست. در سرعت بیش از $2/5$ متر برثانیه، مقدار آلودگی هوا $59/25\%$ با اطمینان ۹۹ درصد کاهش می‌یابد. نتایج مشخص ساخت، اثر باد در کاهش آلودگی هوای تهران بیش از بارش بوده و ارتباط قانونمندتری با آلودگی هوا نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آلودگی هوا، NO_2 ، باد، بارش، تهران

سرآغاز

شده و سلامت مردم را به‌طور جدی به خطر می‌اندازد (Yang & Fu, 2020).

با توجه به توسعه صنعتی بیشتر، میزان آلاینده‌های انسان‌ساخت در حال افزایش چشمگیری است. به دلیل افزایش آلاینده‌ها و بروز مشکلات ناشی از اثر آن بر زندگی انسان، در کشورهای مختلف اقدام به تأسیس مراکز پایش غلظت ترکیبات آلاینده هوا، نظیر ذرات معلق (PM)، ازن (O_3)، مونوکسیدکربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) و سرب (Pb) نموده‌اند. در میان همه ی آلاینده‌های جوی گازهای NO_2 و SO_2 بیش از همه در آلودگی هوا نقش داشته و باعث تحریک مجاری تنفسی

با رشد شهرنشینی و افزایش فعالیت‌های صنعتی، مشکلات زیست‌محیطی بیشتری در زندگی بشر نمایان شد. یکی از اثرات مستقیم توسعه شهرها دگرگونی محیطی همانند کاهش تهویه هوا، افزایش آلودگی هوا، کاهش روشنایی، افزایش جزیره حرارتی و دیگر معضلات زیست‌محیطی است. امروزه آلودگی هوا در کلان‌شهرها و به‌ویژه شهرهای صنعتی روزبه‌روز در حال افزایش است. بسیاری از شهرها با آلودگی هوا به‌ویژه مسئله مه دود مواجه هستند. مه دود، نه‌تنها دید را کاهش داده و بر سفرهای معمول مردم تأثیر می‌گذارد بلکه مستقیماً منجر به کاهش کیفیت هوای محیط

هوای شهر مکه در عربستان سعودی در ماه رمضان به‌عنوان یک ماه شلوغ از ۲۰ جولای تا ۱۸ آگوست ۲۰۱۲ نشان داد، برخلاف انتظار سرعت باد با میزان آلودگی دارای ارتباط مستقیم است و یک عامل برای انتقال و افزایش آلودگی به داخل شهر محسوب می‌شود (Habebullah, 2013). بررسی اثر پارامترهای جوی بر آلودگی هوا در شهر سنجند با استفاده از روش‌های همبستگی به ارتباط میان پارامترهای جوی دما، رطوبت نسبی و سرعت باد اشاره دارد (Ahmadi, et al. 2015). براساس بررسی انجام‌شده توسط Hoque و همکاران (۲۰۲۰) بارش در شهر داکا (Dhaka) باعث پاک‌سازی هوا شده و رخداد آن دارای ارتباط معکوس با غلظت آلاینده‌های جوی است. یکی از ابزارهای قدرتمند در پایش آلودگی هوا، روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. ماهواره سنتینل-۵ جدیدترین پروژه سازمان فضایی اتحادیه اروپا می‌باشد (با همکاری کشور هلند) که با استفاده از سنجنده (TROPOMI) تصاویری در باندهای طیفی متنوع می‌گیرد و ابزاری بسیار مناسب برای پایش بسیاری از آلاینده‌های هوا محسوب می‌شود. Ghannadi و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که مقادیر پایش با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۵ حداقل ۷۸٪ با مقادیر پایش شده توسط ایستگاه‌های زمینی همبستگی دارد. بنابراین می‌توان از پتانسیل بالای تصاویر ماهواره سنتینل ۵ در مطالعات مربوط به آلودگی هوا استفاده نمود. Shojaaddini و همکاران (۲۰۲۰) اثر همه‌گیری کووید-۱۹ بر آلاینده دی‌اکسیدنیترژن در پنج پناهگاه حیات وحش و شهرهای بزرگ مجاور آن‌ها در ایران را مورد مطالعه قرار دادند و با بهره‌گیری از داده‌های NO₂ مستخرج از سنجنده TROPOMI مشخص نمودند که میانگین سطوح آلاینده در سال‌های ۲۰۱۹ بین کلان‌شهرها و بین پناهگاه‌ها اختلاف معنی‌دار داشت در حالی که در سال ۲۰۲۰ اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که کووید-۱۹ اثر محسوسی در کاهش مقدار دی‌اکسیدنیترژن در شهر ساری و پناهگاه میانکاله داشته است. Rangzan و همکاران (۲۰۲۱)

می‌شوند (Leili et al. 2014). دی‌اکسید نیترژن (NO₂) و اکسید نیترژن (NO) معمولاً به‌عنوان اکسیدهای نیترژن (NO_x = NO + NO₂) شناخته می‌شوند و گازهای ردیابی آلودگی در جو زمین هستند که هم در تروپوسفر و هم در استراتوسفر وجود دارند و در نتیجه فعالیت‌های انسانی به‌ویژه احتراق سوخت‌های فسیلی و سوزاندن زیست‌توده و فرآیندهای طبیعی مانند فرآیندهای میکروبیولوژیکی در خاک، آتش‌سوزی‌های جنگلی و رعدوبرق وارد جو می‌شوند. گاز NO₂ یکی از اجزای اصلی نامطلوب مه دود فتوشیمیایی و یکی از معیارهای تشخیص آلودگی هوا تحت استانداردهای ملی کیفیت هوای محیط (NAAQS) محسوب می‌شود (Vallero, 2014). استنشاق کوتاه‌مدت این ترکیب سمی باعث مشکلات حیاتی و به‌ویژه وخیم شدن حال افراد دارای بیماری‌های تنفسی خواهد شد. این گاز حاصل فعالیت‌های صنعتی و وسایل نقلیه موتوری در داخل شهرهاست. از لحاظ مکانی این آلودگی مختص شهرهای بزرگ است و به نوعی می‌توان آن را آلودگی ویژه هوای شهری نامید. این ترکیب دارای یک چرخه فصلی است و بیشینه آن در فصل سرد رخ داده و در فصل گرم دارای کمترین میزان است (Shariepour, and Aliakbari Bidokhti, 2014).

