

Spatial analysis of air quality in Tehran with emphasis on particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀)

Maryam Ansari¹ , Mahmoud Ahmadi^{2*} , Gholamreza Goudarzi³ 

1. Ph.D Student of Climatology, Shahid Beheshti University, Iran

2. *Corresponding Author*, Associate Professor, Department of Climatology, Shahid Beheshti University, Iran.

3. Associate professor, Department of Environmental Health Engineering, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 22 January 2021

Revised: 19 May 2021

Accepted: 19 June 2021

Keywords:

Air Quality,
particulate matter,
Tehran.

ABSTRACT

Nowadays, the air of most of Iran's cities especially high population metropolises hasn't an optimal quality. This adverse quality is due to various pollutant resources such as automobiles, industries, heating devices, construction, and commercial activities during recent decades and there are more concerns about it. Therefore, monitoring air pollutants and studying their seasonal and spatial variations are specifically important. The present study aimed to evaluate air quality and seasonal and spatial variations of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) in Tehran city. In this research, the AQI index has been used to determine the air quality of Tehran and to introduce the responsible pollutant. To investigate the variations of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in seasonal and spatial scales, the data of air pollution monitoring stations (18 stations) of Air Quality Control Company was used in 2018 and 2019. Data were analyzed using Excel and SPSS software and results of statistical analysis of pollutants distribution in Temporal – spatial scales are provided and they are drawn using Arc GIS software and analytical function of inverse Distance Weighting interpolation (IDW) as maps, tables, and graphs. Based on the results, favorable and unfavorable air quality were respectively observed in 83.8 and 16.2% of days in 2018, as well as 76.4 and 23.6% of days in 2019, which can be related to the changes in rainfall rate and wind speed in the years. The maximum seasonal concentration of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) relates to summer and winter respectively and the minimum seasonal concentration of both pollutants relates to spring. Results of inverse Distance Weighting interpolation (IDW) also showed that the west, south, and central regions of Tehran got involved with particulate matter more than other regions.

Cite this article: Ansari, M., Ahmadi, M., Goudarzi, G. (2022). Spatial analysis of air quality in Tehran with emphasis on particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(32), 109-128. DOI: 10.22111/jneh.2021.37338.1759



© Mahmoud Ahmadi.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.37338.1759

* Corresponding Author Email: Ma_Ahmadi@sbu.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۲۲، تابستان ۱۴۰۱

تحلیل فضایی کیفیت هوای شهر تهران با تأکید بر ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10})

مریم انصاری^۱، محمود احمدی^{۲*}، غلامرضا گودرزی^۳

۱. دانشجوی دکتری گروه آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی

۲. دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)

۳. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۳</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹</p> <p>واژه‌های کلیدی: کیفیت هوا، ذرات معلق، تهران.</p>	<p>امروزه هوای بسیاری از شهرهای ایران به‌ویژه کلان‌شهرها با جمعیت بالا، از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشند که این کیفیت نامطلوب به‌دلیل وجود منابع متعدد آلاینده از قبیل خودروها، صنایع، وسایل گرمایشی، فعالیت‌های ساختمانی و تجاری طی چند دهه اخیر می‌باشد و نگرانی‌های بسیاری را در پی داشته است. بنابراین، پایش آلاینده‌های هوا و بررسی تغییرات مکانی و فصلی آن‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف از این پژوهش ارزیابی کیفیت هوا و بررسی تغییرات فصلی و مکانی ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) در شهر تهران می‌باشد. در این پژوهش، از شاخص AQI برای تعیین کیفیت هوای شهر تهران و معرفی آلاینده مسئول استفاده شده است. به منظور بررسی تغییرات ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) در مقیاس های فصلی و مکانی داده‌های ایستگاه‌های آلودگی‌سنجی (۱۸ ایستگاه) شرکت کنترل کیفیت هوا طی ۱۳۹۷ و ۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای matlab و Excel و SPSS، تحلیل و نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری توزیع آلاینده‌ها در مقیاس‌های فصلی و مکانی با نرم‌افزار Arc Gis با تابع تحلیلی درون‌یابی فاصله معکوس (IDW) به‌صورت نقشه‌ها، جداول و نمودارها تهیه و ترسیم شده است. نتایج نشان داد سال ۹۷ حدود ۸۳/۸ درصد در شرایط مطلوب و تنها ۱۶/۲ درصد در شرایط نامطلوب قرار دارد. اما در سال ۹۸ حدود ۷۶/۴ درصد در شرایط مطلوب و ۲۳/۶ درصد در شرایط نامطلوب قرار دارد که علت آن تغییرات میزان بارش و سرعت باد در سال ۹۷ و ۹۸ بوده است. بالاترین غلظت فصلی ذرات معلق (PM_{10}) و ($PM_{2.5}$) را به‌ترتیب فصل تابستان و زمستان و کمترین غلظت فصلی هر دو آلاینده مربوط به فصل بهار می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از درون‌یابی فاصله معکوس (IDW) نشان داد که مناطق غربی، جنوبی و مرکزی شهر تهران بیشتر از سایر مناطق درگیر ذرات معلق (PM_{10}، $PM_{2.5}$) می‌باشند.</p>

استناد: انصاری، مریم، احمدی، محمود، گودرزی، غلامرضا. (۱۴۰۱). تحلیل فضایی کیفیت هوای شهر تهران با تأکید بر ذرات معلق (PM_{10} و

$PM_{2.5}$). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۲)، ۱۰۹-۱۲۸. DOI: 10.22111/jneh.2021.37338.1759



© مریم انصاری، محمود احمدی*، غلامرضا گودرزی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

در حال حاضر، رشد سریع اقتصاد جهانی مسئله آلودگی هوا را تشدید می‌کند و اثرات منفی زیادی بر روی جامعه دارد (اکزو و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه هوای بسیاری از شهرهای ایران به‌ویژه کلان‌شهرها با جمعیت بالا، از کیفیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشند (کرمانی و همکاران، ۱۳۹۵) که این کیفیت نامطلوب به دلیل وجود منابع متعدد آلاینده از قبیل، خودروها، صنایع، وسایل گرمایشی، فعالیت‌های ساختمانی و تجاری، طی چند دهه اخیر می‌باشد و نگرانی‌های بسیاری را در پی داشته است (گلباز و همکاران، ۱۳۸۸). در سال‌های اخیر مهم‌ترین نگرانی هوای بهداشتی شهرها مربوط به آلاینده‌های نوظهور مانند ازن، دی‌اکسید نیتروژن و تغییر در توزیع و اندازه ذرات معلق هوا است (فاتور و همکاران، ۲۰۱۱). از آنجا که آلودگی هوا تأثیر مستقیمی بر روی سلامت انسان‌ها و جانوران و گیاهان می‌گذارد، در نتیجه باعث توجه بیشتر مدیران و پژوهشگران و افراد مرتبط با آلودگی، به این معضل شده است (نور پور و فیض، ۱۳۹۳). بیشتر پژوهش‌های عملی و نظری که در مورد آلودگی هوا بحث می‌کند بیشتر بر ارائه داده‌های مربوط به کیفیت هوا در مناطق شهری متمرکز شده است (سیمنت و همکاران، ۲۰۱۵؛ آمودر و همکاران ۲۰۱۳ و ۱۹۹۸). کیفیت هوا در یک شهر نه تنها به منابع انتشار محلی بلکه به شرایط هوایی هم بستگی دارد (لوو و همکاران، ۲۰۱۸). وضعیت کیفیت هوا در یک منطقه تا حد زیادی توسط قدرت انتشار در ترکیب با هواشناسی تعیین می‌شود. عوامل متعددی بر تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌ها مؤثرند. از جمله این عوامل می‌توان به شرایط آب و هوایی و جغرافیایی، نوع و موقعیت منابع گسیل آلاینده‌ها و آهنگ گسیل آلاینده‌ها اشاره کرد. بنابراین الگوی فصلی و روزانه آلاینده‌ها در مناطق گوناگون یکسان نیست (شرعی پور، ۱۳۸۸). شرایط هواشناسی در کوتاه‌مدت و همچنین در زمان‌بندی طولانی بر روی غلظت آلاینده‌ها در جو تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، شرایط حاد مانند موج‌های گرمایی به‌وسیله دمای بالا، بارش کم و شرایط سرعت کم باد مشخص می‌شوند که انتظار می‌رود فراوانی رخداد آنها در آینده بیشتر باشد (مویس و همکاران، ۲۰۱۲). تجمع اکثر مردم در نقاط شهری و توقف استاندارد بالای زندگی با حداقل قیمت بدون توجه به محیط‌زیست، باعث افزایش غلظت آلودگی هوا در حد خطرناک و قابل توجه گردیده است (عزیزی فر و همکاران، ۱۳۹۰). ترافیک جاده‌ای یکی از منابع مهم آلودگی محیطی در مناطق شهری است، درحالی‌که فعالیت‌های انسانی دیگر مانند نیروگاه‌ها، صنایع و فعالیت‌های مسکونی اهمیت کمتری دارند (باکو و همکاران، ۲۰۱۱). در سال‌های اخیر با روند صنعتی شدن و افزایش تعداد وسائط نقلیه، کیفیت هوای شهرها در ایران روند کاهشی داشته است. براساس نتایج حاصل از مطالعه کرمانی و همکاران در سال ۹۰، مقادیر شاخص AQI^1 شهرهای بزرگ ایران مانند تهران، اصفهان، اراک، مشهد و تبریز در بیشتر از ۸۰ روز از سال بیشتر از مقادیر استاندارد مجاز سازمان محیط‌زیست ایران بوده است (مختاری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۶).

