



Sharif University of Technology

<https://sjce.journals.sharif.edu>



Research Article

Investigating the Ratio of $\text{Pm}_{2.5}$ to Pm_{10} Particle Concentration in Tehran City and Compiling an Index for the Occurrence of Dust

Zohreh Zeynadini Mansorabadi and Yousef Rashidi*

Environmental Research Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Iran

* corresponding author: (z.zeynadini@mail.sbu.ac.ir)

Article Info

Article history:

Received: 3 February 2024

Revised: 26 April 2024

Accepted: 14 May 2024

Keywords:

Air pollution,
suspended particles,
 $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} ,
dust

Abstract

Suspended particles are known as one of the most important and common pollutants worldwide. Since dust storms are related to suspended particles, the current research examines the ratio of average concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} suspended particles and determines an index for dust occurrence. In this study, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} particle concentration data at 3 monitoring stations of the Tehran Municipality Air Quality Control Organization (Tarbiat Modares, Piroozzi and Sharif stations) in 1396-1402 (2018-2023) were used, and by extracting AOD data from the Giovanni site and determining dust days, and finally comparing it with data from the Barcelona Regional Dust Center, the accuracy of dust days was ensured. The results show that the average concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} and the $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ratio on dusty days are higher than this value on dust-free days. The daily changes in the average concentration of particulate matter at the selected stations show that in most cases, the changes in the concentration of particulate matter are similar and both increase and decrease together, but the rate of change is not the same. Depending on the origin of particulate matter production, their ratio can be used to determine the dust index. On most days, the average PM_{10} concentration of the station is higher than the dust level obtained from the data of the Barcelona Regional Dust Center, because the air quality measurement stations measure the amount of particulate matter emitted from natural and artificial sources together, but the data of the Barcelona Regional Dust Center shows the amount of dust. From the $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ratio, it can be concluded that dust is present if this ratio is less than 0.4. According to the results of the research and the days with dust in 1396 (2018) in the month of Ordibehesht, 1397 (2019) in the months of Ordibehesht and Mehr, 1398 (2020) in the month of Mehr, 1399 (2021) in the months of Esfand and Farvardin, 1400 (2022) in the months of Ordibehesht, Mordad and Azar, and 1401 (2023) in the month of Tir; therefore, it can be concluded that dust often occurs in spring and autumn, then in summer, and finally in winter.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

To Cite this article:

Zeynadini Mansorabadi, Z. and Rashid, Y. 2025. Investigating the Ratio of $\text{Pm}_{2.5}$ to Pm_{10} Particle Concentration in Tehran City and Compiling an Index for the Occurrence of Dust, Sharif Civil Engineering Journal, 41, 1, pp.39-47.
<https://doi.org/10.24200/sjce.2024.63380.3288>

بررسی نسبت غلظت ذرات $PM_{2.5}$ به PM_{10} در شهر تهران و تدوین شاخصی برای رخداد گردوغبار

زهره زین‌الدینی منصورآبادی* و یوسف رشیدی

پژوهشکده‌ی علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول (z.zeynadini@mail.sbu.ac.ir)

چکیده

ذرات معلق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین آلاینده‌ها در سراسر جهان شناخته شده‌اند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی نسبت میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}/PM_{10}$ و تعیین شاخصی برای گردوغبار است. لذا از داده‌های غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ۳ ایستگاه پایش شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران (ایستگاه‌های تربیت مدرس، پیروزی، و شریف) در سال‌های ۱۳۹۶-۱۴۰۲ (۲۰۱۸-۲۰۲۳) استفاده شده است. در مرحله‌ی بعد، برای تعیین روزهای دارای گردوغبار، داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از سایت Giovanni استخراج شده‌اند. درنهایت، روزهای دارای گردوغبار با داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا مقایسه شدند، تا میزان عمق نوری آئروسول‌ها، که پس از آن گردوغبار وجود دارد، تعیین شود. نتایج نشان داد که میانگین غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} و نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در روزهای دارای گردوغبار بیشتر از این مقدار در روزهای بدون گردوغبار بوده است. با توجه به منشأ تولید ذرات معلق می‌توان از نسبت آن‌ها برای تعیین شاخص گردوغبار استفاده کرد. از نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ می‌توان نتیجه گرفت در صورتی که نسبت مذکور کمتر از ۰/۴ باشد، گردوغبار وجود دارد. با توجه به نتایج پژوهش و روزهای دارای گردوغبار در سال‌های: ۱۳۹۶ (۲۰۱۸) در ماه اردیبهشت، ۱۳۹۷ (۲۰۱۹) در ماه اردیبهشت و مهر، ۱۳۹۸ (۲۰۲۰) در ماه مهر، ۱۳۹۹ (۲۰۲۱) در ماه‌های اسفند و فروردین، ۱۴۰۰ (۲۰۲۲) در ماه‌های اردیبهشت، مرداد، و آذر و در ۱۴۰۱ (۲۰۲۳) در ماه تیر رخ داده‌اند؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که گردوغبار اغلب در بهار و پاییز و بعد در تابستان و درنهایت در زمستان رخ می‌دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۳/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

واژگان کلیدی:

آلودگی هوا،

ذرات معلق،

 $PM_{2.5}$ ، PM_{10} ،

گردوغبار.

۱. مقدمه

۱.۱. بیان مسئله

گسترش روزافزون و بی‌رویه‌ی شهرها، به‌همراه توسعه‌ی سریع اقتصادی و در نتیجه، افزایش مصرف انرژی باعث ایجاد مشکلات متعدد زیست‌محیطی برای ساکنین شده است. آلودگی هوای شهرها، یکی از مهم‌ترین معضلات مذکور بوده است، که تهدیدی دائم و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و همچنین محیط‌زیست است.^[۱]

داده‌های بین‌المللی حاکی از آن است که منشأ ذرات معلق کاهنده‌ی کیفیت هوای تنفس، هم می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسانی باشند و هم سرچشمه‌ی طبیعی داشته باشند. حمل‌ونقل، نیروگاه‌های سوختی، کشاورزی، سوزاندن پسماندها، و فعالیت‌های صنعتی دیگر، از یک سو و شن‌های صحرایی از سوی دیگر، عامل‌های اصلی وجود ذرات معلق در هوا به‌شمار می‌روند. هند و چین به ترتیب بیشترین میزان آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در جهان را دارند.^[۲]

کشور ایران از جمله مناطقی است که به‌دلیل نزدیکی به بیابان‌های بزرگ دنیا،

مانند صحرای عربستان و عراق، تحت تأثیر ورود طوفان‌های گردوغبار قرار دارد. مناطق غرب و جنوب غرب ایران، بیشترین نفوذپذیری را از طوفان‌های گردوغبار دارند، که دلیل آن قرارگرفتن در پهنه‌ی کمربند گردوغبار، که شروع آن از کرانه‌ی غربی آفریقای شمالی است و با عبور از خاورمیانه و آسیای مرکزی و جنوبی تا چین ادامه دارد.^[۳ و ۴]

