

## بررسی نسبت غلظت ذرات $PM_{2.5}$ به $PM_{10}$ در شهر تهران و تدوین شاخصی برای رخدادهای گرد و غبار

زهرة زین الدینی منصورآبادی\*<sup>۱</sup>، یوسف رشیدی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۲- استادیار پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

پست الکترونیکی نویسندگان:

۱- [z.zeynadini@mail.sbu.ac.ir](mailto:z.zeynadini@mail.sbu.ac.ir)

۲- [y\\_rashidi@sbu.ac.ir](mailto:y_rashidi@sbu.ac.ir)

### چکیده:

ذرات معلق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین آلاینده‌ها در سراسر جهان شناخته شده‌اند. هدف از تحقیق فعلی بررسی نسبت میانگین غلظت ذرات معلق  $PM_{2.5}/PM_{10}$  و تعیین شاخصی برای گردوغبار می‌باشد، در این تحقیق 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 ۱۴۰۲-۱۳۹۶ (۲۰۲۳-۲۰۱۸) استفاده شده است، در مرحله بعد برای تعیین روزهای دارای گردوغبار داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از سایت Giovanni استخراج شد، در نهایت روزهای دارای گردوغبار با داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا مقایسه شد تا حدی از عمق نوری آئروسول‌ها که پس از آن گردوغبار وجود دارد، تعیین شود. نتایج نشان می‌دهد 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 می‌باشد. باتوجه 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 این نسبت کمتر از ۰/۴ باشد گرد و غبار وجود دارد. با توجه به نتایج تحقیق و روزهای دارای گردوغبار در سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۸) در ماه اردیبهشت، سال ۱۳۹۷ (۲۰۱۹) در ماه اردیبهشت و مهر، سال ۱۳۹۸ (۲۰۲۰) در ماه مهر، سال ۱۳۹۹ (۲۰۲۱) در ماه‌های اسفند و فروردین، سال ۱۴۰۰ (۲۰۲۲) در ماه اردیبهشت، مرداد و آذر و در سال ۱۴۰۱ (۲۰۲۳) در ماه تیر رخ دادند؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که گردوغبار اغلب در بهار و پاییز و بعد در تابستان و در نهایت در زمستان رخ می‌دهد.

### واژگان کلیدی:

آلودگی هوا، ذرات معلق،  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$ ، گردوغبار

\* زهرة زین الدینی منصورآبادی، دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

ایمیل: [z.zeynadini@mail.sbu.ac.ir](mailto:z.zeynadini@mail.sbu.ac.ir) (نویسنده مسئول مقاله)

# Investigating the ratio of $PM_{2.5}$ to $PM_{10}$ particles concentration in Tehran city and compiling an index for the occurrence of dust

Z.Zeynadini mansorabadi <sup>1</sup>, Y. Rashidi <sup>2</sup>

<sup>1</sup>- M.sc Student of Science and Environmental Engineering- Environmental Pollutions

<sup>2</sup>- Assistant professor Environmental Research Sciences Institute, Shahid Beheshti University, Iran

## Abstract:

Particulate matter is known as one of the most important and common pollutants worldwide. The purpose of the current research is to investigate the ratio of the average concentration of suspended particles  $PM_{2.5}/PM_{10}$  and determine an index for dust. In this research, the concentration data of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  suspended particles in 3 monitoring stations of Tehran Municipal Air Quality Control Company (Tarbiat Modares, Pirouzi and Sharif stations) in the years 2018-2023 have been used. In the next step, to determine the days with dust, the optical depth data of aerosols were extracted from the Giovanni site. Finally, the days with dust were compared with data from the Barcelona Regional Dust Center to determine a measure of the optical depth of the aerosols that followed the dust. The results show that the average concentration of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  and the ratio of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  on days with dust is higher than this value on days without dust. According to the origin of the production of suspended particles, their ratio can be used to determine the dust index. From the  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratio, it can be concluded that if this ratio is less than 0.4, there is dust. According to the research results and days with dust in 2018 (1396) in May, 2019 (1397) in May and October, 2020 (1398) in October, 2021 (1399) in March and April, the year 2022 (1400) in May, August and December and They occurred in the month of July in 2023 (1401).

**Keywords:** Air pollution, Suspended Particles,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , Dust

## ۱-۱ - مقدمه و بیان مسئله

گسترش روزافزون و بی‌رویه شهرها، به همراه توسعه سریع اقتصادی و در نتیجه، افزایش مصرف انرژی باعث ایجاد مشکلات متعدد زیست‌محیطی برای ساکنین گردیده است. آلودگی هوای شهرها یکی از مهم‌ترین این معضلات بوده که تهدیدی دائم و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و همچنین محیط‌زیست می‌باشد [۱].

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

کشور ایران از جمله مناطقی است که به دلیل 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 قرار گرفتن در پهنه کمربند گردوغبار که شروع آن از کرانه 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، مرکز استان تهران و شهرستان تهران است. براساس برآورد سال ۲۰۱۸ سازمان ملل متحد، سی و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر غرب آسیا می‌باشد [۵]. کلان‌شهر تهران نیز دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است. این شهر با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی با مساحت ۲۲۳۵ کیلومتر و ارتفاع بین ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ متر در دامنه جنوبی البرز واقع شده است. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است [۶]. شمال شهر به دلیل ارتفاع بیشتر، خنک‌تر از دیگر مناطق شهر است. همچنین بافت نامتراکم، وجود باغ‌های کهن، بوستان‌ها، فضای سبز حاشیه بزرگراه‌ها و کم بودن فعالیت‌های صنعتی در شمال شهر کمک کرده‌اند تا هوای مناطق شمالی به‌طور متوسط ۲ تا ۳ درجه

سانتی‌گراد خنک‌تر از مناطق جنوبی شهر باشد. جهت باد غالب شمال‌غرب به جنوب‌شرق است که باعث می‌شود سمت غرب شهر مواره در معرض هوای تازه قرار گیرد؛ با وجود اینکه این باد دود و آلودگی نواحی صنعتی غرب را به همراه می‌آورد، وزش شدید آن می‌تواند هوای آلوده را از شهر تهران بیرون ببرد [۷].

از آنجا که ذرات معلق یکی از عوامل آلودگی هوای کلانشهر تهران می‌باشند، بنابراین مطالعه در مورد این ذرات ضروری بنظر می‌رسد.

## ۱-۲ - ذرات معلق و گرد و غبار

ذرات معلق<sup>۲</sup> به تمامی اجزاء ریز مایع یا جامدی (به جز آب خالص) اطلاق می‌شود که در جو زمین پراکنده هستند و اندازه میکروسکوپی یا ریز میکروسکوپی اما بزرگ‌تر از ابعاد مولکولی دارند [۸].