یکی از اقدامات مهم و مؤثر کنترل کیفیت هوا تعیین میزان واقعی آلاینده‌ها و توصیف کیفیت هوا در مقایسه با شرایط استاندارد است. بدین منظور می‌توان از شاخص‌هایی مانند شاخص کیفیت هوا، شاخص آلودگی هوا^۲ و شاخص استاندارد آلودگی^۳ استفاده نمود (ندافی و همکاران، ۱۳۸۷) که از بین آنها شاخص کیفیت هوا معمول‌ترین ابزار

¹ Air quality index

² Air pollution index

³ pollutant standard index

کلیدی جهت آگاهی از کیفیت هوا و روش‌های محافظتی در برابر آلودگی هوا است. از دیگر اقدامات کنترل آلودگی هوا کنترل مستقیم دولت می‌باشد (ژائوو و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴؛ زینگ و همکاران، ۲۰۱۷).

تقریباً تمام شهرهای پرجمعیت ایران در لیست مناطق با هوای ناسالم قرار دارند (قلی زاده و همکاران، ۱۳۸۸). شهر تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان به شمار می‌رود (گرادل و سرووزن، ۱۹۹۳). طبق مطالعات محیط‌زیست تهران، ۷۰٪ مرگ و میرها در تهران ناشی از مشکلات تنفسی و قلبی است که این مشکلات ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با آلودگی هوای تهران دارد (قلی زاده و همکاران، ۱۳۸۸).

عوامل متعددی در آلودگی هوای تهران دخالت دارند که در بین آنها عوامل جغرافیایی از اهمیت بیشتری برخوردارند. شهر تهران در دامنه جنوبی البرز در یک محیطی نیم‌بسته قرار دارد و این کوه‌ها مانند سد جلوی بادهای غربی را سد کرده و سبب می‌شود که همه آلاینده‌ها در سطح شهر باقی بمانند. وجود شرایط وارونگی دما و استقرار سیستم‌های پرفشار نیز از ویژگی‌های طبیعی منطقه است که نمی‌توان آن را تعدیل کرد. عوامل انسانی مانند جمعیت زیاد، استقرار کارخانه‌ها و صنایع، حمل‌ونقل و ترافیک میزان آلودگی شهرها را دوچندان کرده است (صفوی و علیجانی، ۱۳۸۵). کلان‌شهر تهران دارای جمعیت ۷۷۰۵۰۳۶ نفر و مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع است. افراد مسن، کودکان، بیماران قلبی-عروقی، مادران باردار و جنین آنها افرادی هستند که بیشتر از همه تحت تأثیر آلودگی هوا قرار دارند. از طرفی وضعیت بحرانی آلودگی هوای تهران در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مسائل روز بهداشتی محسوب می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعات متنوعی در زمینه شاخص کیفیت هوا در ایران و سایر کشورها صورت گرفته است، از جمله مطالعه دهقانی و همکاران (۱۳۹۳) تحت عنوان تعیین کیفیت بهداشتی هوای شهر کاشان بر اساس شاخص کیفیت هوا نشان داد که ۱۸۷ روز کیفیت هوا از حد استاندارد تجاوز کرده و ازن، ذرات معلق و مونوکسید کربن بیشترین سهم را به‌عنوان آلاینده مسئول آلودگی هوا در این شهر داشتند. صفوی و همکاران (۱۳۹۵) پهنه-بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های محیطی هوای شهر تبریز را بررسی کردند. نتایج نشان داد که دو عامل مهم آلودگی هوای شهر تبریز آلاینده ذرات معلق^۱ کمتر از ۲/۵ میکرون و مونوکسید کربن هستند و بیشترین وقایع آلودگی مربوط به فصل‌های سرد می‌باشند. میری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت بهداشتی هوا در شهر مشهد با سامانه اطلاعات جغرافیایی گزارش کردند که در اکثر روزها کیفیت بهداشتی هوای شهر مشهد خوب و متوسط است و آلاینده مسئول آلودگی هوا ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون و دی‌اکسید نیتروژن بود. حیدری و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا در شهر کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که مسئول آلودگی کیفیت هوای شهر کرمان ذرات معلق بودند که این وضعیت ممکن است ناشی از طوفان‌های گردوغبار محلی و منطقه‌ای (به‌خصوص از مناطق جنوب غربی ایران و همچنین منطقه سیستان) باشد. صفوی و همکاران (۱۳۹۵) به پهنه‌بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های هوای محیطی شهر تبریز پرداختند. نتایج نشان داد دو عامل مهم آلودگی هوای شهر تبریز ذرات معلق PM_{10} و منواکسید کربن هستند و بیشترین وقایع آلودگی مربوط به فصل‌های سرد سال می‌باشد. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات زمانی- مکانی ذرات معلق PM_{10} را در شهر تبریز تحلیل کردند، نتایج نشان داد که در همه

¹ Particulate matter

ایستگاه‌ها بیشترین رخداد فراوانی PM_{10} در فصل تابستان (ماه اوت) بوده و در فصل زمستان در بیشتر ایستگاه‌ها غلظت این آلاینده به کمترین حد خود رسیده است. رنجبر و باهک (۱۳۹۸) به تحلیل تغییرات زمانی- مکانی آلاینده‌های هوای نیمه شمالی شهر تهران در سال ۹۸ پرداختند. بر اساس نتایج مطالعه غلظت سه آلاینده مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در زمستان به حداکثر می‌رسد، اما غلظت ذرات معلق و ازن تروپوسفری در تابستان بیشتر است. رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) پهنه‌بندی کیفیت هوا را بر اساس ذرات معلق در پایانه‌های متروی تهران بررسی کردند. نتایج نشان داد شاخص کیفیت هوا در اکثر مناطق در پاییز و زمستان در دامنه ناسالم قرار گرفت. غلظت ذرات معلق $2/5$ میکرون در فصل زمستان و پاییز به مراتب بیشتر از بهار و تابستان بود. پژوهش‌های انجام‌شده در بعضی از شهرهای بزرگ دنیا مانند پکن، حاکی از آلودگی هوا در بیش از ۸۰ درصد روزهای سال بوده و آلاینده مسئول در بیشتر روزها ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون شناسایی گردیده است (موو و همکاران، ۲۰۱۴). در مطالعه‌ای که بر روی ارزیابی شاخص کیفیت هوا در شهرهای بزرگ ایالت چاتیسگره کشور هند انجام شد شاخص کیفیت هوا در شهرهای راپور، بیلاسپور و رایگار به ترتیب ۳۸۰، ۳۰۸ و ۲۲۳ بود. بالا بودن شاخص‌ها در این شهرها به دلیل وجود تعداد زیادی از وسایل نقلیه همراه با افزایش جمعیت گزارش شد (ورما و همکاران، ۲۰۱۵). حیدرنژاد و همکاران (۲۰۱۸) شاخص کیفیت هوای شهر کرمان را در فصل‌های مختلف سال ۲۰۱۵ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد روزهای ناسالم در فصل زمستان مربوط به ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون و ازن می‌باشد و مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید سولفور و ذرات معلق کمتر از ۲ و نیم میکرون به‌عنوان شاخص کیفیت هوا در فصل بهار می‌باشد. همچنین در فصل بهار به ترتیب ۳۳ و ۹ روز از نظر آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲ و نیم میکرون و ۱۰ میکرون دارای شرایط نامساعدی هستند. بنابراین، آلاینده مسئول آلودگی هوا در کرمان ذرات معلق کمتر از ۲ و نیم بود. ایکزین و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات زمانی- مکانی و عوامل مؤثر در تجزیه و تحلیل غلظت $PM_{2.5}$ را در استان جیلین در شمال شرقی چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که غلظت $PM_{2.5}$ در استان جیلین ۴۹ میکروگرم در متر مکعب بود یعنی $1/5$ برابر استاندارد میانگین سالانه چین. همچنین نتایج نشان داد الگوهای فصلی در اواخر پاییز و اوایل زمستان نسبت به فصل‌های دیگر طولانی‌تر است. بر اساس بررسی نتایج کیفیت هوا در شهر چیتاگونگ، مقادیر مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید سولفور، ازن و هیدروکربن‌ها در هوای این شهر در محدوده مجاز بود. با افزایش نرخ رشد آلودگی هوا در این شهر، شاخص کیفیت هوا افزایش یافته و آلاینده مسئول آلودگی هوا در این شهر ذرات معلق کمتر از $2/5$ میکرون گزارش شد (هاکو، ۲۰۱۸).