شهر تهران، پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، و مرکز استان تهران است. براساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر غرب آسیاست.^[۵] کلان‌شهر تهران نیز دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. این شهر با مختصات جغرافیایی ۳۵° ۴۱' شمالی و ۵۱° ۲۳' شرقی با مساحت ۲۲۳۵ کیلومتر و ارتفاع بین ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ متر در دامنه‌ی جنوبی البرز واقع شده است. تهران اقلیم نیمه‌خشک دارد.^[۶] شمال شهر به‌دلیل ارتفاع بیشتر، خنک‌تر از دیگر مناطق شهر است. همچنین بافت نامتراکم، وجود باغ‌های کهن، بوستان‌ها، فضای سبز حاشیه‌ی بزرگراه‌ها و کم‌بودن فعالیت‌های صنعتی در شمال شهر کمک کرده‌اند تا هوای مناطق شمالی به‌طور متوسط ۲ تا ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد خنک‌تر از مناطق جنوبی شهر

استناد به این مقاله:

زین‌الدینی منصورآبادی، زهره و رشیدی، یوسف، ۱۴۰۴. بررسی نسبت غلظت ذرات $PM_{2.5}$ به PM_{10} در شهر تهران و تدوین شاخصی برای رخداد گردوغبار. مهندسی عمران شریف، ۴۱(۱)، صص ۳۹-۴۷. <https://doi.org/10.24200/j30.2024.63380.3288>



نوع مخلوط در نزدیکی Hu Line و نوع انسانی در دشت‌های شمال چین و شهرهای جنوبی غالب بوده است.^[۱۰]

مونیر^۴ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی نسبت‌های $PM_{2.5}/PM_{10}$ ، تنوع زمانی و مکانی قابل‌توجهی را در انگلستان نشان داده‌اند، میانگین ۵ ساله از ۰/۴ تا ۰/۸ متغیر بوده است، که منجر به میانگین کلی ۰/۶۵ شده است. نتایج پژوهش ایشان نشان داده است که نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در چند سایت نظارتی در بریتانیا افزایش یافته است، علی‌رغم این واقعیت که هر دو سطح $PM_{2.5}$ و PM_{10} عمده‌تاً کاهش یافته‌اند. با این حال، روند در نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ به‌طور متوسط در ۴۶ سایت نظارت ناچیز بوده است. روند نسبت‌های $PM_{2.5}/PM_{10}$ در فصول مختلف متفاوت بوده است: بهار روند مثبت و معنی‌دار و زمستان روند منفی معنی‌دار را نشان داده است، در حالی که روند مذکور در پاییز و تابستان ناچیز بوده است.^[۱۱]

وانگ^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، برای پایش و نظارت بر نسبت غلظت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در چین، داده‌های یک سایت پس‌زمینه در تابستان و زمستان را در یک دوره ۶ ساله (۲۰۰۱-۲۰۰۶) جمع‌آوری کرده و دریافته‌اند که سطوح $PM_{2.5}$ در پکن در سال‌های مذکور نسبتاً بالا بوده است، و به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از میانگین استاندارد روزانه‌ی آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده‌ی آمریکا (USEPA) بوده است.^[۱۲]

داوطلب و همکاران (۲۰۲۳)، برای ارزیابی مکانی- زمانی غلظت جرم ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} و نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در ۱۶ ایستگاه پایش آلودگی هوای EPA در لیوانی طی ۱۷ سال (۲۰۰۵-۲۰۲۲)، تجزیه‌وتحلیل انجام داده‌اند. پژوهش مذکور، مقیاس‌های زمانی مختلف و پس‌زمینه‌های مختلفی از جمله: شهری، صنعتی، حمل‌ونقل، و روستایی را برای کشف روندهای مکانی- زمانی در نظر گرفته است. میزان انتشار $PM_{2.5}$ و PM_{10} در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۱/۲۶ و ۱/۰۶ درصد نسبت به سال اولیه (۲۰۰۵) کاهش داشته است. بیشترین میزان انتشار مربوط به ذرات معلق PM_{10} برابر با ۱۹/۴۹ (Gg) و ذرات معلق $PM_{2.5}$ برابر با ۸/۵۳ (Gg) در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۶ بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داده‌اند که در سال ۲۰۱۳، $PM_{2.5}$ و PM_{10} و نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ کاهش قابل‌توجهی داشته است و همچنین ذرات معلق PM_{10} در مناطق روستایی به‌دلیل افزایش انتشارات کشاورزی، روند افزایشی قابل‌توجهی داشته است؛ کمترین کاهش ذرات معلق PM_{10} ۰/۰۶ میکروگرم بر مترمکعب در سال برای پس‌زمینه‌ی شهری و بیشترین کاهش در سال ۲۰۰۵ به میزان ۰/۵۸ میکروگرم بر مترمکعب در سال (۵۷٪) در پایتخت مشاهده شده است. کمترین کاهش ذرات معلق $PM_{2.5}$ ۰/۰۸ میکروگرم بر مترمکعب در سال در شهر کلایپدا^[۱۳] بوده است.

اسپاندانا^۷ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تخمین نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ را از ۸ مکان شهری هند با سطوح مختلف شهرنشینی مشخص کردند. اندازه‌گیری‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در پنج سال (۲۰۱۵-۲۰۱۹) و داده‌های هواشناسی (دمای محیط، رطوبت نسبی، و سرعت باد) برای درک تغییرپذیری مکانی و زمانی در نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ استفاده شده است. در مناطق مطالعه‌شده، میانگین فصلی نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ بین ۰/۳۱±۰/۰۸ (میانگین

باشد. جهت باد غالب، شمال‌غرب به جنوب‌شرق است، که باعث می‌شود سمت غرب شهر تهران همواره در معرض هوای تازه قرار گیرد؛ با وجود اینکه باد مذکور دود و آلودگی نواحی صنعتی غرب را به‌همراه می‌آورد، وزش شدید آن می‌تواند هوای آلوده را از شهر تهران بیرون ببرد.^[۷] از آنجا که ذرات معلق^۱، یکی از عوامل آلودگی هوای کلان‌شهر تهران هستند، بنابراین مطالعه‌ی آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد.

۲.۱. ذرات معلق و گردوغبار

ذرات معلق به تمامی اجزاء ریزمایع یا جامدی (به جز آب خالص) اطلاق می‌شود که در جو زمین پراکنده هستند و اندازه‌ی میکروسکوپی یا ریزمیکروسکوپی، اما بزرگ‌تر از ابعاد مولکولی دارند.^[۸]

گردوغبار^۲ یا ریزگرد، توده‌ای از ذرات جامد ریز غبار و گاه دود و غیره است، که در جو پخش می‌شود و دید افقی را بین ۱ تا ۲ کیلومتر محدود می‌کند و برای بیماران تنفسی بسیار زیان‌آور است و حیات روی کره‌ی زمین را از جهت‌های مختلفی متأثر می‌سازد. چرخه‌ی گردوغبار، بخش مهمی از سیستم کره‌ی زمین است. سالانه ۲۰۰۰ تن گردوغبار گسیل می‌شود، که ۷۵٪ آن روی خاک و ۲۵٪ آن روی اقیانوس ته‌نشین می‌شود و فرایند اخیر در چرخه‌ی انرژی، آب، و کربن اثر می‌گذارد.^[۹]

