بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

اثر ضریب تهویه بر انتشار آلاینده‌های جوی شهر تهران

فریضه بیات و حسین پناهی فر

دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، بلوار استاد یوسف ثبوتی، پلاک ۴۴۴، زنجان، ۴۵۱۳۷۶۶۷۳۱، ایران.

bayat.farize@gmail.com و h.panahifar@iasbs.ac.ir

چکیده – در این پژوهش به تعیین عوامل طبیعی در دوره‌های آلودگی جوی و میزان انتشار آلاینده‌های شهر تهران طی یک دوره آلودگی پرداخته شده است. ضریب تهویه به عنوان عامل طبیعی موثر در انتشار آلاینده‌ها، ابتدای بازه آلودگی ۲۵ دسامبر ۲۰۲۰ الی ۵ ژانویه ۲۰۲۱ میلادی در شهر تهران به بیش از مقدار آستانه شرایط تهویه جوی رسیده است. از این رو با ایجاد این موقعیت، آلاینده‌های شهر تهران در جهت باد جابه‌جا شده و شهرهای استان قم و سمنان را نیز تحت تاثیر قرار داده‌اند. با بررسی داده‌های لیدار فضایی CALIOP در یک روز از این دوره آلودگی مشخص شد که سهم آلاینده‌های جوی در بعضی ارتفاعات به بیش از ۶۰٪ کل هواویزها می‌رسد.

کلید واژه- آلاینده جوی، اُمی، تهران، ضریب تهویه، کالیپسو.

Ventilation coefficient effect on air pollutant emission of Tehran city

Farizeh Bayat, and Hossein Panahifar

Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, No. 444 Prof. Sobouti Blvd., Zanjan 4513766731, Iran.

bayat.farize@gmail.com, and h.panahifar@iasbs.ac.ir

Abstract- Natural factors in air pollution periods and amount of pollutant emission in Tehran during a specific pollution period have been investigated in this study. Ventilation coefficient as a natural factor affecting the emission of pollutants has reached more than the threshold of air ventilation conditions at the beginning of the pollution period from December 25, 2020, to January 5, 2021 in Tehran city. Therefore, suitable ventilation conditions caused the pollutants in Tehran city have move along the wind direction and also affected the cities of Qom and Semnan provinces. Referring to the CALIOP space-lidar recordings in one day of this pollution period, it was found that the air pollutants share in some altitudes reaches more than 60% of all aerosols.

Keywords: Air pollutant, OMI, Tehran, Ventilation coefficient, CALIPSO.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

مقدمه

وقوع آلودگی جوی شهری در تهران پدیده‌ای شناخته شده است. مطالعات فراوانی پیرامون علت، نوع و روند تغییرات ذرات آلاینده موجود در جو، و همچنین اثرات مستقیم و غیر مستقیم آلودگی جوی شهری در تهران صورت گرفته است [۱ و ۲]. اما همچنان پاسخی جهت تعیین سهم فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی برای دوره‌های آلودگی جوی شهری در تهران و میزان تاثیر آلودگی جوی این شهر بر مناطق اطراف در دسترس نیست. هدف این پژوهش، یافتن پاسخی برای این موارد است. در این مقاله چگونگی تاثیر آلودگی جوی شهر تهران بر نواحی اطراف در دوره آلودگی ۲۵ دسامبر ۲۰۲۰ الی ۵ ژانویه ۲۰۲۱ میلادی بررسی شده است.

ابتدا در این پژوهش، ارتباط مقدار آلاینده‌ها و عوامل طبیعی شهر تهران طی بازه ژانویه ۲۰۱۵ الی اوت ۲۰۲۱ میلادی بررسی شده است. سپس با مطالعه عوامل هواشناسی و میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از مدل و داده‌های ماهواره‌ای، پارامترهای اپتیکی مربوط به ذرات معلق جوی در یک بازه خاص از آلودگی شهر تهران محاسبه شده است. در ادامه پس از معرفی داده‌ها و نحوه محاسبات، به بیان نتایج به دست آمده و بحث در مورد آن‌ها پرداخته خواهد شد.