گردوغبار<sup>۳</sup> یا ریزگرد توده‌ای از ذرات جامد ریز غبار و گاه دود و غیره است که در جو پخش شده و دید افقی را بین ۱ تا ۲ کیلومتر محدود می‌کند و برای بیماران تنفسی بسیار زیان‌آور است. حیات روی کره زمین را از جهات مختلفی متأثر می‌کند. چرخه گردوغبار بخش مهمی از سیستم کره زمین است. سالانه ۲۰۰۰ تن گردوغبار گسیل می‌شود که ۷۵٪ آن روی خاک و ۲۵٪ آن روی اقیانوس ته‌نشین می‌شود این فرآیند روی چرخه انرژی، آب و کربن اثر می‌گذارد [۹].

## ۲- تاریخچه تحقیق

Fan 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 کردند، در این بررسی میانگین غلظت جرمی سالانه  $PM_{2.5}$  در سال ۲۰۱۵ برابر با ۴۸/۶۳، سال ۲۰۱۶ برابر با ۴۵، سال ۲۰۱۷ برابر با ۴۲/۹۱ و در سال ۲۰۱۸ مقدار ۳۸/۰۸ میکروگرم بر مترمکعب بوده است، میانگین غلظت جرمی برای  $PM_{10}$  به ترتیب در سال ۲۰۱۵ ۸۵/۱۳، سال ۲۰۱۶ ۸۰/۷۷، سال ۲۰۱۷ برابر با ۷۸/۷۶ و سال ۲۰۱۸ ۷۴/۳۷ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. با توجه به استانداردهای کیفیت هوای محیط چین حد متوسط سالانه غلظت  $PM_{2.5}$ ،  $35 \mu g m^{-3}$  و  $PM_{10}$ ،  $70 \mu g m^{-3}$  است؛ بدین ترتیب میانگین سالانه غلظت  $PM_{2.5}$  در سال ۲۰۱۵، ۳۸/۹ درصد و در سال ۲۰۱۸، ۲۱/۶ درصد و میانگین سالانه غلظت  $PM_{10}$  در سال ۲۰۱۵، ۲۱/۶

<sup>۲</sup> Dust

<sup>۳</sup> Particulates

درصد و در سال ۲۰۱۸، ۶/۲ درصد از استاندارد فراتر رفت. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که نسبت ذرات معلق در فصول مختلف متغیر است،  $PM_{2.5}$  در زمستان زیاد و در تابستان کاهش می‌یابد، در حالی که  $PM_{10}$  در زمستان و بهار زیاد و در پاییز و تابستان کم می‌شود به بیان دیگر نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  در زمستان بالاترین میزان و در بهار کمترین است. نسبت بالاتر  $PM_{2.5}/PM_{10}$  در زمستان عمدتاً ناشی از انتشار بیشتر توسط وسایل گرمایشی و شرایط آب و هوایی راکدتر و در مقابل نسبت کمتر در تابستان به دلیل بارش‌های بیشتر و طوفان‌های شن است. نکته مهم دیگر این بررسی این است که نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  هر ساله در حال کاهش است و این نسبت مستقل از غلظت  $PM$  تغییر می‌کند و اطلاعاتی در مورد گرد و غبار ارائه می‌دهد؛ بنا به این تفاسیر نوع گرد و غبار طبیعی عمدتاً در غرب استان Hu Line، نوع مخلوط در نزدیکی Hu Line و نوع انسانی در دشت‌های شمال چین و شهرهای جنوبی غالب است [۱۰].

Munir و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی نسبت‌های  $PM_{2.5}/PM_{10}$  تنوع زمانی و مکانی قابل توجهی را در انگلستان نشان دادند، میانگین ۵ ساله از ۰/۴ تا ۰/۸ متغیر بوده که منجر به میانگین کلی ۰/۶۵ شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  در چندین سایت نظارتی در بریتانیا افزایش یافته است، علیرغم این واقعیت که هر دو سطح  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  عمدتاً کاهش یافته‌اند. با این حال، روند در نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  به طور متوسط در ۴۶ سایت نظارت ناچیز بود. روند نسبت‌های  $PM_{2.5}/PM_{10}$  در فصول مختلف متفاوت بود: بهار روند مثبت و معنی‌دار و زمستان روند منفی معنی‌دار را نشان داد، در حالیکه روند در پاییز و تابستان ناچیز بود [۱۱].

Wang و همکاران (۲۰۰۸) برای پیش و نظارت بر نسبت غلظت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  در چین داده‌های یک سایت پس زمینه در تابستان و زمستان را در یک دوره ۶ ساله (۲۰۰۱-۲۰۰۶) جمع‌آوری کردند نتایج نشان می‌دهد که سطوح  $PM_{2.5}$  در پکن در این سال‌ها نسبتاً بالا بوده، و به طور قابل توجهی بالاتر از میانگین استاندارد روزانه آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) 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 پیش آلودگی هوای EPA در لیتوانی طی ۱۷ سال (۲۰۰۵-۲۰۲۲)، تجزیه

و تحلیل انجام دادند. این تحقیق مقیاس‌های زمانی مختلف و پس‌زمینه‌های مختلف از جمله شهری، صنعتی، حمل‌ونقل و روستایی را برای کشف روندهای مکانی-زمانی در نظر می‌گیرد. میزان انتشار  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۱/۲۶ درصد و ۱/۰۶ درصد نسبت به سال اولیه (۲۰۰۵) کاهش داشته است. بیشترین میزان انتشار مربوط به  $PM_{10}$ ، ۱۹/۴۹ Gg و  $PM_{2.5}$ ، ۸/۵۳ Gg در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۶ بوده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۳ و  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  و نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  کاهش قابل توجهی داشته است و همچنین  $PM_{10}$  در مناطق روستایی به دلیل افزایش انتشارات کشاورزی روند افزایشی قابل توجهی داشته است؛ کمترین کاهش  $PM_{10}$ ، ۰/۰۶ میکروگرم بر مترمکعب در سال برای پس زمینه شهری و بیشترین کاهش در سال ۲۰۰۵ به میزان ۰/۵۸ میکروگرم بر مترمکعب در سال (۰/۵۷٪) در پایتخت مشاهده شد. کمترین کاهش  $PM_{2.5}$ ، ۰/۰۸ میکروگرم بر مترمکعب در سال در شهر کلایپیدا (Klaipeda Šilutės pl) بوده است. [۱۳].

Spandana و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تخمین نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  را از هشت مکان شهری هند با سطوح مختلف شهرنشینی مشخص کردند. پنج سال (۲۰۱۹-۲۰۱۵) اندازه‌گیری‌های  $PM_{2.5}$ ،  $PM_{10}$ ، 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 مورد مطالعه، میانگین فصلی نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  بین  $0.31 \pm 0.08$  (میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد) و  $0.65 \pm 0.31$  متغیر بوده است. از نظر فصلی، بیشترین نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  در فصل زمستان مشاهده شده است [۱۴].