یکی از عوامل مهم در کاهش و یا افزایش غلظت آلاینده‌ها، شرایط جوی است. از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر آلودگی هوا، وارونگی دما (Ashrafi and Ahmadi, 2014)، رخداد بارش (Tomasi et al., 2017) رطوبت نسبی، جهت و سرعت باد (Rigby and Toumi, 2008; Liu et al., 2020) و به عبارت بهتر شرایط حاکم بر جو است (Akbari et al., 2018). برای کنترل مؤثر آلودگی هوا، آشکار کردن رابطه میان آلودگی هوا و شرایط هوای روزانه ضروری است (Liu, et al. 2020). بررسی اثر پارامترهای جوی در آلودگی هوای شهرهای طرابوزان (Cuhadaroglu and Demirci, 1997) و الازیغ (Elazığ) ترکیه (Akpınar et al., 2009) به ارتباط متوسط تا ضعیف آلاینده‌ها با پارامترهای جوی در این شهرها اشاره دارد. بررسی تأثیر شرایط هواشناسی بر آلودگی

TROPOMI است که امکان ردیابی آلاینده های گازی را فراهم می‌سازد (Gharibi and Shayesteh, 2021). برای بررسی میزان NO_2 به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های جوی از محصولات ماهواره سنتینل ۵ به‌صورت روزانه در بازه زمانی ۱ آگوست ۲۰۱۸ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۱ از پایگاه Google Earth Engine استفاده شد. این داده‌ها با پیکسل $1113/2$ متر مقدار غلظت NO_2 را برحسب mol/m^2 نشان می‌دهند (de Vries et al, 2016) داده‌های مزبور از طریق وب‌سایت Copernicus^۱ و سامانه گوگل ارث انجین^۲ قابل دسترس هستند. نتایج اعتبارسنجی این داده‌ها از طریق داده‌های زمینی و ایستگاهی، استفاده از آن‌ها جهت پایش آلودگی شهرها را تأیید می‌کند (Ialongo et al., 2020; Judd et al., 2020; Van Geffen et al., 2020; Ghannadi et al., 2020). همکاران (۲۰۲۲) با تأیید اعتبار این داده‌ها از طریق داده‌های ایستگاهی، استفاده از این داده‌ها را جهت پایش آلودگی هوای شهرهای ایران پیشنهاد داده‌اند.

این پژوهش شرایط حاکم بر کاهش آلودگی را براساس ویژگی های بارش و باد مورد واکاوی قرار داد. برای بررسی وضعیت باد و بارش نیز در این بازه (۱ آگوست ۲۰۱۸ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۱) از داده‌های روزانه ی بارش و باد ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران استفاده شد. بعد از پالایش داده‌های مفقودی تعداد ۱۰۷۷ روز مشترک دارای داده آلودگی و ویژگی های جوی برای تحلیل آماده‌سازی شد. بررسی بر روی شهر تهران پایتخت ایران، به‌عنوان بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر کشور انجام شد (شکل ۱).

در این پژوهش، جهت بررسی وضعیت آلودگی هوا در شهر تهران متناسب با ویژگی‌های باد و بارش به صورت زیر عمل شد، ابتدا داده‌های NO_2 ، سرعت باد و بارش جمع‌آوری شدند سپس میانگین NO_2 در شرایط متفاوت بارش و سرعت باد از طریق نمودارهای پراکنده‌گی و آزمون همبستگی مورد بررسی قرار گرفت و درنهایت تفاوت مقدار آلودگی هوا در شرایط متفاوت سرعت باد و بارش با بهره‌گیری از آزمون لون (Leven's Test) و t مستقل مورد تحلیل قرار گرفت.

ویژگی‌های زمانی- مکانی آلودگی دی‌اکسید نیتروژن در استان خوزستان را با استفاده از سنجنده TROPOMI مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که مناطق با غلظت بالای NO_2 در استان خوزستان، مربوط به شهرهایی با تراکم جمعیت زیاد و فعالیت‌های صنعتی است.

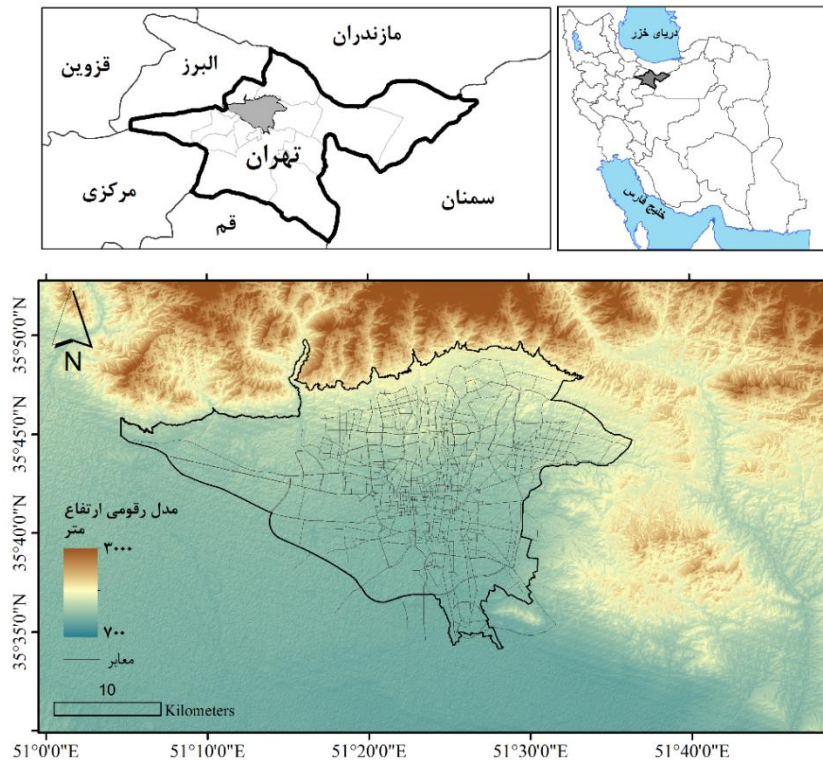
یکی از مهم‌ترین معضلات شهر تهران آلودگی هواست. تراکم ترافیک مهم‌ترین منبع آلودگی هوا در تهران است و دو گروه عمده از صنایع آلاینده اطراف تهران، صنایع خودروسازی و تولید سوخت هستند. این صنایع از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در ایران هستند که انرژی موردنیاز آن‌ها توسط نیروگاه‌های اطراف آن‌ها تولید می‌شود (Vafa-Arani et al, 2014). علاوه بر موارد بالا، توپوگرافی و ویژگی‌های آب‌وهوایی نیز بر مشکل آلودگی هوای تهران افزوده است. تهران در ارتفاع بالایی قرار دارد و در میان رشته کوه البرز احاطه شده است، بنابراین هوای آلوده در اثر باد در نیمه شرقی شهر به دام خواهد افتاد (Heger and Sarraf, 2018). از دیرباز، آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران به‌عنوان یک عامل زیست‌محیطی مهم موردتوجه جامعه و مدیران قرار داشته است. برای شناخت و مدیریت بهتر، لازم است تا تغییرات زمانی و مکانی آلودگی هوا و عوامل محیطی کاهنده یا افزاینده‌ی آن موردبررسی قرار گیرد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر دو عامل جوی، باد و بارش که در بیشتر مواقع به‌عنوان عوامل کاهنده‌ی غلظت آلاینده‌های شهرها محسوب می‌شوند، به بررسی میزان تأثیر هرکدام از این پارامترها بر غلظت NO_2 که یکی از ترکیبات مهم در تشکیل مه دود فتوشیمیایی است، پرداخته است.