نتایج مطالعات مختلف نشان داد ذرات معلق بیشترین سهم را در آلودگی هوای شهرها به عهده دارند. بعلاوه غلظت بالای این ذرات می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف از جمله بیماری‌های قلبی و مشکلات تنفسی و ریوی را افزایش دهند که هر چه اندازه این ذرات کوچک‌تر باشد به راحتی می‌توانند از طریق دستگاه تنفسی وارد بدن انسان شوند. آگاهی از اینکه یکی از معضلات اساسی محیط زیستی شهر تهران آلودگی هوا و افزایش آلاینده‌های مختلف به‌ویژه ذرات معلق در سال‌های اخیر می‌باشد، باعث شده تا تغییرات فصلی و مکانی ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) را در آلوده‌ترین شهر ایران مشخص نماییم. بنابراین هدف اصلی این پژوهش مشخص نمودن آلاینده مسئول آلودگی هوای شهر تهران و تعیین تغییرات فصلی و مکانی ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) می‌باشد. نتایج حاصل می‌تواند در

بحث مدیریت آلودگی هوا به خصوص برنامه‌ریزی جهت مدیریت کنترل ذرات معلق و کاهش آلودگی هوا مورد استفاده برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان شهری قرار گیرد.

داده‌ها و روش

این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. مراحل انجام مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

الف- داده‌های مورد نیاز این پژوهش شامل (ازن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، مونوکسید کربن و ذرات معلق کمتر از ۱۰ و ۲ و نیم میکرون) سال ۹۷ و ۹۸ می‌باشد که از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران اخذ گردید. این داده‌ها به صورت ساعتی اندازه‌گیری شده است.

ب- سپس شاخص کیفیت هوا برای آلاینده‌های معیار (ازن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، مونوکسید کربن و ذرات معلق کمتر از ۱۰ و ۲ و نیم میکرون) محاسبه گردید.

ج- با استفاده از رابطه (۱)، مقدار شاخص روزانه برای تمام غلظت‌های استاندارد شده آلاینده‌های مورد نظر در هر ایستگاه به صورت جداگانه محاسبه و بالاترین میزان از بین شاخص‌های محاسبه شده تمامی ایستگاه‌ها به عنوان شاخص کیفی هوا در شهر تهران در نظر گرفته شد (مرکز سلامت محیط و کار، ۱۳۹۴).

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{LO}}{BP_{Hi} - BP_{LO}} (C_p - BP_{LO}) + I_{LO} \quad (1)$$

که در این رابطه:

$I_p = P$ شاخص کیفیت هوا برای آلاینده

$C_p = P$ غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده

BP_{Hi} = نقطه شکستی که بزرگ‌تر یا مساوی C_p است

BP_{LO} = نقطه شکستی که کوچک‌تر یا مساوی C_p است

$I_{Hi} = AQI$ منطبق با مقدار BP_{Hi}

$I_{LO} = AQI$ منطبق با مقدار BP_{LO}

د- آلاینده‌ای که بالاترین میزان شاخص کیفیت هوا را داشت، به عنوان آلاینده مسئول آلودگی هوا تعیین گردید.

ه- با استفاده از دستور کد نویسی در نرم‌افزار MATLAB میانگین ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$) در بازه زمانی (ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه و فصلی) مشخص شد و سپس گراف‌های مورد نیاز در Excel ترسیم گردید. نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$) برای فصل‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار Arc Gis با تابع تحلیلی درون‌بایی فاصله معکوس (IDW^1) ترسیم شد و سپس رابطه بین ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون (رابطه ۲) طی ساعات مختلف، روزهای هفته، ماهانه و فصلی تعیین گردید.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (2)$$

¹ Inverse distance weighting

جدول (۱) نقاط شکست جهت محاسبه شاخص کیفیت هوا را نشان می‌دهد.

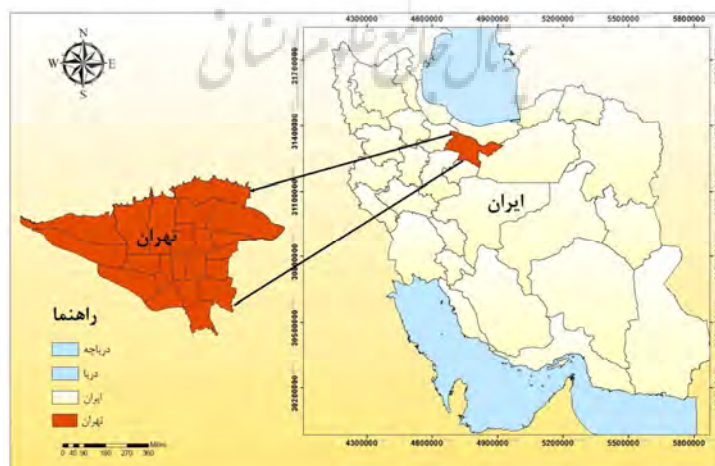
جدول ۱: نقاط شکست (بر اساس الگوی EPA) برای محاسبه AQI

تربقیه بندی کیفیت هوا	AQI	NO2(ppm) ۱ ساعته	SO2(ppm) ۲۴ ساعته	CO(ppm) ۸ ساعته	PM10(mg/m3) ۲۴ ساعته	PM2.5(mg/m3) ۲۴ ساعته	O3(ppm) یک ساعته	O3(ppm) ۸ ساعته
پاک	۰-۵۰	۰-۵۳	۰-۳۵	۰-۴/۴	۰-۵۴	۰-۱۲	-	۰-۰/۰۵۹
سالم	۵۱-۱۰۰	۵۴-۱۰۰	۳۶-۷۵	۴/۵-۹/۴	۵۵-۱۵۴	۱۲/۱-۳۵/۴	-	۰/۰۶-۰/۰۷۵
ناسالم برای گروه‌های حساس	۱۰۱-۱۵۰	۱۰۱-۳۶۰	۷۶-۱۸۵	۹/۵-۱۲/۴	۱۵۵-۲۵۴	۳۵/۵-۵۵/۴	-۰/۱۶۴ ۰/۱۲۵	-۰/۰۹۵ ۰/۰۷۶
ناسالم	۱۵۱-۲۰۰	۳۶۱-۶۴۹	۱۸۶-۳۰۴	۱۲/۵-۱۵/۴	۲۵۵-۳۵۴	۵۵/۵-۱۵۰/۴	-۰/۲۰۴ ۰/۱۶۵	-۰/۱۱۵ ۰/۰۹۶
خیلی ناسالم	۲۰۱-۳۰۰	۶۵۰-۱۲۴۹	۳۰۵-۶۰۴	۱۵/۵-۳۰/۴	۳۵۵-۴۲۴	۱۵۰/۵-۲۵۰/۴	-۰/۴۰۴ ۰/۲۰۵	-۰/۳۷۴ ۰/۱۱۶
خطرناک	۳۰۱-۴۰۰ ۴۰۱-۵۰۰	۱۲۵۰-۱۶۴۹ ۱۶۵۰-۲۰۴۹	۶۰۵-۸۰۴ ۸۰۵-۱۰۰۴	۳۰/۵-۴۰/۴ ۴۰/۵-۵۰/۴	۴۲۵-۵۰۴ ۵۰۵-۶۰۴	۲۵۰/۵-۳۵۰/۴ ۳۵۰/۵-۵۰۰/۴	-۰/۵۰۴ ۰/۴۰۵ -۰/۶۰۴ ۰/۵۰۵	*

و- بر اساس شاخص کیفیت هوا، کیفیت بهداشتی هوا به گروه‌های پاک، سالم، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک طبقه‌بندی شده است و هر گروه با رنگ خاص که بیانگر سطح متفاوت از تأثیر آلودگی هوا بر سلامتی است، نشان داده می‌شود. بعد از محاسبه شاخص نهایی روزانه، تعداد روزهایی که در طبقات شش‌گانه شاخص کیفیت بهداشتی هوا در سال ۹۷ و ۹۸ قرار گرفته بود نیز مشخص شد.

ز- در نهایت شاخص کیفیت هوای شهر تهران در سال ۹۷ و ۹۸ مورد مقایسه قرار گرفت.

شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر تهران در ایران، شکل (۲) پراکندگی ایستگاه‌های آلاینده هوا در شهر تهران و جدول (۲) مشخصات ایستگاه‌های آلودگی هوا را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر تهران در ایران



شکل ۲. پراکندگی ایستگاه‌های آلاینده هوا در شهر تهران

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های آلودگی هوا در شهر تهران. منبع: شرکت کنترل کیفیت هوای تهران

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	اتوبان محلاتی	۳۵,۶۶۱۰۸۳	۵۱,۴۶۶۳۶
۲	اقدسیه	۳۵,۷۹۵۸۷	۵۱,۴۸۴۱۴
۳	پونک	۳۵,۷۶۲۳	۵۱,۳۳۱۶۸
۴	پیروزی	۳۵,۶۹۵۹۹	۵۱,۴۹۳۷۶
۵	تربیت مدرس	۳۵,۷۱۷۵۱	۵۱,۳۸۵۹۰۹
۶	ستاد بحران	۳۵,۷۲۷۰۸	۵۱,۴۳۱۲
۷	شادآباد	۳۵,۶۷۰۰۵	۵۱,۲۹۷۳۵
۸	شریف	۳۵,۷۰۲۲۷	۵۱,۳۵۰۹۴
۹	شهر ری	۳۵,۶۰۳۶۳	۵۱,۴۲۵۷۱
۱۰	شهرداری منطقه ۲	۳۵,۷۷۷۰۸۹	۵۱,۳۶۸۱۷۵
۱۱	شهرداری منطقه ۱۶	۳۵,۶۴۴۵۸۴	۵۱,۳۹۷۶۵۷
۱۲	شهرداری منطقه ۱۹	۳۵,۶۳۵۲۱	۵۱,۳۶۲۵۲
۱۳	شهرداری منطقه ۲۱	۳۵,۶۹۷۷۷۳	۵۱,۲۴۳۱۱
۱۴	شهرداری منطقه ۲۲	۳۵,۷۲۳۳۹۸	۵۱,۲۴۳۶۴
۱۵	صدر	۳۵,۷۷۸۲۳۲	۵۱,۴۲۸۶۲۳
۱۶	گلبرگ	۳۵,۷۳۱۰۳	۵۱,۵۰۶۱۳
۱۷	مسعودیه	۳۵,۶۳۰۰۳	۵۱,۴۹۹۰۲
۱۸	میدان فتح	۳۵,۶۷۸۸۲	۵۱,۳۳۷۵۳