۲. تاریخچه‌ی پژوهش

فن^۳ و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی نسبت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف در سرزمین چین بررسی کرده‌اند؛ که در آن میانگین غلظت جرمی سالانه‌ی $PM_{2.5}$ در سال‌های: ۲۰۱۵ برابر با ۴۸/۶۳، ۲۰۱۶ برابر با ۴۵، ۲۰۱۷ برابر با ۴۲/۹۱، و ۲۰۱۸ برابر با ۳۸/۰۸ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. همچنین، میانگین غلظت جرمی برای PM_{10} به‌ترتیب در سال‌های: ۲۰۱۵ برابر با ۸۵/۱۳، ۲۰۱۶ برابر با ۸۰/۷۷، ۲۰۱۷ برابر با ۷۸/۷۶، و ۲۰۱۸ برابر با ۷۴/۳۷ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. با توجه به استانداردهای کیفیت هوای محیط چین، حد متوسط سالانه‌ی غلظت $PM_{2.5}$ برابر با $35 \mu g m^{-3}$ و PM_{10} برابر با $70 \mu g m^{-3}$ بوده است. بدین ترتیب میانگین سالانه‌ی غلظت $PM_{2.5}$ در سال‌های: ۲۰۱۵ برابر با ۳۸/۹٪ و در ۲۰۱۸ برابر با ۸/۸٪ و میانگین سالانه‌ی غلظت PM_{10} در سال‌های ۲۰۱۵ برابر با ۲۱/۶٪ و در ۲۰۱۸ برابر با ۶/۲٪، از استاندارد فراتر رفته است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهند که نسبت ذرات معلق در فصول مختلف متغیر بوده است. $PM_{2.5}$ در زمستان زیاد و در تابستان کاهش یافته است، در حالی که PM_{10} در زمستان و بهار زیاد و در پاییز و تابستان کم شده است؛ به بیان دیگر نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در زمستان بالاترین و در بهار کمترین میزان بوده است. نسبت بالاتر $PM_{2.5}/PM_{10}$ در زمستان عمده‌تاً ناشی از انتشار بیشتر توسط وسایل گرمایشی و شرایط آب و هوایی راکدتر و در مقابل، نسبت کمتر در تابستان به‌دلیل بارش‌های بیشتر و طوفان‌های شن بوده است. نکته‌ی مهم دیگر بررسی اخیر در ارتباط با نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ است، که هر ساله کاهش یافته و مستقل از غلظت PM تغییر کرده و اطلاعاتی در مورد گردوغبار ارائه داده است. بنا به تفاسیر اخیر، نوع گردوغبار طبیعی عمده‌تاً در غرب استان Hu Lin،

⁵ Wang

⁶ Klaipeda Šilutės pl

⁷ Spandana

¹ Particulates

² Dust

³ Fan

⁴ Munir

مملو از PM را از طریق نوار فیلتر به داخل می‌کشد و در نتیجه PM را روی نوار فیلتر به دام می‌اندازد. در پایان چرخه‌ی اندازه‌گیری، تعداد پرتوهای بتا (I_p) دوباره در نوار فیلتر دارای PM اندازه‌گیری و نسبت I_p برای تعیین چگالی جرمی PM جمع‌آوری شده بر روی نوار فیلتر استفاده شده است.

۲.۳. اطلاعات ماهواره - سنجنده‌ی MODIS

سنجنده‌ی MODIS^۲، ۳۶ باند طیفی با قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیت بین طول موج‌های ۰/۴-۱۴/۴ میکرون دارد. سنجنده‌ی مودیس در ۲ باند دارای تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، در ۵ باند دارای تفکیک مکانی ۵۰۰ متر، و در ۲۹ باند دارای تفکیک ۱۰۰۰ متر است. مودیس برنامه‌ی گسترده‌ای است که با استفاده از حسگرهای روی دو ماهواره‌ی Aqua و Terra پوشش کاملی از زمین ارائه می‌کند. از آنجایی که سنجنده‌ی مودیس در هر دو ماهواره نصب است، به‌طور کلی به‌دست‌آوردن تصاویر در صبح از ماهواره‌ی ترا و در عصر از ماهواره‌ی آکوا برای هر مکانی امکان‌پذیر است.^[۱۵] سنجنده‌ی مودیس، یکی از بهترین داده‌های ماهواره‌ای برای بررسی مشخصات و مسیر حرکت و طوفان‌های گردوغبار است.^[۱۶]

۳.۳. اطلاعات عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها (AOD)

عمق نوری آئروسول، یکی از پارامترهای مهم در مطالعه‌ی گردوغبار است؛ که در واقع، به توزیع آئروسول‌های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها، معیاری برای انهدام پرتو خورشیدی توسط گردوغبار و مه است. به‌عبارت دیگر، ذرات موجود در اتمسفر (گردوغبار، دود، و آلودگی) می‌توانند نور خورشید را با جذب یا پراکندگی مسدود سازند. عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها مشخص می‌کند که ذرات آئروسول چقدر از رسیدن نور مستقیم خورشید به زمین جلوگیری می‌کنند. عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها، یک عدد بدون بُعد است، که به مقدار آئروسول در ستون عمودی جو روی مکان مشاهده مربوط می‌شود (NOAA.GOV). فاصله‌ی عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو است. مقدار عمق نوری می‌تواند با تراکم تعداد آئروسول‌ها و ویژگی‌های ذرات متفاوت باشد. دامنه‌ی تغییرات عمق نوری ۰/۱ تا ۰/۲ برای شرایط هوای قاره‌ای صاف و ۰/۱ تا ۰/۵ برای هوای اقیانوسی صاف در نظر گرفته می‌شود. بیشتر بودن مقادیر عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از مقدار اخیر، نشان‌دهنده‌ی تراکم آئروسول‌ها در امتداد ستون عمودی هواست و به‌عبارتی، دید در امتداد آن ستون کم است. میانگین عمق نوری جهانی در شرایط عادی به‌علت وجود غبارهای نمک و ذرات ناشی از کانی‌ها حدود ۰/۳۲ برآورد شده است. در صورتی که گردوغبارهای عمده‌ی دنیا، عمق نوری در محدوده‌ی بین ۰/۳ تا ۲/۵ دارند، که بیانگر نقش مهم گردوغبارها در کاهش نور است. عمق نوری آئروسول‌ها معمولاً با افزایش طول موج کاهش می‌یابد و بنابراین، مقدار آن در تابش‌های طول موج بلند بسیار کمتر از تابش‌های طول موج کوتاه است.^[۱۶] داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها، هر سال بعد از مرتب‌سازی از بیشترین به کمترین مقدار، به‌صورت نمودار رسم شده‌اند تا قابل مقایسه با سال قبل و بعد باشند.