مواد و روش بررسی

داده‌های ماهواره‌ای روشی نوآورانه برای نظارت و پایش پدیده‌های سطح زمین است (Sohrabinia and Khorshiddoust, 2007). ماهواره سنتینل ۵ توسط سازمان فضایی اروپا در راستای برنامه نظارت بر محیط زیست اروپا و پایش آلاینده‌های هوا در سراسر زمین در مدار قرار گرفت. این ماهواره حامل یک طیف‌سنج چندطیفی پیشرفته به نام

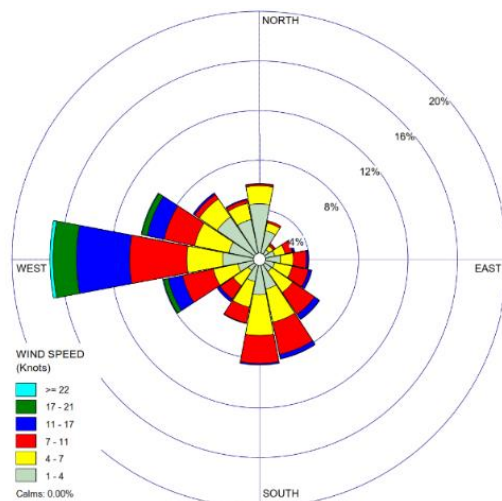
محبوب برای بررسی همگنی واریانس‌ها تبدیل شد (Gastwirth, et al. 2009). آزمون لون در مقایسه با آزمون بارتلت حساسیت کمتری به توزیع نرمال داشته و توانمندی بیشتری نسبت به آن دارد (Pourtaheri, 2013).

آزمون لون در سال ۱۹۶۰ توسط پروفسور هاوارد لون ارائه شد. این روش با به‌کارگیری آزمون F برای انحراف مطلق مشاهدات از میانگین گروهی خود، رویکرد جدیدی برای تحلیل واریانس پیشنهاد کرد. این آزمون به ابزاری بسیار



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

است (شکل ۴). بیشترین حجم احتراق ناشی از سوخت‌های فسیلی و بیشترین رخدادهای وارونگی دمایی و ایجاد

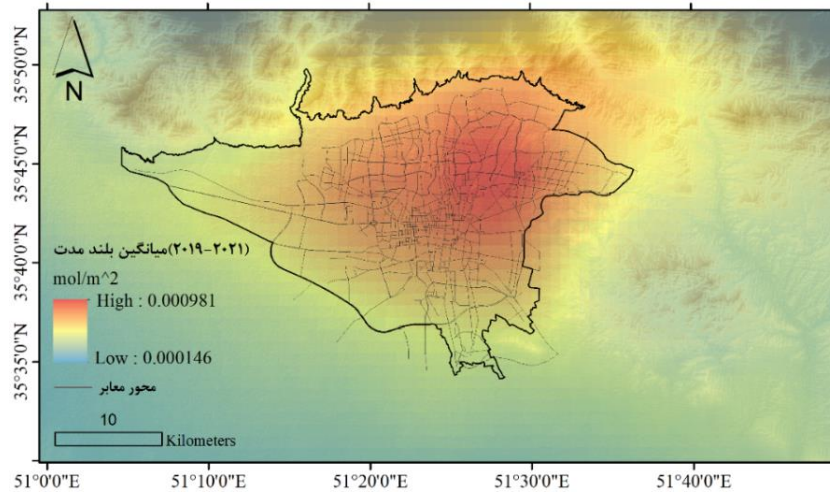


شکل ۲. گلباد تهران طی دوره زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱

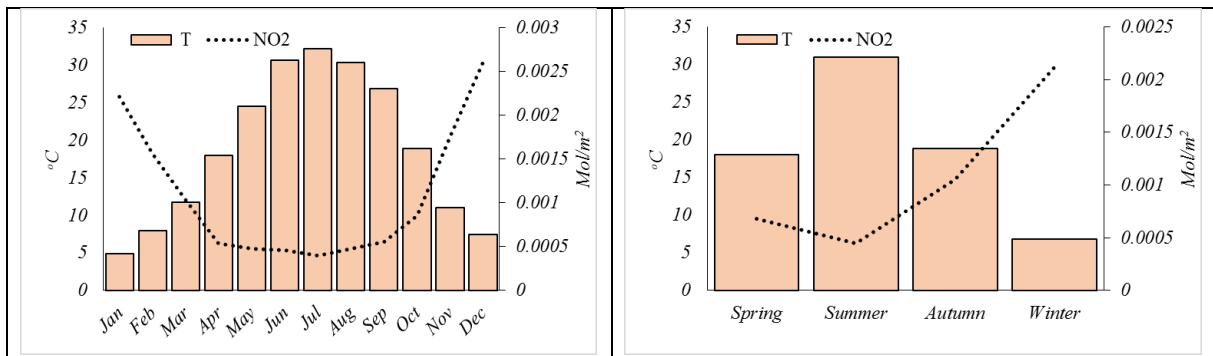
نتایج

انتشار آلاینده‌ها در شهر تهران تحت تأثیر ۳ ویژگی منحصربه‌فرد؛ ۱. قرارگیری بیشتر منابع آلاینده در غرب و جنوب ۲. وجود ارتفاعات در شمال، شمال شرق و شرق (شکل ۱) و ۳. جهت غربی و جنوب غربی باد غالب در شهر تهران (شکل ۲) سبب شکل‌گیری شرایطی ویژه در شهر این شهر شده و معمولاً یک لایه ضخیم از ذرات معلق در هوای شهر با ماندگاری طولانی‌مدت به‌ویژه در شرق (شکل ۳) آن است (Shamsipour et al. 2016).

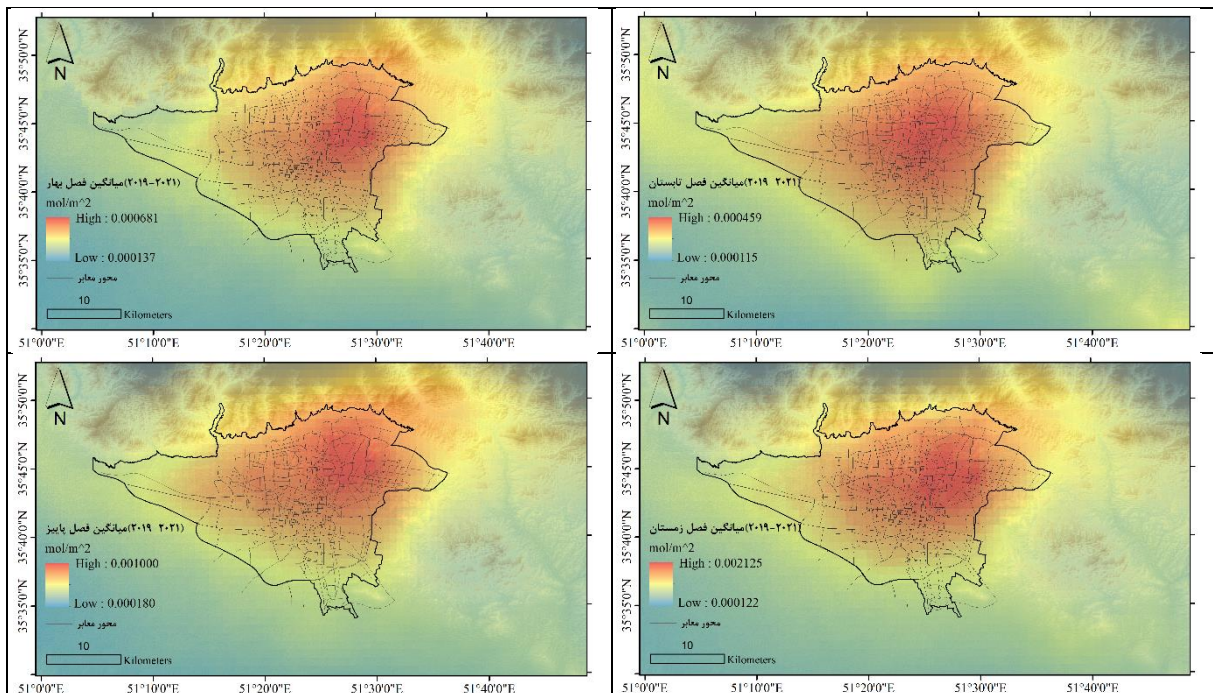
بررسی زمانی غلظت NO₂، نشان‌دهنده‌ی وجود یک چرخه سالانه است. به این صورت که از Jul تا Dec دوره افزایش و از Dec تا Jul دوره کاهش آن است. معمولاً بیشترین مقدار NO₂ در Dec و کمترین مقدار آن در ماه Jul