ضریب تهویه

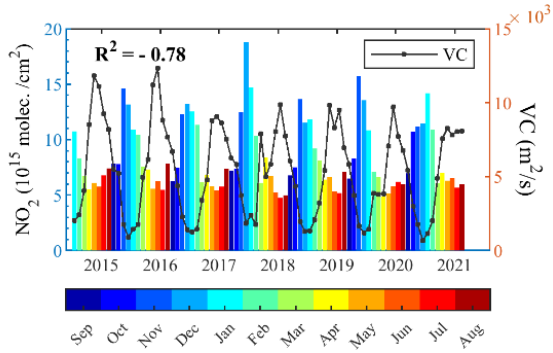
ضریب تهویه (VC) از حاصل ضرب ارتفاع لایه مرزی و میانگین سرعت باد در نزدیکی سطح زمین محاسبه می‌شود. این پارامتر به عنوان یک عامل طبیعی، نقش مهمی در رقیق‌سازی و حذف آلاینده‌های جوی دارد. در صورتی که ضریب تهویه به بیش از $۶۰۰۰\frac{m^2}{s}$ برسد و سرعت باد سطحی نیز از $۴\frac{m}{s}$ فراتر رود، پتانسیل جو برای تهویه هوا افزایش می‌یابد و در نتیجه آلاینده‌ها جابه‌جا می‌شوند [۳].

مجموعه داده‌ها و روش انجام محاسبات

در این مطالعه از اندازه‌گیری‌های سنجنده OMI و TROPOMI برای پایش غلظت گاز آلاینده دی‌اکسید نیتروژن استفاده شده است [۴]. اطلاعات مربوط به توزیع هواویزها در ستون قائم جو از اندازه‌گیری‌های ماهواره CALIPSO استخراج شده است [۵]. همچنین با اعمال روش POLIPHON بر اندازه‌گیری‌های لیدار فضابرد CALIOP، نوع هواویزهای دسته‌بندی شده و نمایه قائم ویژگی‌های نوری و فیزیکی آن‌ها محاسبه شده است [۱ و ۶]. اطلاعات مربوط به باد و ارتفاع لایه مرزی از خروجی مدل تجزیه مجدد ECMWF ERA5 استخراج شده است [۷]. علاوه بر این‌ها، از نتایج اندازه‌گیری زمینی غلظت ذرات معلق و گازهای ثبت شده توسط شرکت کنترل کیفیت هوای تهران نیز استفاده شده است.

نتایج

میانگین ماهانه NO_2 استخراجی از سنجنده OMI و VC بیشینه در شکل ۱، به خوبی چرخه تکرار سالانه را در شهر تهران نشان می‌دهند.

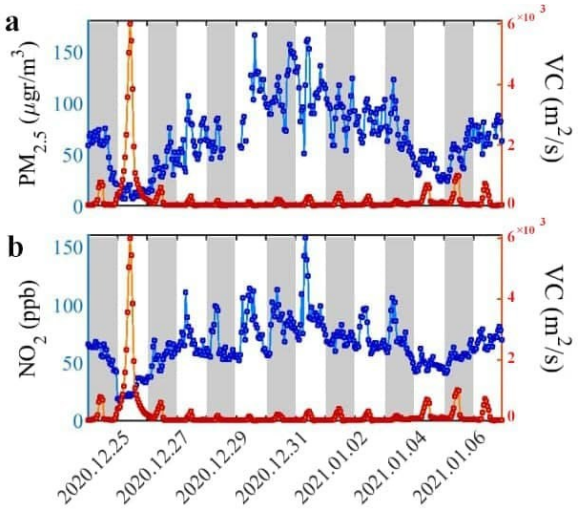


شکل۱: نمودار ماهانه NO_2 استخراجی سنجنده OMI و ضریب تهویه بیشینه شهر تهران طی بازه ژانویه ۲۰۱۵ الی اوت ۲۰۲۱ میلادی.

ضریب همبستگی داده‌های ماهانه NO_2، و ضریب تهویه (۰/۷۸-) نشان می‌دهد که در زمان افزایش میزان گاز آلاینده NO_2، ضریب تهویه به عنوان عامل طبیعی کاهش

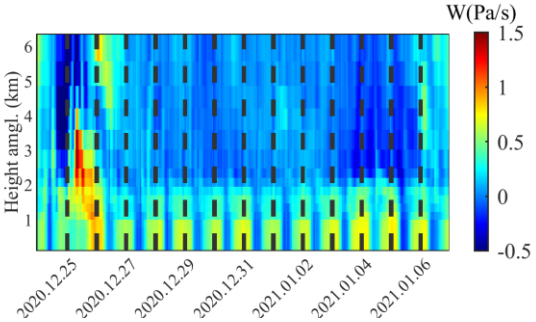
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