۴.۳. داده‌های سامانه‌ی Giovanni

سامانه‌ی Giovanni، در مرکز هوایی ناسا، یک محیط آنلاین (وب) برای نمایش و تجزیه و تحلیل پارامترهای ژئوفیزیکی است، که در آن منشأ (اصل داده‌ها) به‌راحتی قابل‌دسترس است. این مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی با

± (انحراف استاندارد) و 0.31 ± 0.65 متغیر بوده است. از نظر فصلی، بیشترین نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ در فصل زمستان مشاهده شده است.^[۱۴]

ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} در دوره‌ی طوفان چین (ماه می - ۲۰۱۷)، داده‌های غلظت ساعتی ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} را در دوره‌ی زمانی دوم تا پانزدهم ماه می از ۳۶۷ ایستگاه نظارت بر محیط‌زیست، که توسط وزارت حفاظت محیط‌زیست نگهداری می‌شوند، جمع‌آوری کرده و با دستگاه تضعیف بتا، که برای جمع‌آوری مداوم ذرات معلق و نظارت بر کیفیت هوا طراحی شده است، اندازه‌گیری انجام داده‌اند. سپس توزیع فضایی ذرات در پژوهش مذکور با استفاده از عمق نوری آئروسول‌ها (AOD) و داده‌های ماهواره‌ی ترا سنجنده‌ی مودیس با وضوح متوسط با طول موج ۵۵۰ نانومتر بررسی شده و نتایج نشان داده است که آلودگی گردوغبار از شمال چین به جنوب و از غرب به شرق کاهش یافته و براساس الگوهای میدان باد، صحرای آلکسا در غرب مغولستان داخلی و صحرای گوبی مغولستان، منابع اصلی گردوغبار در طول رویداد طوفان گردوغبار ماه می در سال ۲۰۱۷ بوده‌اند. همچنین مقایسه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از سنجنده‌ی مودیس با شبیه‌سازی مدل WRF-Chem تغییرات مکانی - زمانی گردوغبار را در سراسر آسیا تأیید کرده‌اند.^[۱۵]

۳. مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از اطلاعات ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مربوط به سازمان کنترل کیفیت هوای تهران، پارامتر عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌های ماهواره، و داده‌های مدل‌سازی مرکز منطقه‌ای گردوغبار در خاورمیانه بارسلونا استفاده شده است.

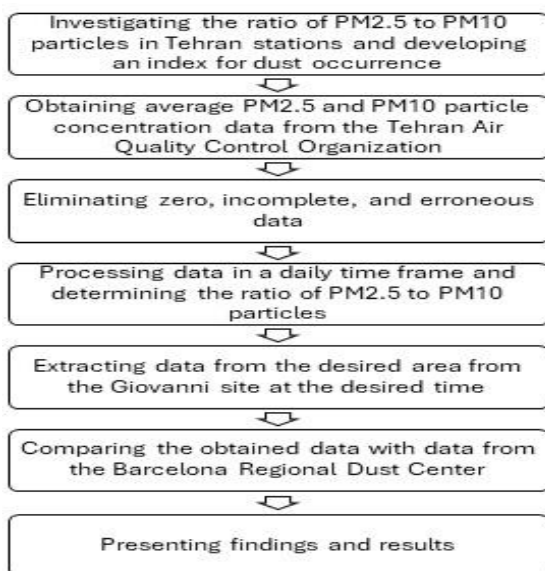
۱.۳.۳. اطلاعات ایستگاه‌ها و دستگاه سنجش

ایستگاه‌های استفاده‌شده برای سنجش میزان ذرات معلق، شامل ایستگاه‌های: تربیت مدرس، پیروزی، و شریف بوده‌اند، که زیر نظر شرکت کنترل کیفیت هوا هستند و دلیل انتخاب آن‌ها وجود داده‌های منطقی‌تر و نزدیک به واقعیت بوده است. موقعیت ایستگاه‌های مذکور به ترتیب در مناطق ۶، ۱۳، و ۲ تهران هستند.^[۱۵] در ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا، غلظت آلاینده‌های اصلی هوا، شامل: مونوکسیدکربن (CO)، ازن (O_3)، ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ ، گوگرد دی‌اکسید (SO_2) و اکسیدهای نیتروژن (NO ، NO_2 ، و NO_x)، به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری شده‌اند.

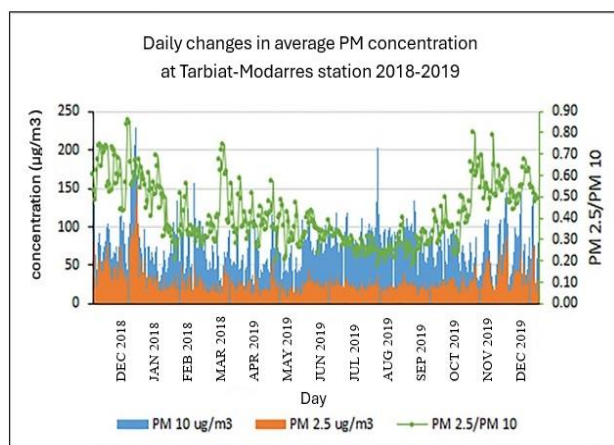
در هر سه ایستگاه مذکور از دستگاه نمونه‌گیر غلظت جرمی تضعیف بتای ۱۰۲۰ Met One Instruments BAM استفاده شده است. این دستگاه به‌طور خودکار، سطوح غلظت جرم ذرات محیط را با استفاده از اصل تضعیف اشعه‌ی بتا اندازه‌گیری و ثبت می‌کند. نمایشگر مذکور از سه بخش اصلی تشکیل شده است: واحد مرکزی، پمپ نمونه‌برداری، و سخت‌افزار ورودی نمونه‌برداری. روش ذکرشده، غلظت ذرات معلق در محیط را بر حسب mg/m^3 یا $\mu g/m^3$ فراهم می‌کند. یک عنصر کربن ۱۴ در داخل BAM ۱۰۲۰ منبع ثابتی از پرتوهای بتا را فراهم می‌کند. پرتوهای بتا، مسیری را طی می‌کنند که از طریق آن نوار فیلتر فیبر شیشه‌ای قبل از شناسایی با یک آشکارساز سوسوزن عبور داده می‌شود. در ابتدای چرخه‌ی اندازه‌گیری، تعداد پرتوهای بتا (I_p) در نوار فیلتر تمیز ثبت می‌شود. سپس، یک پمپ خارجی حجم مشخصی از هوای

² Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

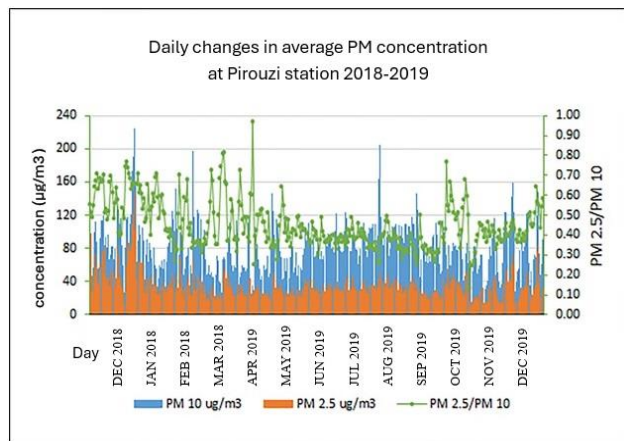
¹ Zhang



شکل ۱. فلوجارت مراحل پژوهش.



شکل ۲. نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه تربیت مدرس ۹۷-۱۳۹۶.



شکل ۳. نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه پیروزی ۹۷-۱۳۹۶.

برای ایستگاه تربیت مدرس بین ۰۸۶-۰۱۸، ایستگاه پیروزی ۰۹۷-۰۱۳ و ایستگاه شریف ۰۹۲-۰۲۰ متغیر بوده است. با توجه به مقایسه‌ی یک روز عادی و عاری از گردوغبار و یک روز دارای گردوغبار (شکل ۵) می‌توان نتیجه گرفت که نسبت میانگین غلظت روزانه‌ی ذرات درشت (PM_{10}) به ذرات ریز ($PM_{2.5}$) در روز گردوغباری کمتر بوده است، بنابراین گردوغبار بیشتر در

قدرت تفکیک زمانی < 0.5 ساعته، ۱ ساعته، ۳ ساعته، روزانه، و ماهانه است، که از سال ۲۰۰۰ تا کنون، از طریق اندازه‌گیری‌های صحرایی، ماهواره‌ای، و یک سری متغیرهای شبیه‌سازی شده به‌دست آمده‌اند.