شکل ۳. میانگین انتشار NO₂ طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱، کانون تمرکز آلاینده‌ها با دایره آبی‌رنگ نشان داده شده است.



شکل ۴. میانگین ماهانه و فصلی دما و NO₂



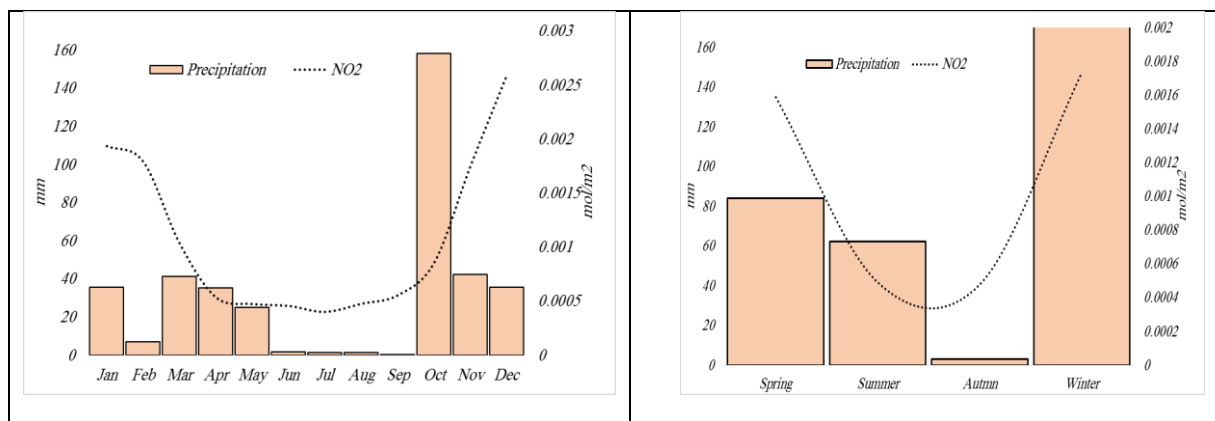
شکل ۵. میانگین فصلی انتشار NO₂ طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱

فصل سرد، در همه فصل‌ها بیشینه تجمع NO₂ در مسیر باد غالب و در جلوی ناهمواری‌ها قرار دارد. با توجه به ارتباط بارش و سرعت باد با کاهش آلودگی هوا در این پژوهش نقش بارش و سرعت باد در آلودگی هوا مورد کنکاش قرار گرفته است.

الف - بارش و آلودگی هوا

بررسی ویژگی‌های بارشی و آلودگی شهر تهران طی دوره زمانی مطالعه شده نشان می‌دهد، میزان NO₂ دارای یک زمان بیشینه و کمینه است و نوسان بارش در یک سال دارای الگویی همسان با آن نیست (شکل ۶).

پرفشارهای حرارتی در سطح زمین در زمستان رخ می‌دهند، بنابراین دور از انتظار نیست که ماه‌های سرد در مقایسه با ماه‌های گرم که در آن معمولاً در سطح زمین کم‌فشار حرارتی شکل می‌گیرد، آلودگی بیشتری باشد (Feng, et al. 2020). نکته حائز اهمیت دیگر در ارتباط با NO₂ این است که کانون بیشترین مقدار NO₂ در همه فصل‌ها منطبق بر مناطق مرکزی با کشیدگی به سمت شرق و شمال شرق تهران است (شکل ۵) که اثر توپوگرافی در ایجاد مانع برای خروج آلاینده‌ها را به‌وضوح نشان می‌دهد و کاملاً مشخص است که در منطقه مورد مطالعه صرف‌نظر از بیشتر بودن مقدار غلظت NO₂ در



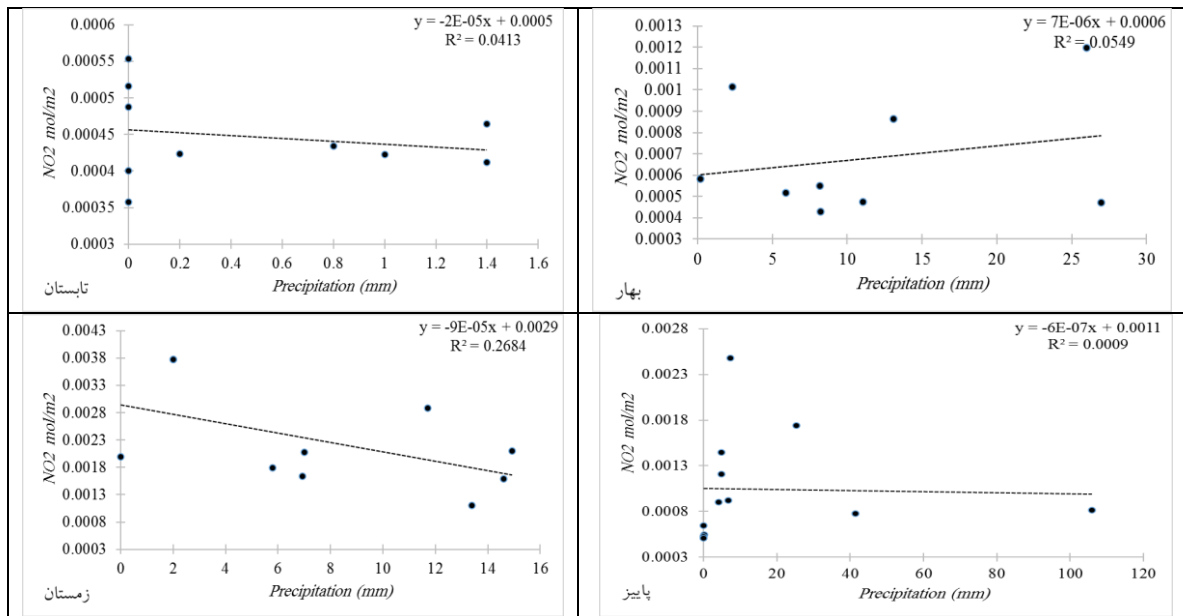
شکل ۶. میانگین ماهانه (چپ) و فصلی (راست) بارش و NO₂

رخداد و آلودگی‌های دمایی در فصل زمستان می‌تواند دلیل این ارتباط باشد و ارتباط معکوس آن‌ها (هرچند از نظر آماری معنادار نباشد) نشان‌دهنده کاهش آلودگی هوا همزمان با رخداد بارش‌ها در شهر تهران است.