Zhang و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در دوره طوفان می ۲۰۱۷ چین داده‌های غلظت ساعتی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  را در دوره زمانی ۱۵-۲ می از ۳۶۷ ایستگاه نظارت بر محیط‌زیست توسط وزارت حفاظت محیط‌زیست نگهداری می‌شود، جمع‌آوری کردند و با دستگاه تضعیف بتا که برای جمع‌آوری مداوم ذرات معلق و نظارت بر کیفیت هوا طراحی شده است، اندازه‌گیری انجام دادند، توزیع فضایی ذرات در این تحقیق با استفاده از عمق نوری آئروسول‌ها (AOD) و داده‌های ماهواره ترا سنجنده مودیس با وضوح متوسط با طول موج ۵۵۰ نانومتر بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان

می‌دهد که آلودگی گرد و غبار از شمال چین به جنوب و از غرب به شرق کاهش یافته است و بر اساس الگوهای میدان باد، صحرای آکسا در غرب مغولستان داخلی و صحرای گوبی مغولستان منابع اصلی گرد و غبار در طول رویداد طوفان گرد و غبار می ۲۰۱۷ بودند. همچنین مقایسه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از سنجنده مودیس با شبیه‌سازی مدل WRF-Chem تغییرات مکانی-زمانی گرد و غبار را در سراسر آسیا تایید می‌کند [۱۵].

### ۳ - مواد و روش‌ها

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

### ۳ - ۱ - اطلاعات ایستگاه‌ها و دستگاه سنجش

ایستگاه‌های مورد استفاده برای سنجش میزان ذرات معلق شامل ایستگاه تربیت‌مدرس، ایستگاه پیروزی و ایستگاه شریف که زیر نظر شرکت کنترل کیفیت هوا می‌باشند، دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها وجود داده‌های منطقی‌تر و نزدیک به واقعیت است؛ موقعیت این ایستگاه‌ها به ترتیب در مناطق ۶، ۱۳ و ۲ تهران می‌باشند [۱۵] در ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا غلظت آلاینده‌های اصلی هوا شامل منوکسید کربن (CO)، ازن (O<sub>3</sub>)، ذرات معلق PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub>، گوگرد دی‌اکسید (SO<sub>2</sub>) و اکسیدهای نیتروژن (NO، NO<sub>2</sub> و NO<sub>x</sub>)، به صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شود.

در هر سه ایستگاه از دستگاه نمونه‌گیر غلظت جرمی تضعیف بتای ۱۰۲۰ Met One Instruments BAM استفاده می‌شود. این دستگاه به طور خودکار سطوح غلظت جرم ذرات محیط را با استفاده از اصل تضعیف اشعه بتا اندازه‌گیری و ثبت می‌کند. این نمایشگر از سه بخش اصلی تشکیل شده است؛ واحد مرکزی، پمپ نمونه‌برداری و سخت‌افزار ورودی نمونه‌برداری. این روش غلظت ذرات معلق در محیط را برحسب mg/m<sup>3</sup> یا µg/m<sup>3</sup> 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 چرخه اندازه‌گیری، تعداد پرتوهای بتا (I<sub>0</sub>) در نوار فیلتر تمیز ثبت می‌شود. سپس، یک پمپ خارجی حجم مشخصی از هوای مملو از PM را از طریق نوار فیلتر به داخل می‌کشد و در نتیجه PM را روی نوار فیلتر به دام می‌اندازد. در پایان

چرخه اندازه‌گیری، تعداد پرتوهای بتا (I<sub>2</sub>) دوباره در نوار فیلتر دارای PM اندازه‌گیری می‌شود. نسبت I<sub>0</sub> به I<sub>2</sub> برای تعیین چگالی جرمی PM جمع‌آوری شده بر روی نوار فیلتر استفاده می‌شود.

### ۳ - ۲ - اطلاعات ماهواره - سنجنده MODIS

سنجنده MODIS مخفف عبارت Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer می‌باشد. این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی با قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیت بین طول موج ۰/۴-۱۴/۴ میکرون می‌باشد. سنجنده 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 برنامه گسترده‌ای است که با استفاده از سنسورهای روی دو ماهواره Aqua و Terra پوشش کاملی از زمین ارائه می‌کند، از آنجایی که سنجنده مودیس در هر دو ماهواره نصب است به طور کلی به دست آوردن تصاویر در صبح از ماهواره ترا و در عصر از ماهواره آکوا برای هر مکانی امکان‌پذیر می‌باشد [۱۵]. سنجنده مودیس یکی از بهترین داده‌های ماهواره‌ای برای بررسی مشخصات و مسیر حرکت و طوفان‌های گردوغبار می‌باشد [۱۶].

### ۳ - ۳ - اطلاعات عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها (AOD)

عمق نوری آئروسول یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گردوغبار است، 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. به عبارت دیگر، ذرات موجود در اتمسفر (گردوغبار، دود، آلودگی) می‌توانند نور خورشید را با جذب یا پراکندگی مسدود کنند. عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها مشخص می‌کند ذرات آئروسول چقدر از رسیدن نور مستقیم خورشید به زمین جلوگیری می‌کنند. عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها یک عدد بدون بعد است که به مقدار آئروسول در ستون عمودی جو روی مکان مشاهده مربوط می‌شود (NOAA.GOV). فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جو می‌باشد. مقدار عمق نوری می‌تواند با تراکم تعداد آئروسول‌ها و ویژگی‌های ذرات متفاوت باشد. دامنه 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 این مقدار نشان‌دهنده تراکم آئروسول‌ها در امتداد ستون عمودی هوا

خاورمیانه و اروپا تولید و توزیع می‌کند. مدل مرجع برای ارائه پیش‌بینی‌های عملیاتی گردوغبار به مرکز، مدل MONARCH است که توسط مرکز ابر محاسباتی بارسلونا توسعه یافته است. این مدل روزانه در رزولوشن افقی ۰/۱ درجه طول جغرافیایی در هر ۰/۱ درجه عرض جغرافیایی با ۰/۴۰ لایه‌های عمودی بر روی حوزه موردنظر در زیرساخت‌های HPC اجرا می‌شود، اجرای اولیه در ابر کامپیوتر BSC MareNostrum IV با استفاده از منابع اختصاصی و ادغام پشتیبان به صورت روزانه با پیکربندی یکسان در مرکز ابر محاسباتی بارسلونا انجام می‌شود.