می‌یابد. در صورتی که طی بازه‌های زمانی رویدادهای آلودگی، شرایط جوی برای تهویه فراهم شود، جو آن منطقه جهت رقیق‌سازی خود، آلاینده‌ها را جابه‌جا می‌کند. ابتدای یکی از این پدیده‌های نادر در شهر تهران طی روزهای آلوده ۲۵ دسامبر ۲۰۲۰ الی ۵ ژانویه ۲۰۲۱ چنین شرایطی به وجود آمده است. مطابق با شکل ۲، مقدار میانگین $PM_{2.5}$ و NO_2 طی این دوره آلودگی $۶۹/۸۶ \frac{\mu gr}{m^3}$ و $۶۵/۶۵\ ppb$ است که در روز ۳۱ دسامبر به بیشینه مقدار خود یعنی $۱۵۸ \frac{\mu gr}{m^3}$ و $۱۶۶\ ppb$ می‌رسند. همان گونه که در این شکل مشخص است، ضریب تهویه شهر تهران در روز ۲۵ دسامبر ساعت ۱۰UTC به بیش از $۶۰۰۰ \frac{m^2}{s}$ می‌رسد.

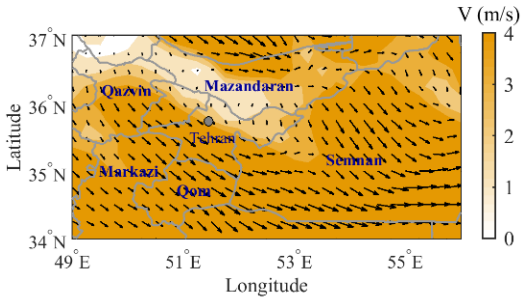


شکل ۲: نمودار ساعتی آلاینده‌های a) $PM_{2.5}$ و b) NO_2 دریافتی از شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران طی بازه ۲۴ دسامبر ۲۰۲۰ الی ۶ ژانویه ۲۰۲۱ میلادی.

با بررسی نمایه باد قائم در زمان آلودگی، مشاهده می‌شود که دقیقا طی روز ۲۵ دسامبر و به خصوص ساعت ۱۰UTC در ارتفاع حدود ۲ تا ۳/۵ کیلومتر، باد افزایش می‌یابد و یک جریان هوایی از ارتفاع‌های بالاتر به سمت زمین حرکت می‌کند (شکل ۳). نمایه باد سطحی ساعت ۱۰ UTC در شکل ۴ نیز نشان می‌دهد که در شهر تهران سرعت باد به بیش از $۶ \frac{m}{s}$ رسیده، بنابراین شرایط جوی برای تهویه مناسب است. از این رو، مقدار زیادی از آلاینده‌ها در جهت وزش باد جا به جا می‌شوند.

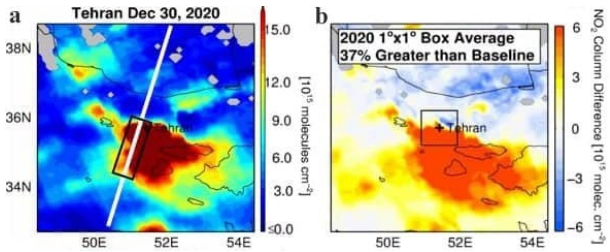


شکل ۳: نمایه باد قائم استخراج شده از مدل ECMWF طی بازه ۲۴ دسامبر ۲۰۲۰ الی ۶ ژانویه ۲۰۲۱ میلادی به صورت ساعتی. خط‌چین‌های مشکی ساعت 0 UTC در هر روز را نشان می‌دهند.



شکل ۴: نمایه باد سطحی استخراج شده از مدل ECMWF با حد تفکیک ۰/۲۵ درجه در ساعت UTC ۱۰ روز ۲۵ دسامبر ۲۰۲۰ میلادی.

توزیع فضایی آلاینده NO_2 استخراج شده از سنجنده OMI برای روز ۳۰ دسامبر ۲۰۲۰ و اختلاف آن نسبت به مدت مشابه ۵ سال قبل در شکل ۵ رسم شده است.



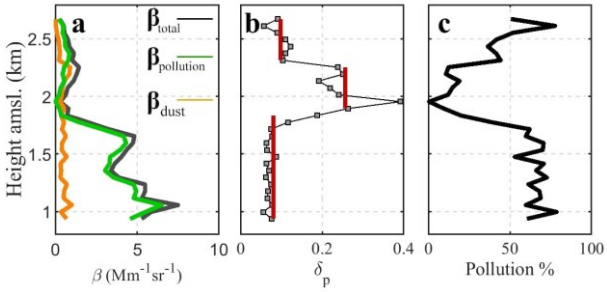
شکل ۵: a) توزیع فضایی NO_2 استخراجی سنجنده OMI در روز ۳۰ دسامبر ۲۰۲۰ و گذر CALIPSO، b) اختلاف توزیع فضایی NO_2 نسبت به میانگین NO_2 در مدت مشابه ۵ سال قبل (۲۰۱۵-۲۰۱۹).