بررسی ارتباط آلودگی هوا (مقدار NO₂) و بارش در فصل‌های مختلف نشان می‌دهد که از نظر آماری ارتباط معنادار و منسجمی بین آن‌ها وجود ندارد (شکل ۷ و جدول ۱). هرچند در فصل زمستان ارتباط آن‌ها نسبتاً قوی‌تر است.

جدول ۱. همبستگی NO₂ و مجموع بارش در شهر تهران در مقیاس فصلی

		مجموع بارش			
		بهار	تابستان	پاییز	زمستان
NO ₂	Pearson Correlation	۰/۲۳۴	-۰/۲۰۳	-۰/۰۳	-۰/۵۱۸
	Sig. (2-tailed)	۰/۵۴۴	۰/۵۷۳	۰/۹۲۷	۰/۱۲۵



شکل ۷. ارتباط تغییرات مجموع بارش و NO₂ در شهر تهران در مقیاس فصلی.

میانگین NO₂ در روزهای بارشی و روزهای بدون بارش برابر نیستند و مشخص شد که در روزهای بارشی ۳۱/۰۶ درصد مقدار آلودگی هوا کاهش می‌یابد که این تفاوت از نظر آماری با اطمینان ۹۹ درصد معنادار است (جدول ۳).

برای بررسی بیشتر و استخراج جزئیات فزون‌تر، دوره زمانی مورد مطالعه به روزهای بارشی (حداقل ۱ میلی‌متر بارش در روز) و روزهای بدون بارش تقسیم‌بندی شدند. میانگین آلودگی هوا در این دو گروه در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون لون و t نشان داد که واریانس و

جدول ۲. ویژگی‌های آماری NO₂ در روزهای بارشی و روزهای بدون بارش طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ در تهران

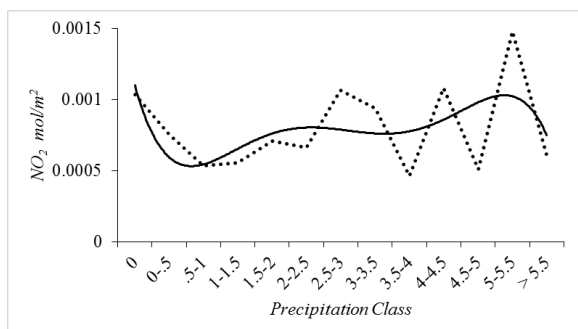
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
NO ₂	روزهای بدون بارش	۹۵۲	۰/۰۰۱۰۳	۰/۰۰۱۱۱	۰/۰۰۰۰۴
	روزهای بارشی	۱۲۵	۰/۰۰۰۷۲	۰/۰۰۰۰۸۰	۰/۰۰۰۰۷

جدول ۳. آزمون لون و t برای بررسی برابری واریانس و میانگین NO₂ در روزهای بارشی و بدون بارش

	آزمون لون				آزمون t				
	F	Sig.	t	df	Sig.	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
NO ₂	۱۲	۰/۰۰۰۴	۳/۹۰	۱۹۲/۷۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۳۱	۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴۷

بارش و آلودگی هوا مشاهده نشد. برای نمونه در روز ۱۲/۱۰/۲۰۱۸ مقدار ۹۶ میلی‌متر بارش ثبت شده است که بیشترین بارش ثبت شده در طول دوره آماری مورد بررسی این پژوهش در شهر تهران بوده است اما مقدار غلظت NO₂ در هوا ۰/۰۰۰۴۳۱ مول بر مترمربع بوده است. حال آنکه کمترین مقدار غلظت NO₂ در دوره آماری مطالعه شده

بررسی میانگین NO₂ در طبقات مختلف بارشی برای یافتن آستانه بارشی تأثیرگذار بر مقدار آلودگی (جدول ۴) نشان داد که قانونمندی خاصی در ارتباط با آستانه بارش و آلودگی وجود ندارد (شکل ۸). هرچند به صورت کلی میانگین آلودگی هوا در روزهای بارشی کمتر از روزهای بدون بارش است اما قانونمندی خاصی در ارتباط با مقدار



شکل ۸. میانگین NO₂ در طبقات بارشی متفاوت، (خط چین مقدار آلودگی هوا در طبقات مختلف بارشی و خط ممتد چندجمله‌ای برازش داده شده (درجه ۵) به آن را نشان می‌دهد)

ب- سرعت باد و آلودگی هوا

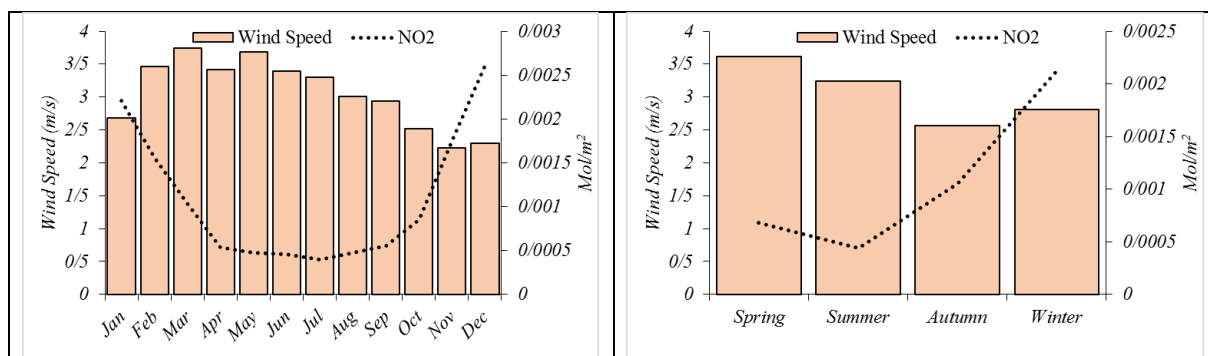
ویژگی‌های سرعت باد در شهر تهران طی دوره زمانی مورد مطالعه در شکل ۹ نشان داده شده است. در شهر تهران، میانگین سرعت باد متناسب با افزایش دما در ماه‌های گرم افزایش می‌یابد و در ماه‌های سرد کاهش پیدا می‌کند و می‌توان کمتر بودن سرعت باد در ماه‌های سرد را به دلایل افزایش آلودگی در این ماه‌ها اضافه نمود.

بررسی ارتباط آلودگی هوا (مقدار NO₂) و سرعت باد (شکل ۱۰ و جدول ۵) نشان می‌دهد که تنها در فصل زمستان ارتباط معنادار از نظر آماری بین آن‌ها وجود دارد و در سایر فصول ارتباط معناداری مشاهده نمی‌شود. نتایج آزمون همبستگی، کاهش معنادار آلودگی هوا در فصل زمستان را همزمان با افزایش سرعت باد نشان می‌دهد.