یافته‌های پژوهش

الف- ارزیابی شاخص کیفیت هوا در سال ۹۷ و ۹۸

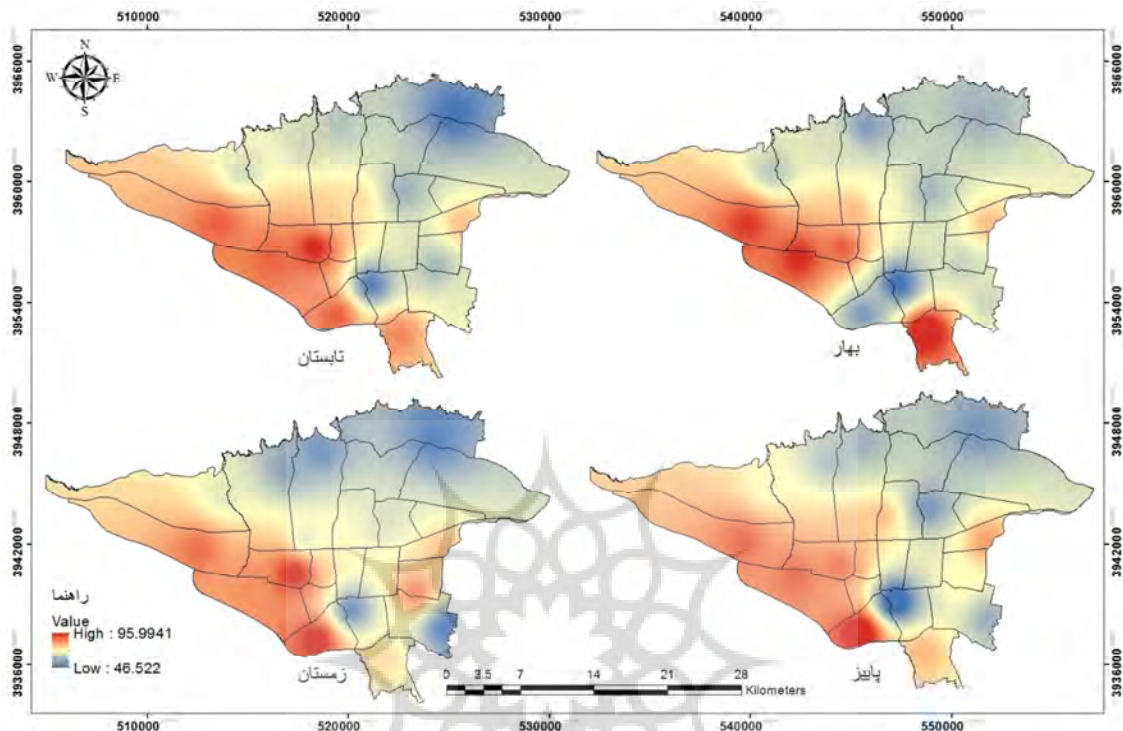
با استفاده از شاخص کیفیت هوا (شاخص AQI) کیفیت هوا در سال ۹۷ و ۹۸ بر حسب تعداد روز ارزیابی و در ۶ طبقه (پاک، سالم، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) مورد بررسی قرار گرفت جدول (۳).

جدول ۳: ارزیابی شاخص کیفیت هوا در سال ۹۷ و ۹۸ (بر حسب تعداد روز)

سال ۱۳۹۸	سال ۱۳۹۷	شاخص AQI	طبقه‌بندی کیفیت هوا
۲۹	۲۸	۰-۵۰	پاک
۲۵۰	۲۷۸	۵۱-۱۰۰	سالم
۸۱	۵۹	۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس
۵	۰	۱۵۱-۲۰۰	ناسالم
۰	۰	۲۰۱-۳۰۰	بسیار ناسالم
۰	۰	۳۰۱-۴۰۰	خطرناک
		۴۰۱-۵۰۰	

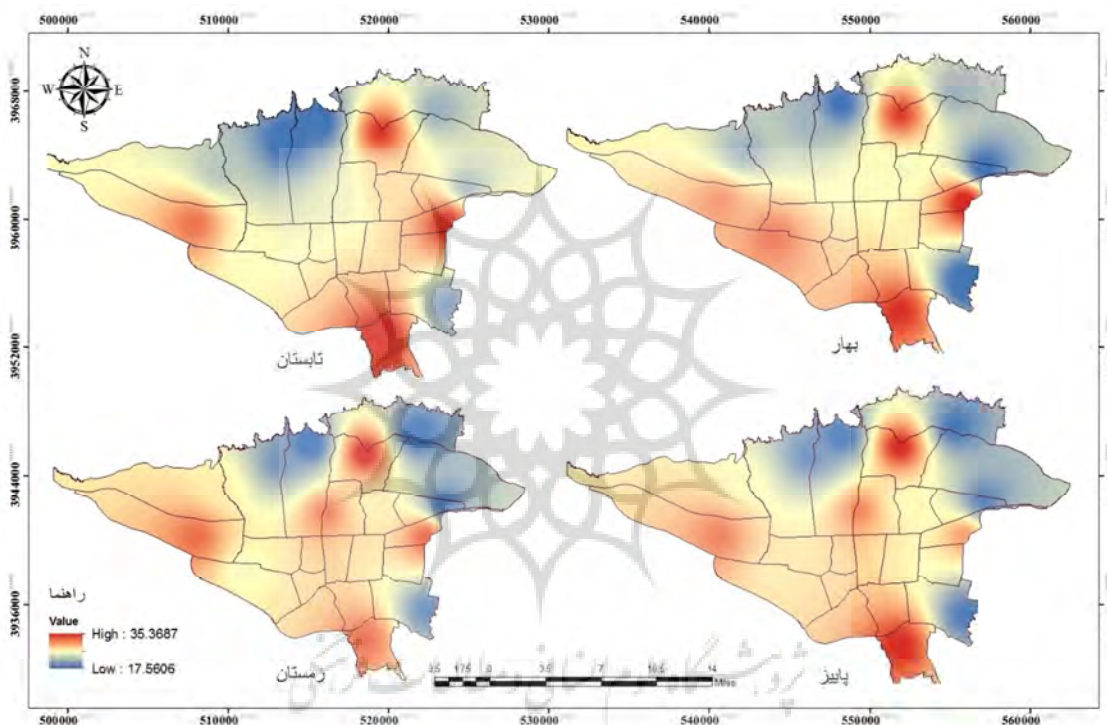
بر اساس جدول (۳) بیشترین تعداد روزهای پاک در سال ۹۸ رخ داده است و در مجموع ۲۷۹ روز در شرایط مطلوب (۲۹ روز پاک و ۲۵۰ روز سالم) و ۸۶ روز در شرایط نامطلوب (۸۱ روز ناسالم برای گروه‌های حساس و ۵ روز ناسالم) بوده است. به علت شرایط جوی مناسب در سال ۹۷ با کمترین روز آلوده (۵۹ روز) و بیشترین شرایط مطلوب (۳۰۶ روز) روبه‌رو بوده است. کیفیت هوا از نظر شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۹۷ و ۹۸ مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۴ و ۵).

ب- نتایج حاصل از تغییرات مکانی ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) در شهر تهران
تغییرات مکانی ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$) شهر تهران به صورت فصلی با استفاده از روش IDW مشخص و نتایج به صورت نقشه در شکل (۳) و (۴) ارائه شده است.