#### ۴ - بحث و تحلیل

در این تحقیق جهت بررسی غلظت ذرات معلق و تعیین شاخص گرد و غبار 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) به صورت دستی، نسبت  $PM_{2.5}$  به  $PM_{10}$  محاسبه شد؛ در مرحله بعد داده‌های سایت Giovanni با توجه به منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های تربیت مدرس، پیروزی و شریف) و زمان موردنظر (از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۴۰۲) استخراج شد، در نهایت این داده‌ها با داده‌های مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا مقایسه شد. میانگین غلظت ذرات معلق  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۴۰۲ (۲۰۲۳-۲۰۱۸) به صورت روزانه از سایت شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران استخراج و نسبت ذرات  $PM_{2.5}$  به  $PM_{10}$  محاسبه شده است. مراحل مختلف تحقیق در شکل ۱ مشخص شده است.

بوده و به عبارتی دید در امتداد آن ستون کم می‌باشد. میانگین عمق نوری جهانی در شرایط عادی به علت وجود غبارات نمک و ذرات ناشی از کانی‌ها حدود ۰/۳۲ برآورد شده است. در صورتی که گردوغبارهای عمده دنیا دارای عمق نوری در محدوده بین ۰/۳ تا ۲/۵ است که بیانگر نقش مهم گرد و غبارها 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 می‌باشد [۱۷]. داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها هر سال بعد از مرتب‌سازی از بیشترین به کمترین مقدار، به صورت نمودار رسم شدند تا قابل مقایسه با سال قبل و بعد باشند.

#### ۳\_۴\_ داده‌های سامانه Giovanni

سامانه Giovanni، در مرکز هوایی ناسا، یک محیط آنلاین (وب) برای نمایش و تجزیه و تحلیل پارامترهای ژئوفیزیکی است که در آن منشأ (اصل داده‌ها) به راحتی قابل دسترسی است. این مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی با قدرت تفکیک زمانی نیم‌ساعته، یک‌ساعته، ۳ ساعته، روزانه و ماهانه است که از سال ۲۰۰۰ تا اکنون، از طریق اندازه‌گیری‌های صحرایی، ماهواره‌ای و یک سری متغیرهای شبیه‌سازی شده به دست آمدند.

نمودار سری زمانی استاندارد Giovanni با محاسبه میانگین‌های مکانی در ناحیه انتخاب‌شده توسط کاربر یک متغیر معین برای هر مرحله زمانی در محدوده مشخص شده توسط کاربر تولید می‌کند سپس مقدار میانگین بر حسب زمان رسم می‌شود تا خروجی سری زمانی ایجاد شود.

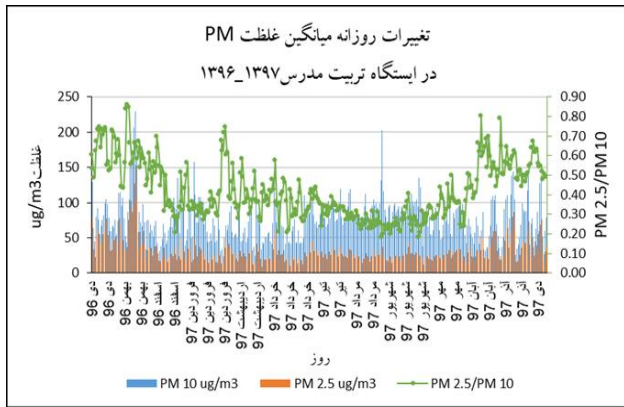
#### ۳\_۵\_ مدل‌سازی گردوغبار در خاورمیانه داده‌های مرکز

##### منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا

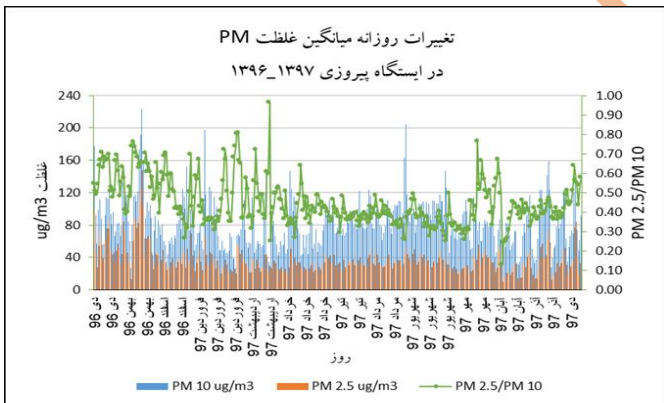
فعالیت‌های عملیاتی توسط مرکز منطقه‌ای پیش‌بینی گرد و غبار بارسلونا (BDFC) که در فوریه ۲۰۱۴ توسط آژانس هواشناسی دولتی اسپانیا (AEMET) و مرکز ابر محاسبات بارسلونا (BSC) ایجاد شده، برای انجام تعهد منعقد شده با سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در خصوص میزبانی اولین مرکز هواشناسی تخصصی منطقه‌ای با تمرکز فعالیت در زمینه پیش‌بینی گردوغبار جوی (RSMC - ASDF)، انجام می‌شود. این مرکز به طور عملیاتی پیش‌بینی گردوغبار را برای شمال آفریقا (شمال خط استوا)،



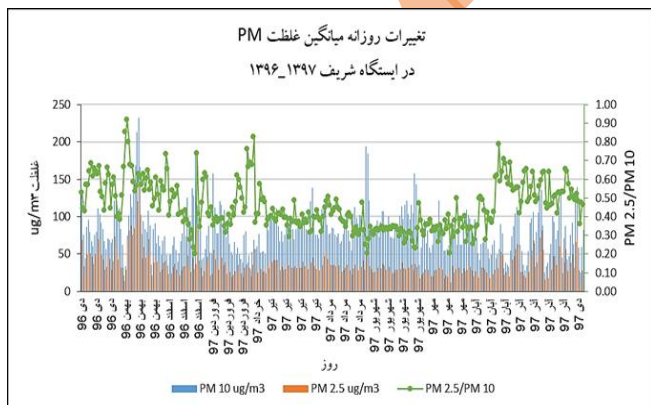
ماه‌های فروردین، اردیبهشت، تیر، مرداد، شهریور و مهر که نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  کمتر از ۰/۴ است، رخ می‌دهد.