نمودار سری زمانی استاندارد Giovanni با محاسبه‌ی میانگین‌های مکانی در ناحیه‌ی انتخاب‌شده توسط کاربر یک متغیر معین برای هر مرحله‌ی زمانی در محدوده‌ی مشخص‌شده توسط کاربر تولید و سپس مقدار میانگین بر حسب زمان رسم می‌شود تا خروجی سری زمانی ایجاد شود.

۵.۳. مدل‌سازی گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا

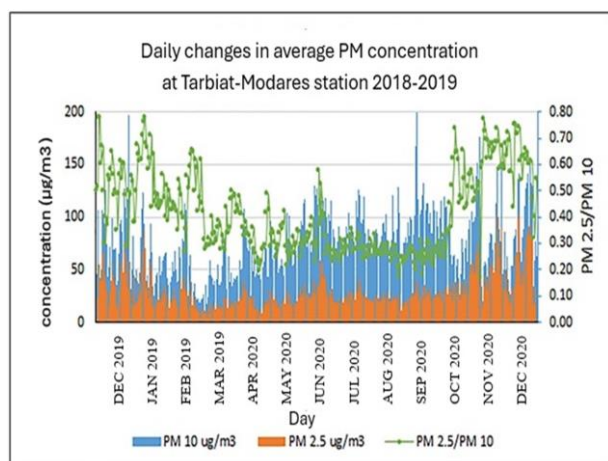
فعالیت‌های عملیاتی توسط مرکز منطقه‌ای پیش‌بینی گردوغبار بارسلونا (BDFC)، که در فوریه ۲۰۱۴ توسط آژانس هواشناسی دولتی اسپانیا (AEMET) و مرکز ابرمحاسبات بارسلونا (BSC) ایجاد شده است، برای انجام تعهد منعقدشده با سازمان جهانی هواشناسی (WMO) درخصوص میزبانی اولین مرکز هواشناسی تخصصی منطقه‌ای با تمرکز فعالیت در زمینه‌ی پیش‌بینی گردوغبار جوی (RSMC-ASDF)، انجام می‌شود. این مرکز به‌طور عملیاتی پیش‌بینی گردوغبار را برای شمال آفریقا (شمال خط استوا)، خاورمیانه، و اروپا تولید و توزیع می‌کند. مدل مرجع برای ارائه‌ی پیش‌بینی‌های عملیاتی گردوغبار به مرکز، مدل MONARCH است، که توسط مرکز ابرمحاسباتی بارسلونا توسعه یافته است. این مدل روزانه در رزولوشن افقی ۰/۱ درجه‌ی طول جغرافیایی در هر ۰/۱ درجه‌ی عرض جغرافیایی با لایه‌های عمودی بر روی حوزه‌ی موردنظر در زیرساخت‌های HPC اجرا می‌شود. اجرای اولیه در ابرکامپیوتر BSC MareNostrum IV با استفاده از منابع اختصاصی و ادغام پشتیبان به‌صورت روزانه با پیکربندی یکسان در مرکز ابر محاسباتی بارسلونا انجام می‌شود.

۴. بحث و تحلیل

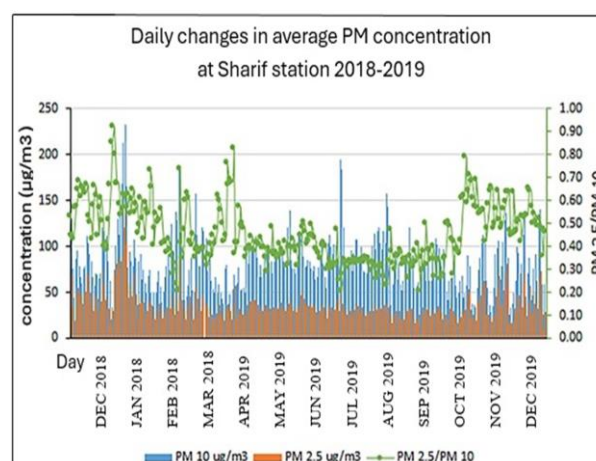
در پژوهش حاضر، جهت بررسی غلظت ذرات معلق و تعیین شاخص گردوغبار، ابتدا داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مناطق موردنظر از سایت شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران گرفته شد و بعد از حذف داده‌های پرت (داده‌های صفر، ناقص، و یا اشتباه) به‌صورت دستی، نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ محاسبه شد. در مرحله‌ی بعد، داده‌های سایت Giovanni با توجه به منطقه‌ی مطالعه‌شده (ایستگاه‌های: تربیت مدرس، پیروزی، و شریف) و زمان موردنظر (از سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲) استخراج و در نهایت با داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا مقایسه شدند. میانگین غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} از سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۲ (۲۰۲۳-۲۰۱۸) به‌صورت روزانه از سایت شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استخراج و نسبت ذرات $PM_{2.5}/PM_{10}$ محاسبه شده است. مراحل مختلف پژوهش در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

۵. نتایج

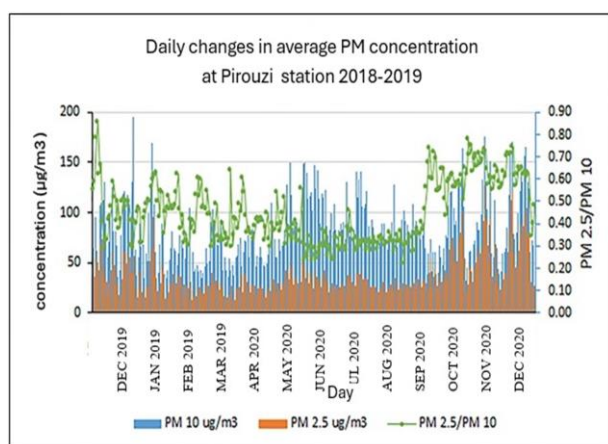
در شکل‌های ۲ الی ۴، تغییرات روزانه‌ی میانگین غلظت PM در سه ایستگاه سنجش کیفیت هوا در سال ۹۷-۹۶ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن‌ها، مقدار میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاه تربیت مدرس بین مقدار کمینه و بیشینه‌ی $9 \mu g/m^3$ تا $153 \mu g/m^3$ در ایستگاه پیروزی $10 \mu g/m^3$ تا $148 \mu g/m^3$ و در ایستگاه شریف $9 \mu g/m^3$ تا $146 \mu g/m^3$ متغیر بوده است، میانگین غلظت برای PM_{10} در ایستگاه تربیت مدرس $24 \mu g/m^3$ تا $229 \mu g/m^3$ ایستگاه پیروزی $27 \mu g/m^3$ تا $224 \mu g/m^3$ و ایستگاه شریف $21 \mu g/m^3$ تا $232 \mu g/m^3$ بوده است. بنابراین نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$



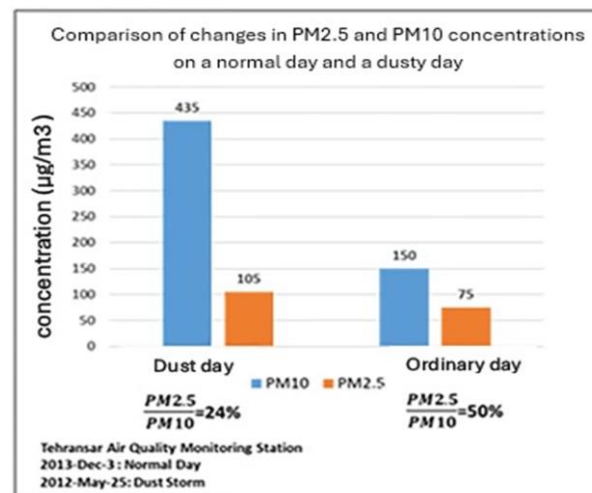
شکل ۶. نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه تربیت مدرس ۹۸-۱۳۹۷.