شکل ۳. تغییرات مکانی ذرات معلق (PM_{10})

تغییرات مکانی ذرات معلق (PM_{10}) برای فصل‌های مختلف با استفاده از روش IDW ترسیم شده است. این آلاینده‌ها توزیع متفاوتی را در فصول متفاوت نشان می‌دهند. کمترین توزیع غلظت ذرات معلق (PM_{10}) مربوط به فصل بهار می‌باشد که ایستگاه‌های شهری در جنوب تهران، شهرداری منطقه ۲۱ و ۲۲ در غرب، ایستگاه‌های شادآباد در جنوب غرب و میدان فتح و شریف در قسمت‌های مرکزی شهر تهران حداکثر میزان ذرات معلق (PM_{10}) را به خود اختصاص داده‌اند. در فصل بهار کمترین غلظت ذرات معلق (PM_{10}) مربوط به ایستگاه شهرداری منطقه ۱۶ حدود (۴۱ میکروگرم در متر مکعب) و حداکثر غلظت (۹۸ میکروگرم در متر مکعب) مربوط به ایستگاه شهری در جنوب تهران می‌باشد. همچنین فصل تابستان ایستگاه شهرداری منطقه ۲۱ در شمال شرق تهران دارای حداکثر غلظت (۱۱۰ میکروگرم در متر مکعب) و ایستگاه اقدسیه در شمال تهران دارای (۵۱ میکروگرم در متر مکعب) کمترین میزان غلظت ذرات معلق (PM_{10}) می‌باشند. حداکثر غلظت ذرات معلق (PM_{10}) در فصل پاییز را ایستگاه شهرداری منطقه ۱۹ با غلظت (۱۰۰ میکروگرم در متر مکعب) و حداقل غلظت (۳۰ میکروگرم در متر مکعب) را ایستگاه شهرداری منطقه ۱۶ به خود اختصاص داده است. فصل زمستان توزیع غلظت ذرات معلق (PM_{10}) نسبت به دیگر فصل‌ها فراگیرتر می‌باشد. توزیع غلظت ذرات معلق (PM_{10}) در فصل زمستان نشان می‌دهد که شهرداری منطقه ۱۹ با غلظت (۹۶ میکروگرم در متر مکعب) حداکثر و ایستگاه شهرداری منطقه ۱۶ دارای حداقل غلظت (۳۰ میکروگرم در متر مکعب) می‌باشد. در مجموع ایستگاه‌های واقع در مناطق شمالی تهران شامل: اقدسیه، منطقه ۲، ستاد بحران و پونک

در همه فصل‌ها غلظت نسبتاً پایینی را دارا هستند و ایستگاه پیروزی در شرق تهران و همین‌طور ایستگاه‌های واقع در غرب، جنوب غرب و مناطق جنوبی شهر تهران دارای بیشترین میزان غلظت ذرات معلق (PM_{10}) می‌باشند. بیشترین غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در مناطقی دیده می‌شود که بیشتر در معرض گردوغبار با منشأ خارج از شهر تهران هستند. گفتنی است علاوه بر تأثیر ترافیک و پدیده گردوغبار، فعالیت‌های منابع ساکن آلودگی هوا از جمله فعالیت‌های ساختمانی و پروژه‌های عمرانی در اطراف ایستگاه‌ها نیز در انتشار این آلاینده مؤثر می‌باشند.



شکل ۴. تغییرات مکانی ذرات معلق ($PM_{2.5}$)

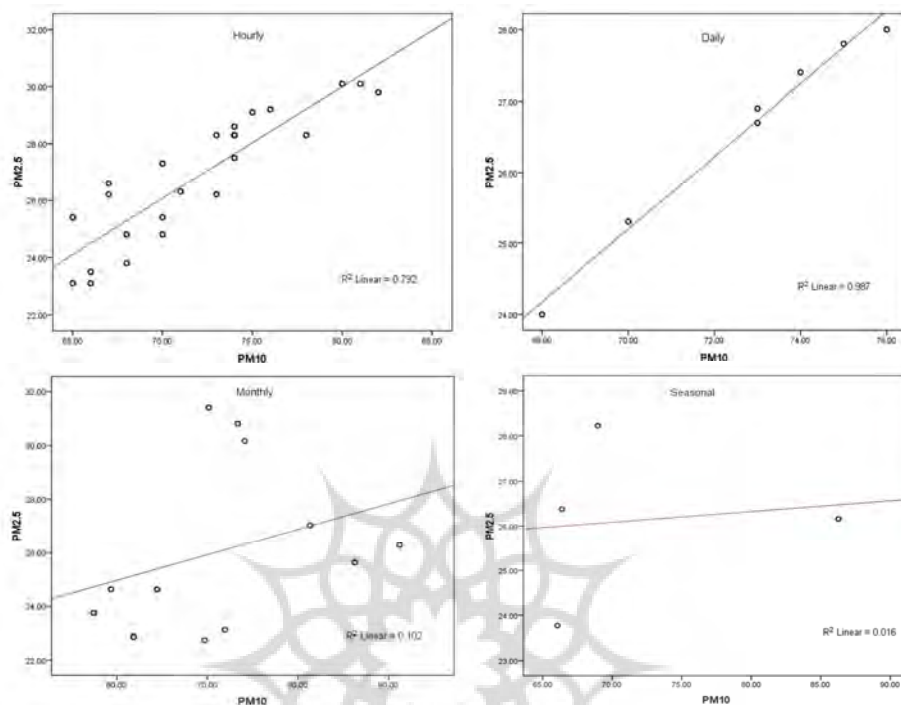
شکل (۴) توزیع غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) را در ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلاینده هوا نشان می‌دهد. بر اساس شکل بالا، بیشترین غلظت (۴۰ میکروگرم در متر مکعب) این آلاینده هوا در فصل مربوط به ایستگاه صدر می‌باشد و بعد از آن ایستگاه‌های پیروزی و شهرری در جنوب تهران با غلظت (۳۶ میکروگرم در متر مکعب) و شهرداری منطقه ۲۱ با غلظت (۳۵ میکروگرم در متر مکعب) در رده‌های بعدی قرار دارند. حداقل غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) در فصل زمستان شهر تهران را ایستگاه‌های اقدسیه و شهرداری منطقه ۲ در شمال تهران به خود اختصاص داده است. در فصل بهار ایستگاه پیروزی در جنوب شرق تهران حداکثر غلظت (۳۰ میکروگرم در متر مکعب) ذرات معلق ($PM_{2.5}$) و ایستگاه‌های مسعودیه در جنوب شرق و شهرداری منطقه ۲ در شمال تهران به ترتیب با غلظت (۱۷ میکروگرم در متر مکعب) و (۱۸ میکروگرم در متر مکعب) حداقل غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) را در فصل بهار دارند. در فصل پاییز

ایستگاه‌های شهری در جنوب و صدر در قسمت‌های شمالی با غلظت (۳۸ میکروگرم در متر مکعب) حداکثر و ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۲ و اقدسیه در شمال تهران به ترتیب با غلظت (۱۵ میکروگرم در متر مکعب) و (۱۶ میکروگرم در متر مکعب) حداقل غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) را به خود اختصاص داده‌اند. اما در فصل تابستان حداکثر غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) مربوط به ایستگاه‌های پیروزی در جنوب شرق و شهری در جنوب تهران با غلظت (۳۵ میکروگرم در متر مکعب) و حداقل غلظت مربوط به ایستگاه‌های اقدسیه و شهرداری منطقه ۲ در شمال تهران با غلظت (۳۵ میکروگرم در متر مکعب) می‌باشد. در مجموع تجمع ذرات معلق ($PM_{2.5}$) در شهر تهران طی فصول مختلف در قسمت‌های شمال غرب، غرب، جنوب، قسمت‌های مرکزی، ایستگاه پیروزی در شرق و ایستگاه صدر در شمال تهران می‌باشد. بیشترین غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) شهر تهران مربوط به فصل زمستان می‌باشد. عامل اصلی در تجمع آلاینده یادشده را می‌توان افزایش برقراری شرایط جوی پایدار در سطح منطقه، احتمال وقوع وارونگی دمایی شدید در لایه نزدیک سطح زمین و ازدیاد حجم تردد خودروها طی ماه‌های سرد سال دانست. در ماه‌های مربوط به پاییز و زمستان تجمع قابل توجه غلظت ($PM_{2.5}$) در برخی مناطق شهر تهران به ویژه مناطق مرکزی و جنوبی مشاهده شده است که این روند با توجه به عوامل مؤثر در پراکنش یا تشدید غلظت آلاینده‌ها از جمله توپوگرافی شهر تهران، جریان بادهای محلی، الگوی تردد خودروها، جایگاه کارخانجات و صنایع اطراف تهران و غیره به نسبت هماهنگ است. با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون رابطه بین غلظت ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$) در بازه‌های زمانی ساعتی، روزانه، ماهانه و فصلی محاسبه شده است. جدول (۴) نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$) را در شهر تهران نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج حاصل از همبستگی بین ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$)

$PM_{10}/PM_{2.5}$	فصلی	ماهانه	روزانه	ساعتی
Correlation	۰/۱۲۷	۰/۳۱۹	۰/۹۳۳	۰/۸۹۰
Sig	۰/۸۷۳	۰/۳۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

نتایج حاصل از همبستگی پیرسون (شکل ۵) بین ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) در بازه‌های زمانی ساعتی، روزانه، ماهانه و فصلی نشان می‌دهد که این آلاینده‌ها در بازه‌های ساعتی و روزانه با ضریب همبستگی (۰/۸۹۰) و (۰/۹۳۳) و سطح معناداری (۰/۰۰۰) همبستگی مستقیمی دارند. اما در بازه‌های فصلی و ماهانه هیچ نوع همبستگی بین این آلاینده‌ها وجود ندارد.