شکل ۲\_ نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه تربیت مدرس ۱۳۹۶-۱۳۹۷



شکل ۳\_ نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه پیروزی ۱۳۹۶-۱۳۹۷



شکل ۴\_ نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه شریف ۱۳۹۶-۱۳۹۷

بررسی نسبت غلظت ذرات  $PM_{2.5}$  به  $PM_{10}$  در ایستگاه‌های شهر تهران و تدوین شاخصی برای وقوع گرد و غبار

اخذ داده‌های میانگین غلظت ذرات معلق  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  از سازمان کنترل کیفیت هوای تهران

حذف داده‌های صفر، ناقص و اشتباه

پردازش داده‌ها در قالب زمانی روزانه و تعیین نسبت ذرات معلق  $PM_{2.5}$  به  $PM_{10}$

استخراج داده‌های منطقه موردنظر از سایت Giovanni در زمان موردنظر

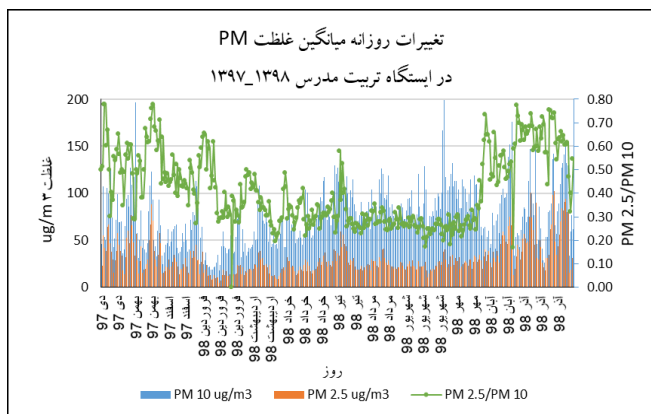
مقایسه داده‌های بدست آمده با داده‌های مرکز منطقه‌ای گرد و غبار بارسلونا

ارائه یافته‌ها و نتایج

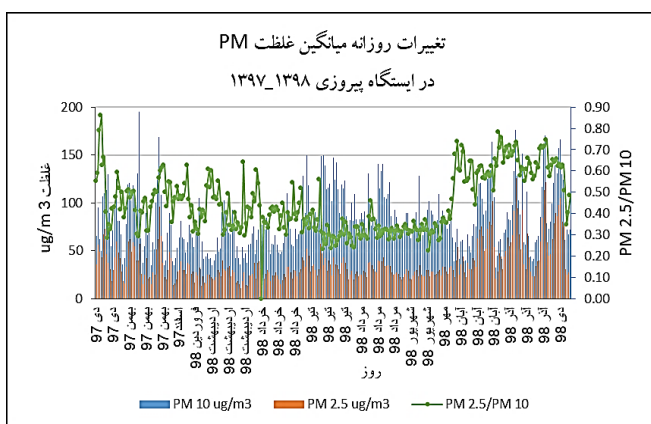
شکل ۱\_ فلوجارت مراحل تحقیق

## ۵- نتایج

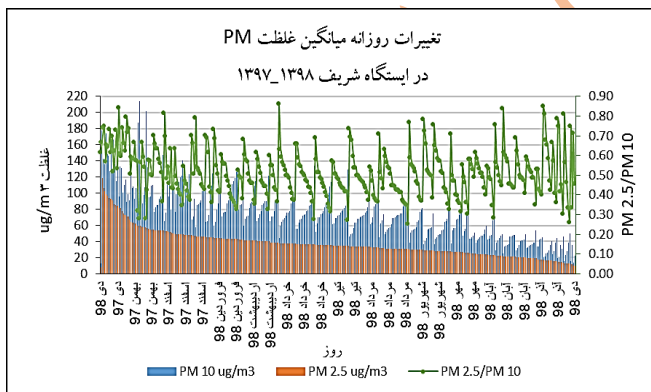
شکل‌های ۲ تا ۴ تغییرات روزانه میانگین غلظت PM را در سه ایستگاه سنجش کیفیت هوا در سال ۹۶-۹۷ نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده مقدار میانگین غلظت  $PM_{2.5}$  در ایستگاه تربیت مدرس بین مقدار حداقل و حداکثر  $9-153 \mu g/m^3$  در ایستگاه پیروزی  $10-148 \mu g/m^3$  و در ایستگاه شریف  $9-146 \mu g/m^3$  متغیر بوده است، میانگین غلظت برای  $PM_{10}$  در ایستگاه تربیت مدرس  $24-229 \mu g/m^3$ ، ایستگاه پیروزی  $27-224 \mu g/m^3$  و ایستگاه شریف  $21-232 \mu g/m^3$  بوده است. بنابراین نسبت  $PM_{2.5}/PM_{10}$  برای ایستگاه تربیت مدرس بین  $0/18-0/86$ ، ایستگاه پیروزی  $0/13-0/97$  و ایستگاه شریف  $0/20-0/92$  متغیر است، با توجه به مقایسه یک روز عادی و عاری از گردوغبار و یک روز دارای گردوغبار (شکل ۵) می‌توان نتیجه گرفت که نسبت میانگین غلظت روزانه ذرات درشت ( $PM_{10}$ ) به ذرات ریز ( $PM_{2.5}$ ) در روز گرد و غباری کمتر است، بنابراین گرد و غبار بیشتر در



شکل ۶- نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه تربیت مدرس ۱۳۹۸-۱۳۹۷

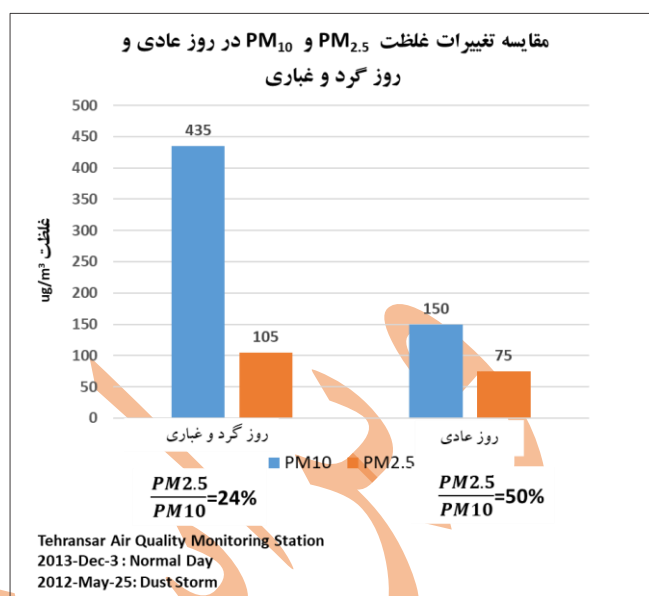


شکل ۷- نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه پیروزی ۱۳۹۸-۱۳۹۷



شکل ۸- نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه شریف ۱۳۹۸-۱۳۹۷

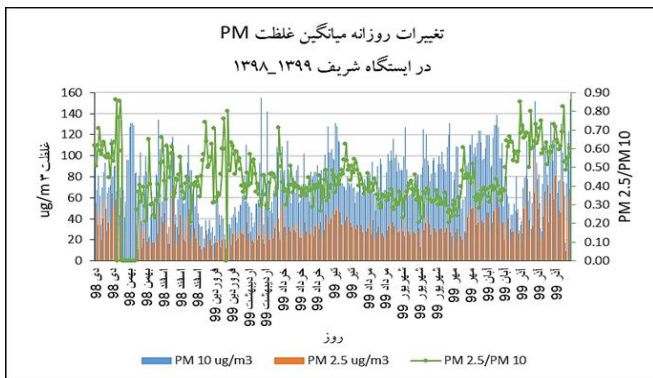
تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در سه ایستگاه سنجش کیفیت هوا در سال ۹۸-۹۹ در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نشان داده شده است. در این سال مقدار میانگین غلظت PM<sub>۲.۵</sub> در ایستگاه تربیت مدرس