در این روز مقدار NO_2 نسبت به مدت مشابه ۵ سال قبل ۳۷ درصد افزایش یافته و به دلیل شرایط جوی ایجاد شده

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

برای تهویه، آلاینده‌های شهر تهران تا مناطق جنوب، جنوب شرق و شرق استان تهران نیز کشیده شده‌اند.

داده‌های لیدار CALIOP در روز ۳۰ دسامبر ۲۰۲۰ میلادی، نشان می‌دهند که ۳ لایه متعدد هواویزی در ارتفاع‌های ۰/۹۳ تا ۱/۸۳، ۱/۸۹ تا ۲/۲۵ و ۲/۳۱ تا ۲/۶۷ کیلومتر وجود دارند.



شکل ۶: نمایه قائم a) ضریب پس‌پراکنش ۵۳۲nm ، b) ضریب واقطبش و c) درصد آلودگی در گذر عبوری CALIPSO روز ۳۰ دسامبر ۲۰۲۰ بر فراز استان تهران.

ضریب پس‌پراکندگی این لایه‌ها به طور میانگین (sr^{-1} Mm^{-1}) ۴/۴ ، ۰/۹ و ۰/۷ و میانگین ضریب واقطبش آن‌ها به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۲۶ و ۰/۱ است. با اعمال روش POLIPHON [۱ و ۶]، سهم هواویزهای مربوط به آلودگی در هر کدام از لایه‌ها ۶۱/۳۲، ۱۱/۲۶ و ۴۹/۱۶ درصد می‌باشد.

بحث در نتایج

با بررسی ضریب تهویه به عنوان یکی از عوامل مهم طبیعی طی دوره‌های آلودگی جوی شهری، می‌توان به تاثیر آن در پخش و پراکندگی آلاینده‌ها پی برد. در این پژوهش، پس از بررسی ضریب تهویه شهر تهران طی دوره آلودگی ۲۵ دسامبر ۲۰۲۰ الی ۵ ژانویه ۲۰۲۱ میلادی به چگونگی تاثیر آلودگی جوی این شهر بر نواحی اطراف طی این دوره پرداخته شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که افزایش مقدار ضریب تهویه منجر به حرکت آلاینده‌های شهر تهران به سمت مناطق جنوبی، جنوب شرقی و شرق استان تهران شده است، به طوری که شهرهای استان قم و سمنان را تحت تاثیر قرار داده‌اند. ویژگی‌های نوری و فیزیکی این آلاینده‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره CALIPSO نشان می‌دهند که سهم آلاینده‌ها در بعضی ارتفاعات به بیش از ۶۰ درصد کل هواویزهای موجود می‌رسد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، از مرکز تحقیقاتی NASA، ECMWF و همچنین شرکت کنترل کیفیت آلودگی شهر تهران تشکر و قدردانی کنند.

مرجع‌ها

[1] H. Panahifar, R. Moradhaseli, and H. R. Khalesifard, "Monitoring atmospheric particulate matters using vertically resolved measurements of a polarization lidar, in-situ recordings and satellite data over Tehran, Iran", Sci. Rep., Vol. 10, No. 1, pp. 1-15, 2020.

[2] N. Najafpour, H. Afshin, and B. Firoozabadi, "The 20–22 february 2016 mineral dust event in Tehran, Iran: Numerical modeling, remote sensing, and in situ measurements", J. Geophys. Res. Atmos., Vol. 123, No. 10, pp. 5038-5058, 2018.

[3] L. Chan, Q. H. Deng, W. W. Liu, B. L. Huang, and L. Z. Shi, "Characteristics of ventilation coefficient and its impact on urban air pollution", J. Central South University, Vol. 19, No. 3, pp. 615-622, 2012.

[4] J. P. Veefkind, I. Aben, K. McMullan, H. Forster, J. De Vries, G. Otter, J. Claas, H. J. Eskes, J. F. De Haan, Q. Kleipool, and M. Van Weele, "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 Sens. Environ., Vol. 120, No. 3, pp. 70-83, 2012.

[5] W. H. Hunt, D. M. Winker, M. A. Vaughan, K. A. Powell, P. L. Lucker, and C. Weimer, "CALIPSO lidar description and performance assessment", J. Atmos. Ocean. Technol., Vol. 26, No. 7, pp. 1214-1228, 2009.

[6] R. E. Mamouri, and A. Ansman, "Fine and coarse dust separation with polarization lidar", Atmos. Meas. Tech., Vol. 7, No. 11, pp. 3717-3735, 2014.

[7] H. Hersbach, "The ERA5 Atmospheric Reanalysis", AGU., Vol. 2016, pp. NG33D-01, 2016.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]