شکل ۵: همبستگی بین ذرات معلق (PM_{10} , $PM_{2.5}$) در بازه‌های زمانی ساعتی، روزانه، ماهانه و فصلی

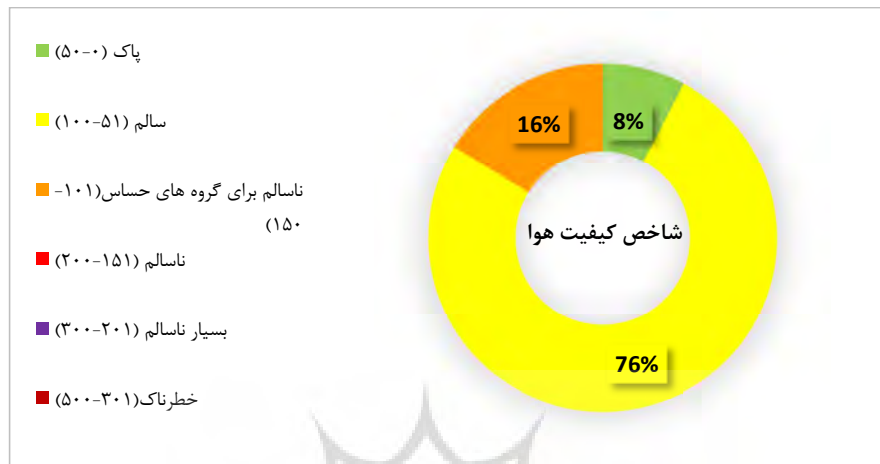
نتایج و بحث

الف- مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص AQI در سال ۹۷ و ۹۸ بعد از ارزیابی کیفیت هوا برای سال‌های ۹۷ و ۹۸، تعداد روزهای شرایط مطلوب (پاک و سالم) و نامطلوب (ناسالم) برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) نسبت به کل روزهای سال محاسبه گردید و سپس مورد مقایسه قرار گرفته شد جدول (۵) و اشکال (۷۶).

جدول ۵: مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص AQI در سال ۹۷ و ۹۸

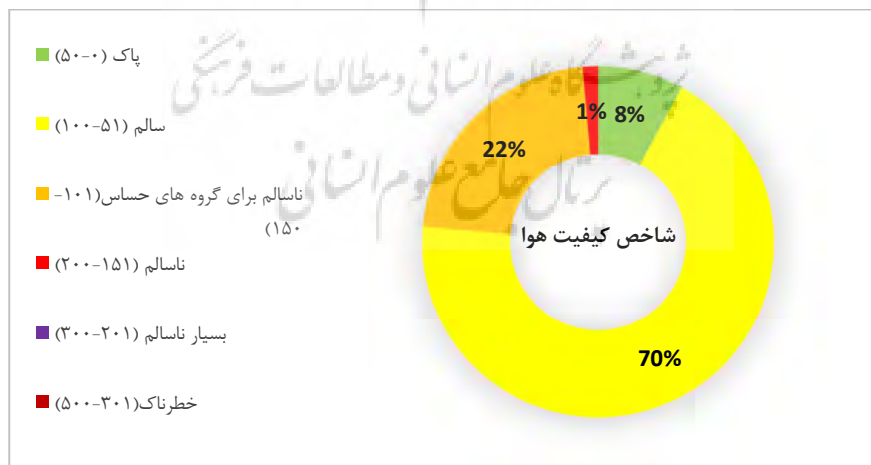
سال	شرایط مطلوب	شرایط نامطلوب
۱۳۹۷	۸۳/۸	۱۶/۲
۱۳۹۸	۷۶/۴	۲۳/۶

بر اساس جدول (۵) سال ۹۷ با ۸۳/۸ درصد شرایط مطلوب (پاک و سالم) و ۱۶/۲ درصد شرایط نامطلوب (ناسالم) برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) از نظر شاخص AQI نسبت به سال ۹۸ وضعیت بهتری را نشان می‌دهد. سال ۹۸ نیز در وضعیت ۷۶/۴ درصد شرایط مطلوب (پاک و سالم) و ۲۳/۶ درصد شرایط نامطلوب (ناسالم) برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) قرار دارد.



شکل ۶: مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص AQI در سال ۹۷

بر اساس شکل (۶) در مجموع سال ۹۷ از نظر شاخص AQI ۷۶/۱٪ از روزها در طبقه سالم و ۷/۷٪ در طبقه پاک قرار گرفته‌اند. تنها ۱۶/۲٪ از روزها در طبقه ناسالم برای گروه‌های حساس قرار گرفته‌اند. درصد روزهای ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک در سال ۹۷ صفر می‌باشد (توزیع درصد هر یک از طبقات به صورت ارقام رند بر روی نمودار نشان داده شده است).

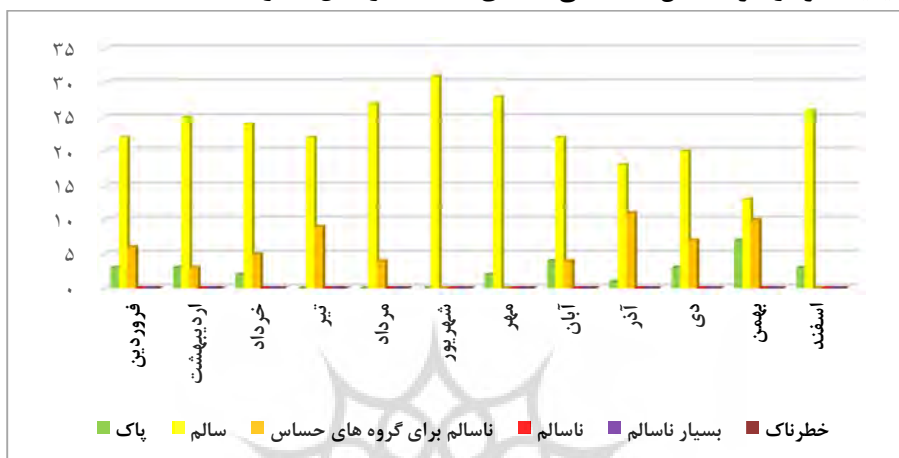


شکل ۷: مقایسه درصد روزهای با شرایط مطلوب و نامطلوب از نظر شاخص AQI در سال ۹۸

بر اساس شکل (۷) به طور کلی سال ۹۸ از نظر شاخص AQI ۷/۹٪ از روزها در طبقه پاک و ۶۸/۵٪ از روزها در طبقه سالم قرار گرفته‌اند. حدود ۲۲/۲٪ از روزهای سال را طبقه ناسالم برای گروه‌های حساس به خود اختصاص داده

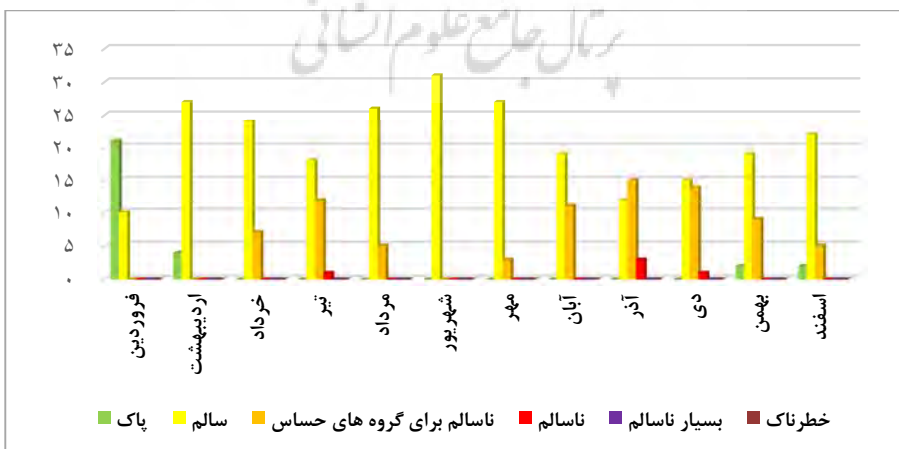
است. برخلاف سال ۹۷ که درصد روزهای ناسالم صفر بود اما در سال ۹۸ نزدیک به ۱/۴٪ از روزها در طبقه ناسالم قرار گرفته است (توزیع درصد هر یک از طبقات به صورت ارقام رند بر روی نمودار نشان داده شده است).

ب- مقایسه کیفیت هوا از نظر شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۹۷ و ۹۸



شکل ۸: کیفیت هوا از نظر شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۹۷ (بر حسب تعداد روز)

بر اساس شکل (۸) بیشترین تعداد روز نامطلوب در آذرماه با ۱۱ روز مشاهده می‌گردد و پس از آن بهمن ماه دارای ۱۰ روز ناسالم برای گروه‌های حساس بوده است که البته در بهمن ماه بیشترین تعداد روز پاک (۷ روز) مشاهده می‌گردد که علت آن را اختلاف سرعت باد (سال ۹۷ با سرعت باد ۳ متر بر ثانیه و ۹۸ با سرعت باد ۴ متر بر ثانیه) در این ماه و همچنین بارش ۴۰ میلی متری دانست. بیشترین تعداد روزهای آلوده نیز در تابستان طی تیر ماه با ۹ روز اتفاق افتاده است. همان‌طور که بیان گردید ماه‌های شهریور، مهر و اسفند بدون داشتن حتی ۱ روز آلوده مطلوب‌ترین ماه‌های سال بوده‌اند، هر چند بهمن ماه با داشتن ۷ روز پاک از این لحاظ رکوردار بوده است.