شکل ۵- مقایسه تغییرات غلظت PM<sub>۱۰</sub> و PM<sub>۲.۵</sub> در روز عادی و روز دارای گرد و غبار (رشیدی، ۱۴۰۰)

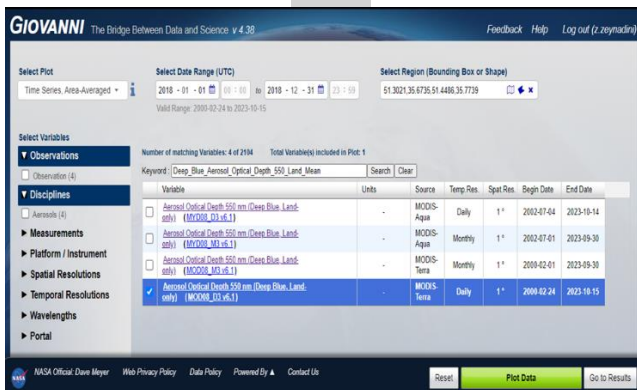
شکل‌های ۶ تا ۸ تغییرات روزانه میانگین غلظت PM را در سه ایستگاه سنجش کیفیت هوا در سال ۹۸-۹۷ نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مقدار میانگین غلظت PM<sub>۲.۵</sub> در ایستگاه تربیت مدرس بین دو مقدار حداقل و حداکثر  $1.02 - 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در ایستگاه پیروزی  $11 - 126 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه شریف  $8 - 119 \mu\text{g}/\text{m}^3$  متغیر بوده است. میانگین غلظت برای PM<sub>۱۰</sub> در ایستگاه تربیت مدرس بین  $18 - 199 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، ایستگاه پیروزی  $31 - 195 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و ایستگاه شریف  $13 - 214 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است. بنابراین نسبت PM<sub>۲.۵</sub>/PM<sub>۱۰</sub> برای ایستگاه تربیت مدرس بین  $0.17 - 0.78$ ، ایستگاه پیروزی  $0.23 - 0.86$  و ایستگاه شریف  $0.25 - 0.86$  متغیر است. بنا به این اطلاعات و نمودار موجود گرد و غبار بیشتر در ماه‌های اردیبهشت، تیر، شهریور و مهر رخ می‌دهد که تقریباً مشابه سال قبل بوده است ولی با این تفاوت که در ایستگاه تربیت مدرس نسبت PM<sub>۲.۵</sub>/PM<sub>۱۰</sub> از  $0.18 - 0.86$  به مقدار  $0.17 - 0.78$  کاهش یافته و در ایستگاه پیروزی و شریف مقدار حداقل نسبت PM<sub>۲.۵</sub>/PM<sub>۱۰</sub> به ترتیب از  $0.13$  و  $0.20$  به  $0.23$  و  $0.25$  افزایش و مقدار حداکثر آن به ترتیب از  $0.97$  و  $0.92$  به مقدار  $0.86$  کاهش یافته است، دلیل کاهش مقدار حداقلی و حداکثری در ایستگاه تربیت مدرس کاهش میزان غلظت PM<sub>۲.۵</sub> و PM<sub>۱۰</sub> بوده است، که این مورد می‌تواند به دلیل کاهش آلودگی بوده باشد.





شکل ۱۱- نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه شریف ۱۳۹۹-۱۳۹۸

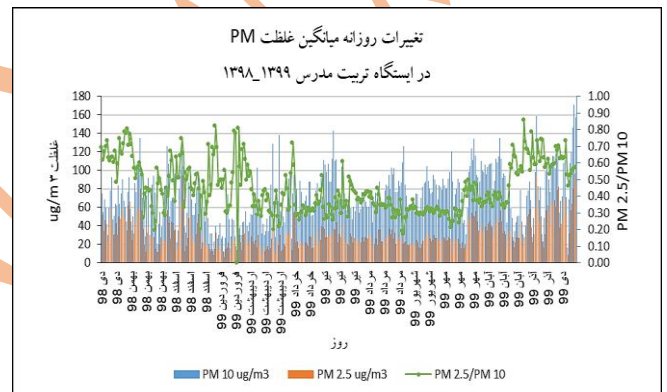
در مرحله بعد باید روزهای دارای گردوغبار مشخص شود، این موضوع با استفاده از داده‌های عمق نوری آئروسول‌ها (AOD) تعیین می‌شود. داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها را می‌توان از سایت Giovanni استخراج کرد. نمای کلی از داده‌های استخراج شده از سایت Giovanni در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



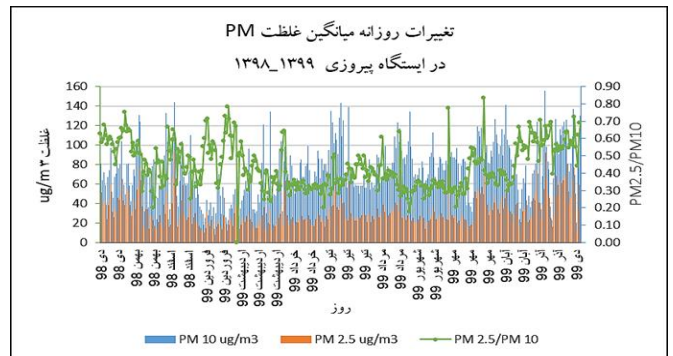
شکل ۱۲- نمایی از داده‌های عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها از سایت Giovanni ([giovanni.gsfc.nasa.gov](http://giovanni.gsfc.nasa.gov))

شکل ۱۳ تغییرات روزانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار میزان عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در ماه‌های آوریل، می و ژوئن بیشترین مقدار را داشته است که معادل ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر می‌باشد که با داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مطابقت دارد. مقدار متوسط سالانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۸، ۰/۲۵ بوده است. میزان بالای عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها نشان

حداقل و حداکثر  $6-97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در ایستگاه پیروزی  $8-94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه شریف  $5-97 \mu\text{g}/\text{m}^3$  تغییر داشته است. میانگین غلظت برای  $\text{PM}_{10}$  در ایستگاه تربیت مدرس بین  $12-171 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، ایستگاه پیروزی  $14-156 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و ایستگاه شریف  $13-155 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است. بنابراین نسبت  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  برای ایستگاه تربیت مدرس بین  $0.17-0.86$ ، این نسبت برای ایستگاه پیروزی  $0.18-0.84$  و ایستگاه شریف  $0.21-0.86$  متغیر است. با توجه به اطلاعات و نمودار موجود، گرد و غبار بیشتر در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور و اسفند رخ می‌دهد، این روند تقریباً مشابه سال قبل است و می‌توان نتیجه گرفت گرد و غبار در ماه‌های خاصی از سال و با مقدار  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  تقریباً مشابه رخ می‌دهد.