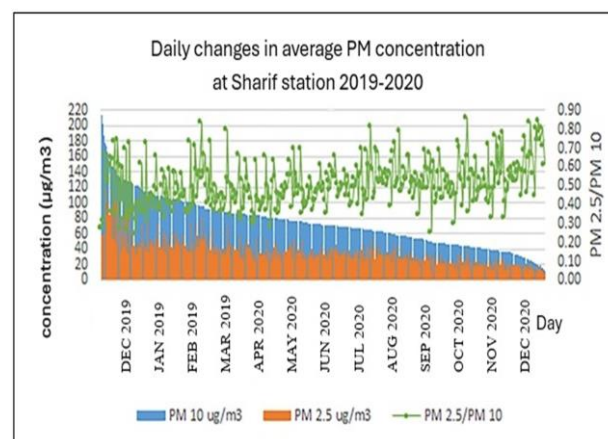
شکل ۴. نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه شریف ۹۷-۱۳۹۶.



شکل ۷. نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه پیروزی ۹۸-۱۳۹۷.



شکل ۵. مقایسه تغییرات غلظت های PM_{10} و $PM_{2.5}$ در روزهای عادی و دارای گردوغبار (رشیدی، ۱۴۰۰).



شکل ۸. نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه شریف ۹۸-۱۳۹۷.

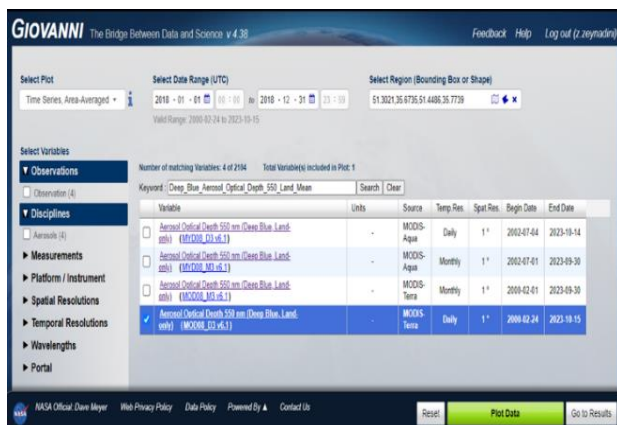
غلظت $PM_{2.5}$ و PM_{10} بوده است، که می تواند به دلیل کاهش آلودگی هوا بوده باشد.

تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در سه ایستگاه سنجش کیفیت هوا در سال ۹۸-۹۹ در شکل های ۹ الی ۱۱ مشاهده می شود. در سال مذکور، مقدار میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاه تربیت مدرس، کمینه و بیشینه $\mu g/m^3$ ۹۷-۹۷ و در ایستگاه پیروزی $\mu g/m^3$ ۸-۹۴، و در ایستگاه شریف $\mu g/m^3$ ۹۷-۹۷

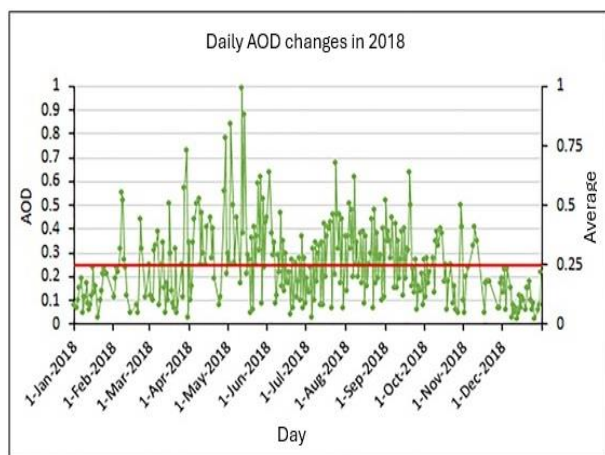
ماه های فروردین، اردیبهشت، تیر، مرداد، شهریور، و مهر که نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ کمتر از ۰/۴ است، رخ داده است.

در شکل های ۶ الی ۸، تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در سه ایستگاه سنجش کیفیت هوا در سال ۹۷-۹۸ مشاهده می شود؛ که مطابق آن ها، مقدار میانگین غلظت $PM_{2.5}$ در ایستگاه تربیت مدرس بین دو مقدار کمینه و بیشینه $\mu g/m^3$ ۵-۱۰۲، در ایستگاه پیروزی $\mu g/m^3$ ۱-۱۲۶، و در ایستگاه شریف $\mu g/m^3$ ۸-۱۱۹ متغیر بوده است، میانگین غلظت برای PM_{10} در ایستگاه تربیت مدرس بین $\mu g/m^3$ ۱۸-۱۹۹، ایستگاه پیروزی $\mu g/m^3$ ۳۱-۳۱۹، و ایستگاه شریف $\mu g/m^3$ ۱۳-۲۱۴ بوده است. بنابراین نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ برای ایستگاه تربیت مدرس بین ۰/۱۷-۰/۷۸، ایستگاه پیروزی ۰/۲۳-۰/۸۶، و ایستگاه شریف ۰/۲۵-۰/۸۶ متغیر بوده است. بنابر اطلاعات و نمودارهای موجود، گردوغبار بیشتر در ماه های اردیبهشت، تیر، شهریور، و مهر رخ داده است، که تقریباً مشابه سال قبل بوده است؛ ولی با این تفاوت که در ایستگاه تربیت مدرس نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ از ۰/۱۸-۰/۸۶ به مقدار ۰/۷۸-۰/۷۸-۰/۷۸ کاهش یافته و در ایستگاه پیروزی و شریف، مقدار کمینه نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ ، به ترتیب از ۰/۱۳ و ۰/۲۰ به ۰/۲۳ و ۰/۲۵ افزایش و مقدار بیشینه آن به ترتیب از ۰/۹۷ و ۰/۹۲ به مقدار ۰/۸۶ کاهش یافته است، که دلیل کاهش مقدار کمینه و بیشینه در ایستگاه تربیت مدرس، کاهش میزان

بررسی نسبت غلظت ذرات $PM_{2.5}$ به PM_{10} در شهر تهران و تدوین شاخصی برای رخداد گردوغبار - زهره زین الدینی منصورآبادی و همکار



شکل ۱۲. نمایی از داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از سایت Giovanni (giovanni.gsfc.nasa.gov).