شکل ۹: کیفیت هوا از نظر شاخص AQI طی ماه‌های مختلف در سال ۹۸ (بر حسب تعداد روز)

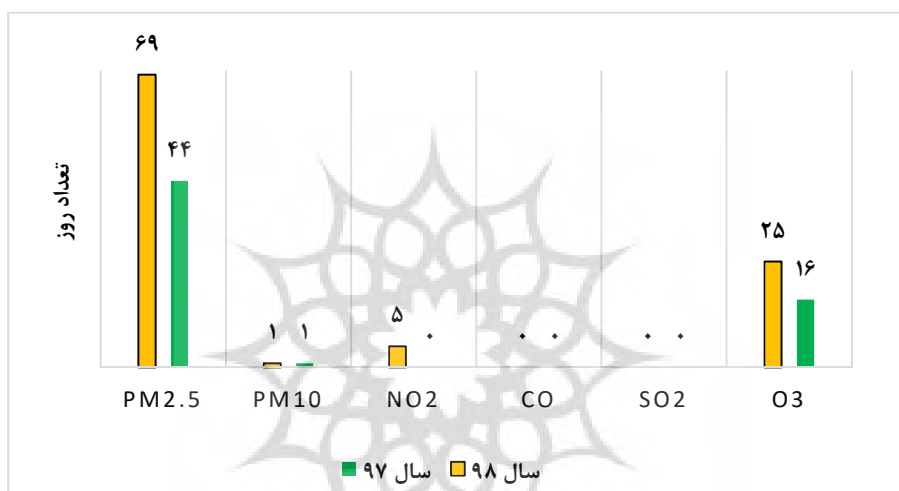
بر اساس شکل (۹) بیشترین تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس در آذر ماه مشاهده گردید (۱۵ روز) و پس از آن دی ماه با ۱۴ روز و سپس تیر ماه با ۱۲ روز رتبه سوم از نظر تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس را به خود اختصاص داده است. در مجموع در ماه‌های آذر و دی میزان بارش نسبت به سال ۹۷ کمتر بوده است. در سال ۱۳۹۸ فروردین ماه با داشتن ۲۱ روز پاک و ۱۰ روز سالم از شرایط بسیار مطلوبی برخوردار بوده است که علت آن را می‌توان بارش بالای ۱۰۰ میلی‌متر در این ماه دانست. کیفیت هوا در سال ۹۷ و ۹۸ از منظر آلاینده‌های مختلف (بر حسب تعداد روز) مورد مقایسه قرار گرفت جدول (۶).

جدول ۶: مقایسه کیفیت هوا از منظر آلاینده‌های مختلف در سال ۹۷ و ۹۸ (بر حسب تعداد روز)

PM _{2.5}		PM ₁₀		NO ₂		CO		SO ₂		O ₃		
سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	سال ۹۸	سال ۹۷	
۳۴	۲۹	۱۰۹	۱۱۳	۲۴	۶۰	۳۶۰	۳۶۳	۰	۰	۲۶۱	۲۵۲	پاک
۲۶۲	۲۹۹	۲۵۵	۲۵۱	۳۳۶	۳۰۵	۵	۲	۰	۰	۷۹	۹۷	سالم
۶۹	۴۴	۱	۱	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴	۱۶	ناسالم برای گروه‌های حساس
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	ناسالم
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	بسیار ناسالم
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	خطرناک

بر اساس جدول (۶) سال ۹۷ بیشترین تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس مربوط به آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون بوده و ۴۴ روز طی این سال به لحاظ آلاینده یادشده در وضعیت فراتر از حد مجاز قرار گرفته است و کمترین درصد روزهای نامطلوب را به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر، حدود ۸۸ درصد روزهای سال به لحاظ آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲ و نیم میکرون و بر اساس استاندارد روزانه در شرایط پاک یا سالم بوده است. در سال ۹۸، تعداد ۶۹ روز به لحاظ آلاینده یادشده در وضعیت فراتر از حد مجاز قرار گرفته است و حدود ۸۱ درصد از روزهای سال و بر اساس استاندارد روزانه در شرایط پاک یا سالم بوده است. طی سال ۹۷ و ۹۸ درصد روزهای نامطلوب بسیار ناچیز بوده و ۹۹/۷ درصد روزها بر اساس استاندارد روزانه آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در شرایط پاک یا قابل قبول بوده است. طی سال ۹۸ بیشترین روزهای نامطلوب به لحاظ آلاینده ازن ثبت گردید و ۲۴ روز در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس و یک روز ناسالم برای همه افراد جامعه در روزهای گرم این سال رخ داد و در مجموع ۷ درصد روزهای سال در شرایط نامطلوب قرار گرفت. از دلایل افزایش این گاز می‌توان افزایش شدت تابش خورشید، دما و تغییرات میزان غلظت پیش‌سازهای این آلاینده از قبیل ترکیبات آلی فرار و اکسیدهای نیتروژن در هوا را بیان نمود. طی سال ۹۷ تعداد روزهای ناسالم به صفر و ناسالم برای گروه‌های حساس نیز کمتر از سال ۹۸ رسیده است. در مجموع حدود ۴ درصد از روزهای سال در شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس قرار گرفته است.

مطابق با جدول کیفیت هوا بر اساس شاخص آلاینده دی‌اکسید گوگرد در سال ۹۷ و سال ۹۸ در وضعیت پاک قرار گرفته است. از لحاظ آلاینده مونوکسید کربن سال ۹۷ و ۹۸ در شرایط مطلوبی قرار داشته و هیچ روز آلوده‌ای در این دو سال رخ نداده است و سال ۹۷ با داشتن ۳۶۳ روز پاک و تنها ۲ روز سالم از حیث آلاینده مونوکسید کربن بهترین سال به شمار می‌رود. در سال ۹۷ هیچ روزی به لحاظ آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در شرایط نامطلوبی قرار نگرفته، اما در سال ۹۸ کمتر از ۲ درصد از روزهای سال بر اساس استاندارد کوتاه‌مدت در شرایط نامطلوب قرار گرفت و ۲۴ روز نیز در شرایط پاک بود. شکل (۱۰) نشان‌دهنده تعداد روزهای آلوده به تفکیک انواع آلاینده هوای شهر تهران در سال ۹۷ و ۹۸ می‌باشد.



شکل ۱۰: تعداد روزهای آلوده به لحاظ انواع آلاینده‌های هوای شهر تهران در سال ۹۷ و ۹۸

بر اساس شکل (۱۰) سال ۹۷ از مجموع ۶۱ روز هوای آلوده، تعداد ۴۴ روز ذرات معلق کمتر از ۲ و نیم میکرون، ۱۶ روز آلاینده ازن و تنها ۱ روز ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون آلاینده مسئول آلودگی هوای شهر تهران بوده است. اما در سال ۹۸ از مجموع ۱۰۰ روز با شرایط نامطلوب، تعداد ۶۹ روز ذرات معلق کمتر از ۲ و نیم میکرون، ۲۵ روز آلاینده ازن، ۵ روز آلاینده دی‌اکسید نیتروژن و تنها ۱ روز ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون نقش اصلی را در آلودگی هوای شهر تهران به عهده داشته است. به‌طور کلی، در سال‌های اخیر یکی از آلاینده‌هایی که بیشترین تهدید را برای شهر تهران داشته است ذرات معلق بوده است که در این میان ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون دارای بیشترین روزهای ناسالم در طی سال‌های اخیر بوده است. غلظت بالای این ذرات می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف از جمله بیماری‌های قلبی و مشکلات تنفسی و ریوی را افزایش دهند که هرچه اندازه این ذرات کوچک‌تر باشد به راحتی می‌توانند از طریق دستگاه تنفسی وارد بدن انسان شوند.

نتیجه‌گیری

کلان‌شهر تهران به‌دلیل تمرکز جمعیت، استقرار صنایع در داخل و حومه شهر، تردد وسایط نقلیه، مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی، موقعیت جغرافیایی ویژه، اقلیم منحصربه‌فرد و ویژگی‌های خاص توپوگرافی یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب می‌شود. کیفیت هوا در سال ۹۷ و ۹۸ با استفاده از شاخص AQI بر حسب تعداد روز ارزیابی

و در ۶ طبقه (پاک، سالم، ناسالم برای گروه‌های حساس، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سال ۹۷ به‌علت شرایط جوی مناسب با کمترین روز آلوده (ناسالم برای گروه‌های حساس) ۵۹ روز و بیشترین شرایط مطلوب (پاک و سالم) ۳۰۶ روز روبه‌رو بوده است. در سال ۹۸ تنها تعداد ۲۷۹ روز در شرایط مطلوب (پاک و سالم) و ۸۶ روز در شرایط نامطلوب قرار گرفته است. به‌طور کلی، ۸۳/۸ روزهای سال ۹۷ و تنها ۷۶/۴ درصد از روزهای سال ۹۸ در شرایط مطلوب قرار داشته است. در مقایسه با دیگر مطالعاتی که در نقاط مختلف جهان صورت گرفته است، در شهر تهران تنها ذرات معلق ($PM_{2.5}$) به‌عنوان آلاینده مسئول آلودگی هوای شهر تهران شناخته شدند که توزیع غلظت این ذرات در مناطق جنوبی و مرکزی شهر تهران بیشتر بوده است.