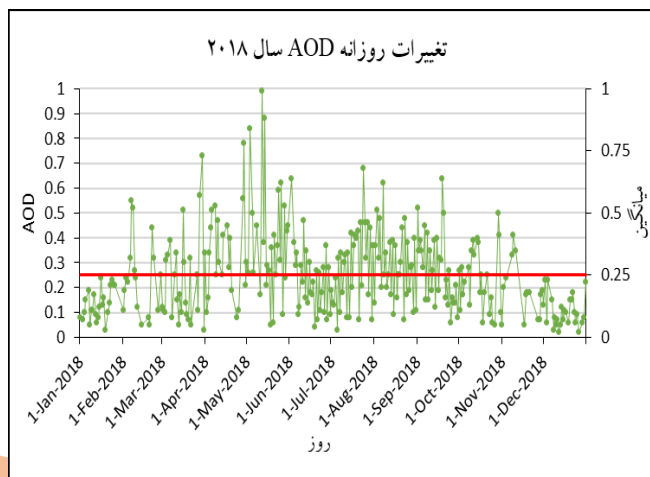
شکل ۹- نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه تربیت مدرس ۱۳۹۸-۱۳۹۹



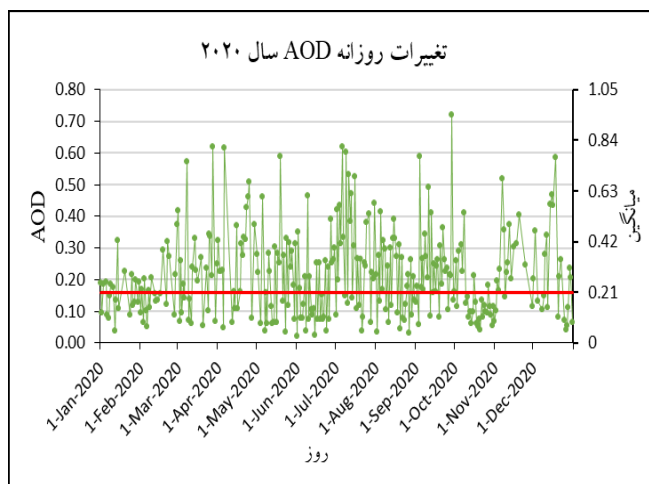
شکل ۱۰- نمودار تغییرات روزانه میانگین غلظت PM در ایستگاه پیروزی ۱۳۹۹-۱۳۹۸

دهنده ذرات معلق بیشتر در هوا بوده و به عنوان شاخص گرد و غبار مورد استفاده است.

نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در ماه‌های آوریل، می و اکتبر بیشترین مقدار را داشته است که معادل ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر و آبان می باشد که می‌توان گفت تقریباً مشابه داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا هستند. مقدار متوسط سالانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۲۰، ۰/۲۱ بوده است.

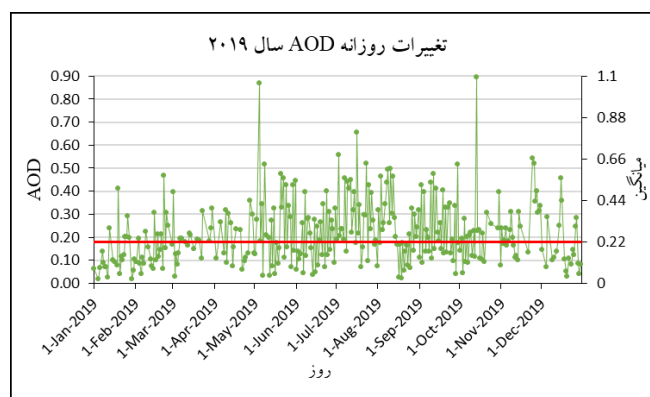


شکل ۱۳- نمودار تغییرات روزانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها سال ۲۰۱۸



شکل ۱۵- نمودار تغییرات روزانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها سال ۲۰۲۰

تغییرات روزانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹ در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار میزان عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در ماه‌های می و اکتبر بیشترین مقدار را داشته است که معادل ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مهر و آبان می باشد که می‌توان گفت تقریباً با داده‌های ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مطابقت دارد. مقدار متوسط سالانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۱۹، ۰/۲۲ بوده است.



شکل ۱۴- نمودار تغییرات روزانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها سال ۲۰۱۹

پس از مشخص شدن روزهای دارای گرد و غبار برای تعیین حدی از عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها که پس از آن گرد و غبار وجود دارد، از داده‌های مرکز منطقه‌ای گرد و غبار بارسلونا استفاده می‌شود؛ در واقع داده‌های این مرکز برای چک کردن درستی روزهای دارای گرد و غبار است. اطلاعات مربوط به داده‌های مرکز منطقه‌ای گرد و غبار بارسلونا در جدول ۱ آمده است.

تغییرات روزانه عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها در سال ۲۰۲۰ در شکل ۱۵ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار میزان عمق

جدول ۱\_ میزان گردوغبار بدست آمده از مرکز منطقه‌ای گردوغبار بارسلونا، Giovanni و ایستگاه‌های هواشناسی