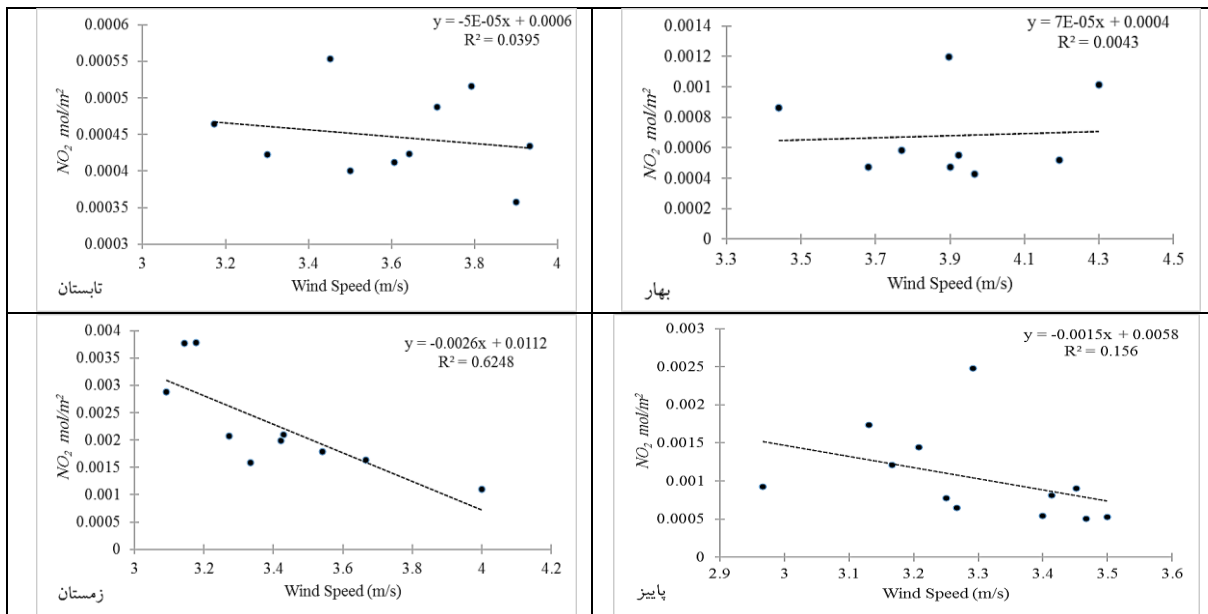
(۰/۰۰۰۰۸۶ مول بر مترمربع) مربوط به روز ۲۶/۱۰/۲۰۱۸ بوده است که مقدار بارندگی در آن روز ۰/۱۵ میلی‌متر بوده است از طرف دیگر در روز ۱۹/۱۲/۲۰۲۱ غلظت NO₂ برابر با ۰/۰۰۶۶۷۱ مول بر مترمربع بوده (یکی از بیشترین مقادیر ثبت شده برای غلظت NO₂) که در آن روز مقدار ۴ میلی‌متر بارش ثبت شده است. نمونه‌های این چنینی فراوان هستند و همین امر سبب شده است که نتوان نظم و قانونمندی خاصی بین مقدار بارش و مقدار آلودگی هوا مشاهده کرد.

جدول ۴. میانگین NO₂ در طبقات مختلف بارشی

طبقات بارشی	میانگین NO ₂
بدون بارش	۰/۰۰۱۰۳۴
۰ - ۰/۵	۰/۰۰۰۷۵۳
۰/۵ - ۱	۰/۰۰۰۵۳۵
۱ - ۱/۵	۰/۰۰۰۵۵۲
۱/۵ - ۲	۰/۰۰۰۷۰۸
۲ - ۲/۵	۰/۰۰۰۶۶۴
۲/۵ - ۳	۰/۰۰۱۰۶۴
۳ - ۳/۵	۰/۰۰۰۹۳۹
۳/۵ - ۴	۰/۰۰۰۴۶۱
۴ - ۴/۵	۰/۰۰۱۰۸۳
۴/۵ - ۵	۰/۰۰۰۵۰۸
۵ - ۵/۵	۰/۰۰۱۴۸۱
بیشتر از ۵/۵	۰/۰۰۰۶۱۳



شکل ۹. میانگین ماهانه و فصلی سرعت باد و NO₂ طی دوره زمانی مورد مطالعه در شهر تهران



شکل ۱۰. ارتباط تغییرات سرعت باد و NO₂ در شهر تهران در مقیاس فصلی

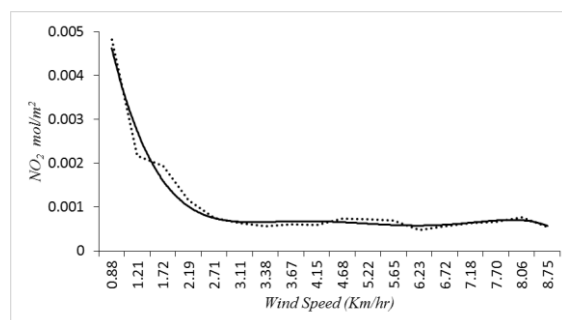
جدول ۵. همبستگی NO₂ و سرعت باد در شهر تهران در مقیاس فصلی

		سرعت باد			
		بهار	تابستان	پاییز	زمستان
NO ₂	Pearson Correlation	۰/۰۶۶	-۰/۱۹۹	-۰/۳۹۵	-۰/۷۹
	Sig. (2-tailed)	۰/۸۶۶	۰/۵۸۲	۰/۲۰۴	۰/۰۰۶

جدول ۶. میانگین NO₂ در طبقات مختلف سرعت باد

طبقات باد	NO ₂
۰.۵ - ۱	۰.۰۰۴۸۱۷۹۸
۱ - ۱.۵	۰.۰۰۲۱۷۹۲
۱.۵ - ۲	۰.۰۰۱۹۴۰۲۲
۲ - ۲.۵	۰.۰۰۱۱۶۱۳
۲.۵ - ۳	۰.۰۰۰۷۵۳۸۵
۳ - ۳.۵	۰.۰۰۰۶۲۰۹۴
۳.۵ - ۴	۰.۰۰۰۶۰۹۳۸
۴ - ۴.۵	۰.۰۰۰۵۹۲۹
۴.۵ - ۵	۰.۰۰۰۷۳۳۷۶
۵ - ۵.۵	۰.۰۰۰۷۳۰۸۳
۵.۵ - ۶	۰.۰۰۰۶۸۹۵۹
۶ - ۶.۵	۰.۰۰۰۴۷۷۸۹
۶.۵ - ۷	۰.۰۰۰۵۵۹۳۳
۷ - ۷.۵	۰.۰۰۰۶۳۹۶۹
۷.۵ - ۸	۰.۰۰۰۶۶۱۲۴
۸ - ۸.۵	۰.۰۰۰۷۷۴۱۳
۸.۵ - ۹	۰.۰۰۰۵۵۰۰۶

برای بررسی دقیق‌تر نقش باد در آلودگی هوا، میزان آلودگی در سرعت‌های متفاوت باد با فواصل ۰/۵ متر بر ثانیه مورد واکاوی قرار گرفت (جدول ۶). نتایج نشان داد افزایش سرعت باد در ابتدا به صورت خطی سبب کاهش شدید میزان آلودگی هوا می‌شود (شکل ۱۱)؛ ولی افزایش سرعت باد به بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه اثر کاهشی بیشتر بر آلودگی هوا ندارد و در سرعت‌های بالاتر از این مقدار میزان آلودگی تقریباً ثابت باقی می‌ماند.