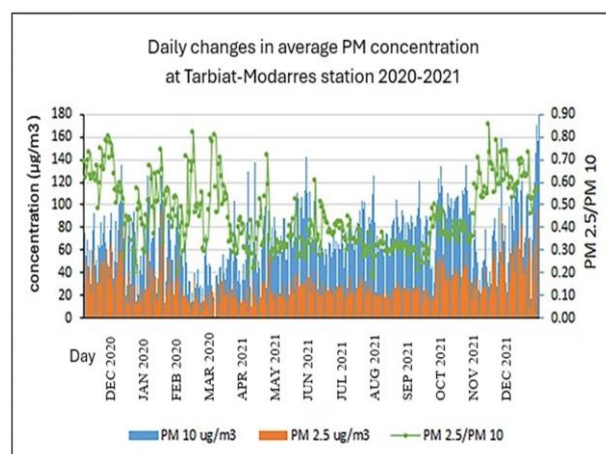
شکل ۱۳. نمودار تغییرات روزانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸.

است، که تقریباً مشابه سال قبل بوده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که گردوغبار در ماه‌های خاصی از سال و با مقدار $PM_{2.5}/PM_{10}$ تقریباً مشابه رخ داده است.

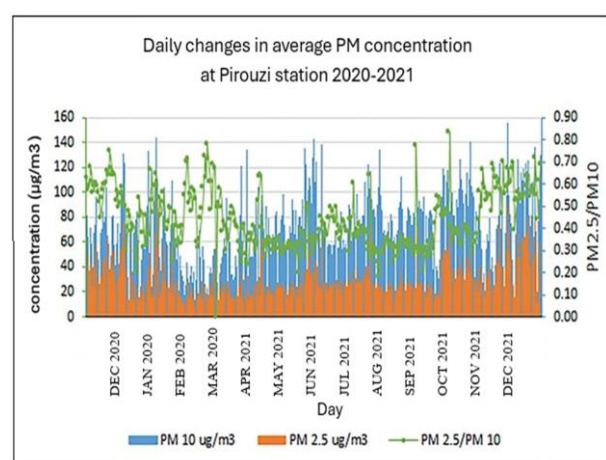
در مرحله‌ی بعد باید روزهای دارای گردوغبار مشخص شوند، که این موضوع با استفاده از داده‌های عمق نوری آئروسول‌ها (AOD) تعیین شده است. داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها را می‌توان از سایت Giovanni استخراج کرد. نمای کلی از داده‌های استخراج‌شده از سایت Giovanni در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود.

در شکل ۱۳، تغییرات روزانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، میزان عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در ماه‌های آوریل، می، و ژوئن بیشترین مقدار را داشته است، که معادل ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، و تیر است، که با داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مطابقت داشته است. مقدار متوسط سالانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸، ۰/۲۵ بوده است. میزان بالای عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها، نشان‌دهنده‌ی ذرات معلق بیشتر در هواست و به عنوان شاخص گردوغبار استفاده می‌شود.

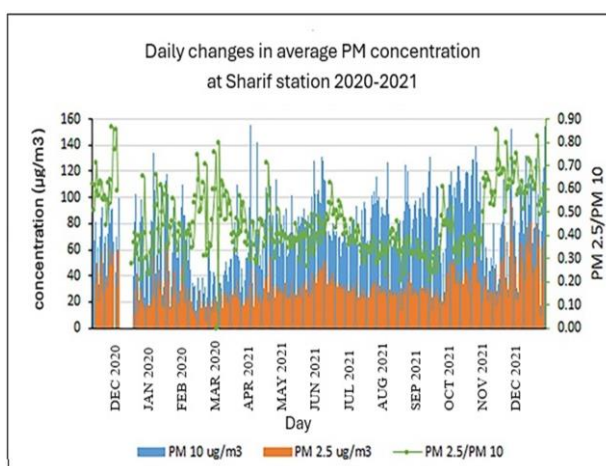
تغییرات روزانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹ در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، میزان عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در ماه‌های می و اکتبر بیشترین مقدار را داشته است، که معادل ماه‌های اردیبهشت،



شکل ۹. نمودار تغییرات روزانه‌ی میانگین غلظت PM در ایستگاه تربیت‌مدرس ۹۹-۱۳۹۸.



شکل ۱۰. نمودار تغییرات روزانه‌ی میانگین غلظت PM در ایستگاه پیروزی ۹۹-۱۳۹۸.

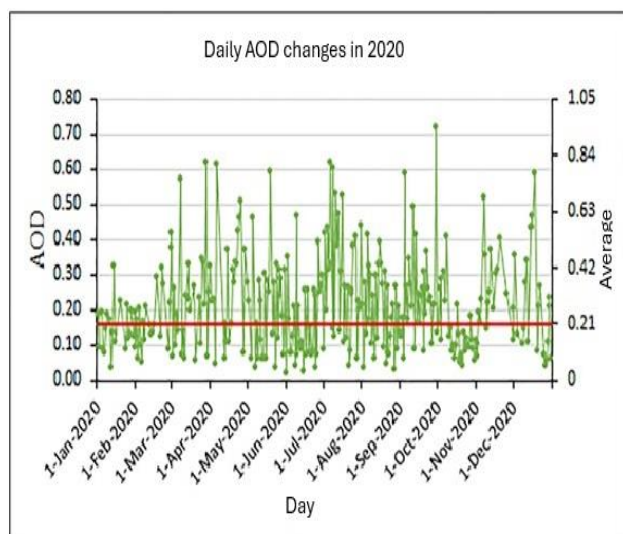


شکل ۱۱. نمودار تغییرات روزانه‌ی میانگین غلظت PM در ایستگاه شریف ۹۹-۱۳۹۸.

تغییر داشته است. همچنین، میانگین غلظت برای PM_{10} در ایستگاه تربیت مدرس بین $12-171 \mu g/m^3$ ، ایستگاه پیروزی $14-156 \mu g/m^3$ ، و ایستگاه شریف $13-155 \mu g/m^3$ بوده است. بنابراین نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ برای ایستگاه تربیت مدرس بین $0/17-0/86$ ، برای ایستگاه پیروزی $0/18-0/84$ ، و ایستگاه شریف $0/21-0/86$ متغیر بوده است. با توجه به اطلاعات و نمودارهای موجود، گردوغبار بیشتر در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور و اسفند رخ داده

جدول ۱. میزان گردوغبار به‌دست‌آمده از مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا، Giovanni و ایستگاه‌های هواشناسی.

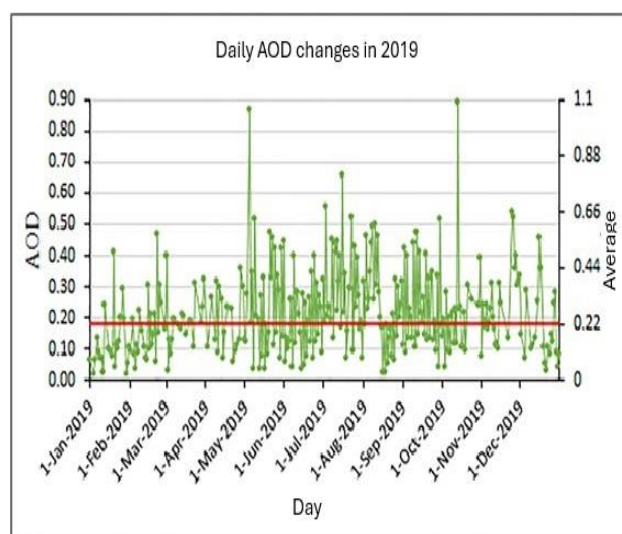
Date		Giovanni	Barcelona	Tarbiat-Modarres			Pirouzi			Sharif		
		عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها	Dust ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5} / PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5} /PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5} / PM ₁₀
2018	12-May	0.99	109.06	41	109	0.38	27	107	0.25	-	-	-
	14-May	0.88	65.82	32	87	0.37	36	85	0.42	-	-	-
2019	13-Oct	0.89	85.37	30	115	0.26	30	109	0.28	26	47	0.55
	4-May	0.87	104.7	30	91	0.33	29	90	0.32	37	85	0.44
2020	29-Sep	0.72	140.5	22	88	0.25	22	81	0.27	23	85	0.27
2021	17-Mar	1.10	119.63	53	159	0.33	49	143	0.34	66	155	0.43
	9-Apr	0.98	119.09	36	114	0.32	38	108	0.35	43	98	0.44
2022	8-May	0.98	63.28	58	337	0.17	68	327	0.21	-	-	-
	9-Dec	0.91	-	76	101	0.75	94	137	0.69	-	-	-
	27-Jul	0.90	164.47	52	182	0.29	68	212	0.32	79	211	0.37
	7-May	0.88	104.56	56	175	0.32	51	166	0.31	-	-	-
2023	26-Jan	0.83	114.77	82	134	0.61	83	134	0.62	84	133	0.63