Date	Giovanni	بارسلونا	تربیت مدرس			پیروزی			شریف			
	عمق نوری (اپتیکی) آئروسول‌ها	Dust ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2.5}$	$\text{PM}_{10}$	$\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$	
۲۰۱۸	۱۲-May-۲۰۱۸	۰/۹۹	۱۰۹/۰۶	۴۱	۱۰۹	۰/۳۸	۲۷	۱۰۷	۰/۲۵	-	-	-
	۱۴-May-۲۰۱۸	۰/۸۸	۶۵/۸۲	۳۲	۸۷	۰/۳۷	۳۶	۸۵	۰/۴۲	-	-	-
۲۰۱۹	۱۳-Oct-۲۰۱۹	۰/۸۹	۸۵/۳۷	۳۰	۱۱۵	۰/۲۶	۳۰	۱۰۹	۰/۲۸	۲۶	۴۷	۰/۵۵
	۴-May-۲۰۱۹	۰/۸۷	۱۰۴/۷	۳۰	۹۱	۰/۳۳	۲۹	۹۰	۰/۳۲	۳۷	۸۵	۰/۴۴
۲۰۲۰	۲۹-Sep-۲۰۲۰	۰/۷۲	۱۴۰/۵	۲۲	۸۸	۰/۲۵	۲۲	۸۱	۰/۲۷	۲۳	۸۵	۰/۲۷
۲۰۲۱	۱۷-Mar-۲۰۲۱	۱/۱۰	۱۱۹/۶۳	۵۳	۱۵۹	۰/۳۳	۴۹	۱۴۳	۰/۳۴	۶۶	۱۵۵	۰/۴۳
	۹-Apr-۲۰۲۱	۰/۹۸	۱۱۹/۰۹	۳۶	۱۱۴	۰/۳۲	۳۸	۱۰۸	۰/۳۵	۴۳	۹۸	۰/۴۴
۲۰۲۲	۸-May-۲۰۲۲	۰/۹۸	۶۳/۲۸	۵۸	۳۳۷	۰/۱۷	۶۸	۳۲۷	۰/۲۱	-	-	-
	۹-Dec-۲۰۲۲	۰/۹۱	-	۷۶	۱۰۱	۰/۷۵	۹۴	۱۳۷	۰/۶۹	-	-	-
	۲۷-Jul-۲۰۲۲	۰/۹۰	۱۶۴/۴۷	۵۲	۱۸۲	۰/۲۹	۶۸	۲۱۲	۰/۳۲	۷۹	۲۱۱	۰/۳۷
	۷-May-۲۰۲۲	۰/۸۸	۱۰۴/۵۶	۵۶	۱۷۵	۰/۳۲	۵۱	۱۶۶	۰/۳۱	-	-	-
۲۰۲۳	۲۶-Jan-۲۰۲۳	۰/۸۳	۱۱۴/۷۷	۸۲	۱۳۴	۰/۶۱	۸۳	۱۳۴	۰/۶۲	۸۴	۱۳۳	۰/۶۳

- [۵] world Urbanization Prospects ۲۰۱۸. United Nations. New York. ۲۰۱۸
- [۶] <https://irantours۲۴.com/climate-in-iran>  
<https://fa.wikipedia.org>
- [۷] [https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/world-health-statistic-reports/world health-statistics-۲۰۱۶](https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/world-health-statistic-reports/world-health-statistics-۲۰۱۶).
- [۸] <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- [۹] <https://fa.wikipedia.org/wiki>
- [۱۰] Fan, H., Zhao, C., Yang, Y., & Yang, X. (۲۰۲۱). Spatio-Temporal variations of the  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratios and its application to air pollution type classification in China. *Frontiers in Environmental Science*, ۹. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.692440>
- [۱۱] Munir, Said. (۲۰۱۶). Analysing temporal trends in the ratios of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  in the UK. *Aerosol and Air Quality Research*, ۱۷. ۳۴-۴۸. [10.4209/aaqr.2016.02.0081](https://doi.org/10.42۰۹/aaqr.2016.02.0081).
- [۱۲] Wang, H., Zhuang, Y., Wang, Y., Sun, Y., Yuan, H., Zhuang, G., & Hao, Z. (۲۰۰۸). Long-term monitoring and source apportionment of  $PM_{2.5}/PM_{10}$  in Beijing, China. *Journal of Environmental Sciences*, ۲۰(۱۱), ۱۳۲۳-۱۳۲۷. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62228-7](https://doi.org/10.1016/S10۰۱-۰۷۴۲(0۸)۶۲۲۲۸-۷)
- [۱۳] Davtalab, M., Byčenkienė, S., & Bimbaitė, V. (۲۰۲۳). Long-term spatial and temporal evaluation of the  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  mass concentrations in Lithuania. *Atmospheric Pollution Research*, ۱۴(۱۲), ۱۰۱۹۵۱. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101951>
- [۱۴] Baggam, Spandana & Rao, S. & Upadhy, Adithi & Kulkarni, Padmavati & Sreekanth, V.. (۲۰۲۱).  $PM_{2.5}/PM_{10}$  ratio characteristics over urban sites of India. *Advances in Space Research*, ۶۷. [10.1016/j.asr.2021.02.008](https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.02.008).
- [۱۵] Zhang, X., 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. (۲۰۱۸). East Asian dust storm in May ۲۰۱۷: observations, modelling, and its influence on the Asia-Pacific region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, ۱۸(۱۱), ۸۳۵۳-۸۳۷۱. <https://doi.org/10.5194/acp-18-8353-2018>
- [۱۶] Rashki, A., Middleton, N., & Goudie, A. (۲۰۲۱). Dust storms in Iran – Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeolian Research*, ۴۸, ۱۰۰۶۵۵. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>

در اغلب روزها میانگین غلظت ذرات معلق  $PM_{10}$  ایستگاه بیشتر از مقدار  $Dust$  بدست آمده از داده‌های مرکز منطقه‌ای گرد و غبار بارسلونا است به این دلیل که ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا مقدار ذرات معلق منتشر شده از منابع طبیعی و انسان‌ساز را با هم اندازه‌گیری می‌کند ولی داده‌های مرکز منطقه‌ای گرد و غبار بارسلونا مقدار گرد و غبار ( $Dust$ ) را نشان می‌دهد.

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 گرد و غبار وجود دارد.

تغییرات روزانه میانگین غلظت ذرات معلق در ایستگاه‌های منتخب نشانگر این است در اکثر موارد تغییرات غلظت ذرات معلق مشابه بوده و هر دو با هم افزایش و کاهش می‌یابند؛ اما میزان تغییرات یکسان نبوده است؛ ذرات درشت به طور معمول 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 گرد و غبار استفاده کرد. مقایسه یک روز عادی و عاری از گرد و غبار و یک روز دارای گرد و غبار بیانگر این است که نسبت میانگین غلظت روزانه ذرات درشت ( $PM_{10}$ ) به ذرات ریز ( $PM_{2.5}$ ) در روز گرد و غباری کمتر است.

## منابع

- [۱] Haqbayan, S., Tashayo, B., “Integrating ground-based air quality monitoring stations with mobile sensor units to improve the accuracy of  $PM_{2.5}$  concentration modeling”, *Sephr Geographical Information Research Quarterly*, ۲۰۲۰ [In Persian]
- [۲] WHO ambient air quality database, ۲۰۲۲ update: status report, <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>
- [۳] Anselin, L., Syabri, I., & Kho, Y. (۲۰۰۵). *GEODA: An Introduction to Spatial Data Analysis*. *Geographical Analysis*, ۳۸(۱), ۵-۲۲. [https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x](https://doi.org/10.1111/j.0016-۷۳۶۳.2005.00۶۷۱.x)
- [۴] Goudie, A., & Middleton, N. (۲۰۰۱). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, ۵۶(۱-۴), ۱۷۹-۲۰۴. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)0067-8](https://doi.org/10.1016/S0۰۱۲-۸۲۵۲(0۱)۰۰۶۷-۸).

[۱۷] Rasouli A., "Reconsidering applied distance by defining satellite images" publications of Tabriz University<sup>۲۰۰۸</sup>  
[In Persian]

فصل استادی  
نشریه