شکل ۱۱. میانگین NO₂ در سرعت‌های مختلف باد، خط چین

مقدار آلودگی هوا در سرعت‌های متفاوت باد و خط ممتد چندجمله‌ای برازش داده شده (درجه ۵) به آن را نشان می‌دهد.

سرعتی بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه دارد مقدار آلودگی هوا ۵۹/۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند که این تفاوت از نظر آماری با اطمینان ۹۹ درصد معنادار است (جدول ۷ و ۸).

نتایج آزمون لون و t نشان داد که واریانس و میانگین NO₂ در روزهای با سرعت باد بیشتر و کمتر از ۲/۵ متر بر ثانیه برابر نیستند و مشخص شد که در روزهایی که باد

جدول ۷. ویژگی‌های آماری NO₂ در روزهای با سرعت باد بیشتر و کمتر از ۲/۵ متر بر ثانیه طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ در تهران

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
NO ₂	روزهای با باد کمتر از ۲/۵ متر بر ثانیه	۳۷۳	۰/۰۰۱۶۲	۰/۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۰۷
	روزهای با باد بیشتر از ۲/۵ متر بر ثانیه	۷۰۴	۰/۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۰۲

جدول ۸. آزمون لون و t برای بررسی برابری واریانس و میانگین NO₂ در روزهای با سرعت باد بیشتر و کمتر از ۲/۵ متر بر ثانیه

	آزمون لون				آزمون t				
	F	Sig.	t	df	Sig.	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
NO ₂	۲۵۹	۰/۰۰۰	۱۲/۲۶	۴۴۴/۴۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۹۶	۰	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱۱۱

هوا می‌شود اما تغییر مقدار بارش سبب تغییرات معنادار در مقدار آلودگی هوا نمی‌شود. همچنین نتایج این پژوهش مشخص ساخت، باد نقش تأثیرگذارتر و قانون‌مندتری در کاهش آلودگی هوای تهران دارد، به این صورت که افزایش سرعت باد، کاهش مقدار آلودگی هوا را در پی خواهد داشت. با افزایش سرعت باد از ۰/۵ تا ۲/۵ متر بر ثانیه، مقدار آلودگی هوا به صورت خطی و با شیب زیاد کاهش پیدا می‌کند و پس از آن مقدار آلودگی هوا تقریباً ثابت خواهد ماند. بادهای با سرعت بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه تأثیر بیشتر بر کاهش آلودگی هوا ندارند. به بیان ساده‌تر آستانه باد برای کاهش آلودگی ۲/۵ متر بر ثانیه است. همچنین مشخص شد در روزهایی که باد سرعتی بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه دارد، مقدار آلودگی هوا به صورت معنادار حدود ۵۹/۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت که نقش باد در کاهش آلودگی به مراتب بیشتر از نقش بارش است. این نتیجه با نتایج Akbari و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی آلودگی شهر مشهد هماهنگ اما با نتایج Popek و همکاران (۲۰۱۹) متفاوت است که نقش بارش در تغییرات تجمع ذرات معلق را بیشتر از اثر باد دانسته‌اند. این تضاد به ویژگی‌های محلی مناطق مورد مطالعه

بحث و نتیجه‌گیری

منابع اصلی آلوده‌کننده هوا در تهران شامل تراکم ترافیک (مرکز شهر) و صنایع خودروسازی و تولید سوخت (عمدتاً در غرب، جنوب غرب و جنوب تهران) هستند که در مسیر ورود باد غالب به داخل شهر قرار دارند و ارتفاعات شمال، شمال شرق و شرق تهران مانع خروج آن‌ها از شهر خواهند شد. همین امر تجمع بیشتر آلودگی‌ها در نیمه شرقی تهران را سبب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که تجمع و ماندگاری آلودگی هوا در مناطق مرکزی متمایل به شمال شرق تهران به بیشینه مقدار خود می‌رسد و مقدار این آلودگی در ماه‌های سرد بیشتر از ماه‌های گرم است. نتایج با Afarideh et al., 2022; Shahbazi et al., 2016 و Ashrafi, 2012 هماهنگ است.

در این پژوهش، نقش بارش و باد به صورت مجزا در تغییرات مقدار آلودگی هوا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقدار آلودگی در روزهای بارشی به صورت معنادار حدود ۳۱ درصد کمتر از روزهای بدون بارش است اما رابطه منطقی و معناداری بین مقدار بارش و آهنگ کاهش آلودگی هوا مشاهده نشد؛ به عبارت دیگر بارش سبب کاهش آلودگی

و زمانی که سرعت باد به حد آستانه برسد سبب تخلیه آلودگی از شهر خواهد شد. نتایج کار Shamsipour و همکاران (۲۰۱۲) از واکاوی خروجی‌های مدل نیز نشان داد سرعت و جهت باد در موقعیت مکانی تهران، مهم‌ترین عامل اقلیمی تأثیرگذار در پراکنش آلودگی هوا است.

یادداشت‌ها

1. <https://scihub.copernicus.eu/>
2. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_NRTI_L3_NO2

بازمی‌گردد. منطقه مورد مطالعه Popek و همکاران پردیس اصلی دانشگاه ولونگونگ (University of Wollongong) در منطقه ساحلی جنوب شرق سیدنی بوده که در اطراف آن و در مسیر باد غالب هیچ‌گونه توپوگرافی خاصی وجود نداشته است، لذا بیشتر بودن اثر بارش در کاهش تجمع ذرات معلق قابل توجیه است. این در حالی است که احاطه شدن شهر تهران به وسیله ارتفاعات در شمال، شمال شرق و شرق و دقیقاً در مسیر باد غالب علاوه بر تمرکز ذرات معلق و آلودگی در آن، سبب پیچیده‌تر شدن مشکل آلودگی آن نیز شده است