شکل ۱۵. نمودار تغییرات روزانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۲۰.

پس از مشخص شدن روزهای دارای گردوغبار برای تعیین حدی از عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها، که پس از آن گردوغبار وجود دارد، از داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا استفاده شده است. در واقع، داده‌های مرکز ذکرشده برای راستی‌آزمایی روزهای دارای گردوغبار است. اطلاعات مربوط به داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا در جدول ۱ ارائه شده است.

در اغلب روزها، میانگین غلظت ذرات معلق PM_{10} ایستگاه بیشتر از مقدار گردوغبار (Dust) به‌دست‌آمده از داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا بوده است؛ به این دلیل که ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا، مقدار ذرات معلق



شکل ۱۴. نمودار تغییرات روزانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹.

خرداد، مهر، و آبان است؛ که می‌توان گفت تقریباً با داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مطابقت داشته است. مقدار متوسط سالانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹، ۰/۲۲ بوده است.

تغییرات روزانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۲۰ در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، میزان عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در ماه‌های آپریل، می، و اکتبر بیشترین مقدار را داشته است، که معادل ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر، و آبان است؛ که می‌توان گفت تقریباً مشابه داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا بوده‌اند. مقدار متوسط سالانه‌ی عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۲۰، ۰/۲۱ بوده است.

هم افزایش و کاهش یافته‌اند؛ اما میزان تغییرات یکسان نبوده است. ذرات درشت معمولاً اغلب توسط فعالیت‌های طبیعی تولید می‌شوند و در مقابل ذرات ریز، منشأ انسانی دارند و همچنین اغلب از ذرات ثانویه ناشی می‌شوند. بنابراین، می‌توان از نسبت ذرات درشت به ریز به‌عنوان شاخص گردوغبار استفاده کرد. مقایسه‌ی یک روز عادی و عاری از گردوغبار و یک روز دارای گردوغبار بیانگر این است که نسبت میانگین غلظت روزانه‌ی ذرات درشت (PM_{10}) به ذرات ریز ($PM_{2.5}$) در روز گردوغباری کمتر است.

منتشرشده از منابع طبیعی و انسان‌ساز را با هم اندازه‌گیری می‌کنند، ولی داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا مقدار گردوغبار را نشان می‌دهند.

با توجه به داده‌های جدول ۱ می‌توان گفت زمانی که عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها بیشتر از ۰/۷ و نسبت $PM_{2.5}/PM_{10}$ کمتر از ۰/۴ باشد، گردوغبار وجود دارد.

تغییرات روزانه‌ی میانگین غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های منتخب نشانگر این است که در بیشتر موارد، تغییرات غلظت ذرات معلق مشابه بوده و هر دو با

References- منابع

1. Haqbayan, S. and Tashayo, B., 2020. Integrating ground-based air quality monitoring stations with mobile sensor units to improve the accuracy of $PM_{2.5}$ concentration modeling. *J. Sephr Geographical Information Research Quarterly*, 29 (116), pp.45-58 [In Persian]
<https://doi.org/10.22131/sephr.2021.242859>
2. WHO ambient air quality database, 2022 update: status report,
<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>
3. Anselin, L. and Syabri, I. & Kho, Y., 2005. GEODA: An introduction to spatial data analysis. *J. Geographical Analysis*, 38(1), pp.5-22
<https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
4. Goudie, A. & Middleton, N. 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *J. Earth-Science Reviews*, 56(1-4), pp.179-204.
[DOI:10.1016/S0012-8252\(01\)00067-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8).
5. world Urbanization Prospects 2018. United Nations. New York. 2018
6. <https://irantours24.com/climate-in-iran>
<https://fa.wikipedia.org>
7. <https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/world-health-statistic-reports/world-health-statistics-2016>.
8. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
9. <https://fa.wikipedia.org/wiki>
10. Fan, H. and Zhao, C. and Yang, Y. & Yang, X., 2021. Spatio-Temporal variations of the $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios and its application to air pollution type classification in China. *J. Frontiers In Environmental Science*, 9
[DOI:10.3389/fenvs.2021.692440](https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.692440)
11. Munir, Said., 2016. Analysing temporal trends in the ratios of $PM_{2.5}/PM_{10}$ in the UK. *J. Aerosol And Air Quality Research*, 17(1), pp.34-48.
[DOI:10.4209/aaqr.2016.02.0081](https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.02.0081)
12. Wang, H. and Zhuang, Y. & Wang, Y. & Sun, Y. & Yuan, H. & Zhuang, G. & Hao, Z., 2008. Long-term monitoring and source apportionment of $PM_{2.5}/PM_{10}$ in Beijing, China. *J. Environmental Sciences*, 20(11), pp.1323-1327.
[DOI:10.1016/S1001-0742\(08\)62228-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62228-7)
13. Davtalab, M. and Byčenkienė, S. & Bimbaitė, V. 2023. Long-term spatial and temporal evaluation of the $PM_{2.5}$ and PM_{10} mass concentrations in Lithuania. *Atmospheric Pollution Research*, 14(12), pp. 101951.
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101951>
14. Baggam, S. & Rao, S. & Upadhya, A. & Kulkarni, P. & Sreekanth, V. 2021. $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio characteristics over urban sites of India. *J. Advances In Space Research*. 67(10), pp. 3134-3146.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.02.008>
15. Zhang, X. and Sharratt, B. & Liu, L. & Wang, Z. & Pan, X. & Lei, J. & Wu, S. & Huang, S. & Guo, Y. & Li, J. & Tang, X. & Yang, T. & Tian, Y. & Chen, X. & Hao, J. & Zheng, H. & Yang, Y. & Lyu, Y. 2018. East Asian dust storm in May 2017: observations, modelling, and its influence on the Asia-Pacific region. *J. Atmospheric Chemistry And Physics*, 18(11), pp. 8353-8371. <https://doi.org/10.5194/acp-18-8353-2018>.
16. Rashki, A. and Middleton, N. & Goudie, A. 2021. Dust storms in Iran – Distribution, causes, frequencies and impacts. *J. Aeolian Research*, 48, pp. 100655.
[DOI:10.1016/j.aeolia.2020.100655](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655)