فهرست منابع

- Afarideh, F. Ramasht, M. Mortyn, P. (2022). Temporal-spatial analysis of air quality index in Tehran during the period of 10 years. *Physical Geography Research Quarterly*, 53(4), 447-463.
- Ahmadi, H., Ahmadi, T., Shahmoradi, B., Mohammadi, S., Kohzadi, S. (2015). The effect of climatic parameters on air pollution in Sanandaj, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 3(1), 49-61. doi: 10.22102/jaehr.2015.40185
- Akbari, E. Fakheri, M. Pourgholamhasan, E. Akbari, Z. (2015). Monthly Zoning of the Air Pollution and Surveying its Relationship with Climatic Factors (Case Study: Mashhad City). *Journal of Natural Environment*, 68(4), 533-547.
- Akbary, M. Kermani, A. & Alijani, B. (2018). Simulation and Analysis of Polluted Days in Tehran. *International Journal of Environmental Research*, 12(1), 67-75.
- Akpinar, E. K. Akpinar, S. & Öztıp, H. F. (2009). Statistical analysis of meteorological factors and air pollution at winter months in elaziğ Turkey. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 3(1), 7-16.
- Ashrafi, K. (2012). Determining of spatial distribution patterns and temporal trends of an air pollutant using proper orthogonal decomposition basis functions. *Atmospheric Environment*, 47, 468-476.
- Ashrafi, K. Ahmadi Orkomi, A. (2014). Atmospheric stability analysis and its correlation with the concentration of air pollutants: A case study of a critical air pollution episode in Tehran. *Iranian Journal of Geophysics*, 8(3),
- Cuhadaroglu, B. & Demirci, E. (1997). Influence of some meteorological factors on air pollution in Trabzon city. *Energy and Buildings*, 25(3), 179-184.
- de Vries, J. Voors, R. Ording, B. Dingjan, J. Veefkind, P. Ludewig, A. & Aben, I. (2016, August). TROPOMI on ESA's Sentinel 5p ready for launch and use. In *Fourth international conference on remote sensing and geoinformation of the environment (RSCy2016)* (Vol. 9688, p. 96880B). International Society for Optics and Photonics.
- Feng, X. Wei, S. & Wang, S. (2020). Science of the Total Environment Temperature inversions in the atmospheric boundary layer and lower troposphere over the Sichuan Basin, China : Climatology and impacts on air pollution. *Science of the Total Environment*, 726, 138579.
- Gastwirth, J. L. Gel, Y. R. & Miao, W. (2009). The Impact of Levene's Test of Equality of Variances on Statistical Theory and Practice. *Statistical Science*, 24(3), 343-360.
- Ghannadi, M., Shahri, M., Moradi, A. (2022). Air pollution monitoring using Sentinel-5 (Case study: Big industrial cities of Iran). *Environmental Sciences*, 20(2), .
- Gharibi S, Shayesteh K. 2021 Application of Sentinel 5 satellite imagery in identifying air pollutants Hotspots in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. *jsaeh*. 8 (3):123-138
- Habeebullah, M. (2013) An Investigation of the Effects of Meteorology on Air Pollution in Makkah. *Assiut University bulletins Environmental Researches*, 16, 64-85.
- Heger, M. & Sarraf, M. (2018). Air pollution in Tehran: Health costs, sources, and policies. *World Bank*.

- Hoque, M. M. Ashraf, Z. Kabir, H. Sarker, E. & Nasrin, S. (2020). Meteorological influences on seasonal variations of air pollutants (SO₂, NO₂, O₃, CO, PM_{2.5} and PM₁₀) in the Dhaka Megacity. *Am. J. Pure Appl. Biosci*, 2, 15–23.
- https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_NRTI_L3_NO2
- <https://scihub.copernicus.eu/>
- Ialongo, I., Virta, H., Eskes, H., Hovila, J., & Douros, J. (2020). Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO₂ observations with ground-based measurements in Helsinki. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(1), 205–218.
- Judd, L. M., Al-Saadi, J. A., Szykman, J. J., Valin, L. C., Janz, S. J., Kowalewski, M. G., ... & Williams, D. (2020). Evaluating Sentinel-5P TROPOMI tropospheric NO₂ column densities with airborne and Pandora spectrometers near New York City and Long Island Sound. *Atmospheric measurement techniques*, 13(11), 6113–6140.
- Leili M, Bahrami Asl F, Hesam M, Molamahmoudi M, Salahshour Arian S. Estimation of Diseases and Mortality Attributed to Atmospheric NO₂ and SO₂ Using AirQ Model in Hamadan City, Iran. *Avicenna Journal of Clinical Medicine*. 2017; 23 (4):314-322
- Liu, Y. Zhou, Y. & Lu, J. (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific Reports*, 1–11.
- Popek, R. Haynes, A. Przybysz, A. & Robinson, S. A. (2019). How much does weather matter? Effects of rain and wind on PM accumulation by four species of Australian native trees. *Atmosphere*, 10(10), 633.
- Pourtaheri, M. (2013). *Applied statistical analysis in geographical sciences* (1st edition). Ghomes.
- Rangzan K, Kabolizadeh M, Mohammadi S. Assessment of Spatiotemporal Changes of NO₂ Using TROPOMI Sensor in Khuzestan Province, Iran. *Journal of health system research HSR*. 2021; 17 (2) :87-96.
- Rigby, M. & Toumi, R. (2008). London air pollution climatology: Indirect evidence for urban boundary layer height and wind speed enhancement. *Atmospheric Environment*, 42(20), 4932–4947.
- Shahbazi H, Hosseini V, Torbatian S, Hamed M. Assessment of Emission Reduction Scenarios with a Focus on the Impact of Vehicle Fleets on Tehran Air Quality: Case Study. *Transportation Research Record*. 2019;2673(5):197-207.
- Shamsipour, A. Ashrafi, E. Alikhah asl, M. Ashrafi, K. (2016). Modeling the distribution of suspended particles in the south of Tehran by the model of AERMOD, (A Case Study of Tehran cement factory). *Journal of Environmental Studies*, 41(4), 799-814.
- Shamsipour, A., Hosseinpour, Z., Najibzadeh, F. (2012). Synoptic Analysis and Thermodynamic Modeling for Air Pollution of PM₁₀ in Tehran. *Journal of Climate Research*, 1391(12), 77-95.
- Shariepour, Z. Aliakbari Bidokhti, A. (2014). An Investigation on the Status of Troposphere NO₂ Over Iran During 2004 to 2012. *Journal of Environmental Studies*, 40(1), 65-78.
- Shojaaddini, M., Moosavian, A., Yousefi Siahkalroodi, S. (2020). Comparison of the Effect of Social Restrictions on Covid-19 pandemic on Nitrogen Dioxide Pollutant in Five Wildlife Refuges and their Large Neighboring Cities in Iran. *Journal of Animal Environment*, 12(3), 449-456.
- Sohrabinia, M. & Khorshiddoust, A. M. (2007). Application of satellite data and GIS in studying air pollutants in Tehran. *Habitat International*, 31(2), 268–275.
- Tomasi, C. Fuzzi, S. & Kim, G. R. (2017). *Atmospheric Aerosols Life Cycles and Effects on Air Quality and Climate*.
- Vafa-Arani, H. Jahani, S. Dashti, H. Heydari, J. & Moazen, S. (2014). A system dynamics modeling for urban air pollution: A case study of Tehran, Iran. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 21-36.
- Vallero, D. (2014). *Fundamentals of air pollution, fifth edition. Fundamentals of Air Pollution, Fifth Edition*.
- Van Geffen, J., Boersma, K. F., Eskes, H., Sneep, M., Ter Linden, M., Zara, M., & Veefkind, J. P. (2020). S5P TROPOMI NO₂ slant column retrieval: Method, stability, uncertainties and comparisons with OMI. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(3), 1315-1335.
- Yang, J. & Fu, X. (2020). *The centre of city: Wind environment and spatial morphology. The Centre of City: Wind Environment and Spatial Morphology*.