همچنین نتایج حاصل از تغییرات فصلی ذرات معلق (PM_{10}) نشان داد حداکثر غلظت ذرات معلق (PM_{10}) مربوط به فصل تابستان و کمترین غلظت ذرات معلق (PM_{10}) را فصل بهار دارا می‌باشد. در مجموع ایستگاه‌های واقع در مناطق شمالی تهران شامل: اقدسیه، منطقه ۲، ستاد بحران و پونک در همه فصل‌ها غلظت نسبتاً پایینی را دارا هستند و ایستگاه پیروزی در شرق تهران و همین‌طور ایستگاه‌های واقع در غرب، جنوب غرب و مناطق جنوبی شهر تهران دارای بیشترین میزان غلظت ذرات معلق (PM_{10}) می‌باشند. بیشترین غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در مناطقی دیده می‌شود که بیشتر در معرض گردوغبار با منشأ خارج از شهر تهران هستند. گفتنی است علاوه بر تأثیر ترافیک و پدیده گردوغبار، فعالیت‌های منابع ساکن آلودگی هوا از جمله فعالیت‌های ساختمانی و پروژه‌های عمرانی در اطراف ایستگاه‌ها نیز در انتشار این آلاینده مؤثر می‌باشند.

در مجموع تجمع ذرات معلق ($PM_{2.5}$) در شهر تهران طی فصول مختلف در قسمت‌های شمال غرب، غرب، جنوب، قسمت‌های مرکزی، ایستگاه پیروزی در شرق و ایستگاه صدر در شمال تهران می‌باشد. بیشترین غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) شهر تهران مربوط به فصل زمستان می‌باشد. عامل اصلی در تجمع آلاینده یادشده را می‌توان افزایش برقراری شرایط جوی پایدار در سطح منطقه، احتمال وقوع وارونگی دمای شدید در لایه نزدیک سطح زمین و ازدیاد حجم تردد خودروها طی ماه‌های سرد سال دانست. کمترین غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) در فصل بهار مشاهده شد. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین آلاینده‌های ذره‌ای ($PM_{2.5}$) و (PM_{10}) نشان داد که این آلاینده‌ها در بازه‌های زمانی فصلی و ماهانه هیچ‌گونه همبستگی ندارند؛ اما طی روزهای مختلف هفته و بازه زمانی ساعتی با سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ دارای ارتباط مستقیم و معناداری می‌باشند.

در مجموع با توجه به اینکه تمام اهداف پژوهش‌های مرتبط تعیین کیفیت هوا و معرفی آلاینده مسئول در آلودگی هوا و همچنین تغییرات فصلی ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) می‌باشد، نتایج این پژوهش نیز اکثر نتایج مطرحه در پیشینه را تأیید می‌کند. از جمله با نتایج پهنه‌بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های محیطی هوای شهر تبریز توسط صفوی و همکاران (۱۳۹۵) که آلاینده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون بیشترین سهم را در آلودگی هوای شهر تبریز دارد و بیشترین وقایع آلودگی مربوط به فصل‌های سرد است، منطبق می‌باشد. همچنین نتایج پهنه‌بندی کیفیت هوا بر اساس ذرات معلق در پایانه‌های متروی تهران توسط رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) که شاخص کیفیت هوا در اکثر مناطق در پاییز و زمستان در دامنه ناسالم قرار گرفت و غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون در فصل زمستان و پاییز به مراتب بیشتر از بهار و تابستان است را تأیید می‌کند. همین‌طور با نتایج تغییرات زمانی- مکانی و عوامل

مؤثر در تجزیه و تحلیل غلظت $PM_{2.5}$ در استان جیلین در شمال شرقی چین توسط ایکزین و همکاران (۲۰۱۸) که غلظت ذرات معلق $2/5$ میکرون در اواخر پاییز و اوایل زمستان نسبت به فصل‌های دیگر بیشتر است، منطبق می‌باشد و نتایج کیفیت هوا در شهر چیتاگونگ توسط (هاسن و هاگو، ۲۰۱۸) که آلاینده مسئول آلودگی هوا در این شهر ذرات معلق کمتر از $2/5$ میکرون گزارش شد را تأیید می‌کند.

به‌طور کلی نوآوری این پژوهش معرفی آلاینده مسئول آلودگی هوای شهر تهران و مشخص نمودن تغییرات مکانی و فصلی ذرات معلق می‌باشد. نتایج حاصل می‌تواند در بحث مدیریت آلودگی هوا به‌خصوص برنامه‌ریزی جهت مدیریت کنترل ذرات معلق و کاهش آلودگی هوا مورد استفاده برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان شهری قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از شرکت کنترل کیفیت هوای تهران جهت در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز این پژوهش سپاسگذاری می‌نماید.

منابع

- حیدری، محسن؛ حیدر نژاد، ضحی؛ علیپور، ولی؛ دیندارلو، کاووس (۱۳۹۶)؛ ارزیابی کیفیت هوا بر اساس شاخص کیفیت هوا در شهر کرمان در سال ۱۳۹۴، فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره ۳، شماره ۳، صص ۲۱۸-۲۰۸.
- خورشید دوست، علی محمد؛ ولی زاده، خلیل و قاسمی بگتاش، علی (۱۳۹۶) تحلیل زمانی مکانی آلودگی‌های خطرناک شهر تبریز با تأکید بر PM_{10} ، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۴، صص ۶۰۲-۵۸۵.
- دهقانی، روح الله؛ تخت فیروزه، سید مهدی؛ حسین دوست، غلامرضا؛ مسیبی، محدثه؛ عرب فرد، مسعود (۱۳۹۳) تعیین کیفیت بهداشتی هوای شهر کاشان بر اساس شاخص کیفیت هوا در سال ۱۳۹۹، ارمنان دانش، دوره ۱۹، شماره ۴، صص ۳۲۵-۳۱۴.
- شرعی پور، زهرا (۱۳۸۸) بررسی تغییرات فصلی و روزانه آلاینده‌های هوا و ارتباط آن با پارامترهای هواشناسی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۹، صص ۱۳۷-۱۱۹.
- رحیمی، آذرنوش؛ بهبهانی‌نیا، آریتا؛ منصوری، نبی اله و عظیمی، علی (۱۳۹۸)؛ تعیین شاخص کیفیت آلودگی هوا بر اساس ذرات معلق و پهنه‌بندی آن در پایانه‌های مترو تهران، مجله مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۱۶۸-۱۱۶۰.
- رنجبر، محسن و باهک، بتول (۱۳۹۸) تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌های هوا با استفاده از GIS (مورد مطالعه: نیمه شمالی شهر تهران) فصلنامه جغرافیا، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص ۸۵-۷۲.
- صفوی، سید یحیی؛ علیجانی، بهلول (۱۳۸۵) بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۵۸، صص ۱۱۲-۹۹.
- صفوی، سید نوید؛ موسوی، مریم؛ دهقانزاده ریحانی، رضا و شاکری، مسعود (۱۳۹۵)؛ پهنه‌بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های محیطی هوای شهر تبریز به کمک نرم‌افزار GIS و بررسی مشکلات اجرایی موجود، مجله سلامت، دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۷۷-۱۵۸.
- عزیزی فر، محمد؛ ندافی، کاظم، محمدیان؛ مجید، صفدری؛ مرتضی و خزایی، محمد (۱۳۹۰) بررسی شاخص کیفیت هوا و غلظت ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی در هوای شهر قم، مجله دانشگاه علوم پزشکی قم، دوره ۵، شماره ۲، صص ۶۳-۵۹.
- قلی‌زاده، محمد حسین؛ فرج‌زاده، منوچهر و دارند، محمد (۱۳۸۸) ارتباط آلودگی هوا با مرگ‌ومیر جمعیت شهری تهران، مجله پژوهشی حکیم، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۷۱-۶۵.

کرمانی، مجید؛ دولتی، محسن؛ فلاح جو کندان، سودا؛ آقایی، مینا؛ بهرامی اصل، فرشاد؛ کریم زاده، سیما؛ (۱۳۹۵) بررسی شاخص بهداشتی کیفیت هوا و کاربردهای آن در هفت شهر ایران در سال ۹۰، مجله علوم پزشکی دانشگاه اراک، دوره ۱۹، شماره ۱۲، صص ۸۸-۷۸.

گلپاز، سمیه؛ فرزاد کیا، مهدی و کرمانی، مجید (۱۳۸۸) بررسی کیفیت بهداشتی هوای شهر تهران در سال ۱۳۸۷ با تکیه بر شاخص کیفیت هوا، فصلنامه سلامت کار ایران، دوره ۶، شماره ۴، صص ۶۵-۵۹.

موسوی، فاطمه؛ جاهد، سید عادل؛ رجب، اسدالله؛ نیکو سخن تیار، امیر کامران؛ کاشی، گیتی و طباطبایی، بهروز (۱۳۹۲) بررسی تأثیر آلودگی هوا روی تغییرات سطح هموگلوبین در بیماران دیابتی شهر تهران، مجله سلامت و محیط، دوره ششم، شماره اول، صص ۱۳۲-۱۲۳.

مختاری، مهدی؛ میری، محمد؛ محمدی، امیر؛ خرسندی، حسن؛ حاجی زاده، یعقوب و عبدالله نژاد، علی (۱۳۹۵) برآورد شاخص کیفیت هوا و مخاطرات بهداشتی منتسب به PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و SO_2 در هوای شهر یزد، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره ۲۵، شماره ۱۳۱، صص ۲۳-۱۴.

میری، محمد؛ محمدی، امیر؛ نعمتی، سپیده؛ عبدالله نژاد، علی؛ نیکونهاد، علی (۱۳۹۵) بررسی روند تغییرات شاخص کیفیت بهداشتی هوا در شهر مشهد (AQI) با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مجله تحقیقات سلامت در جامعه، دوره ۲، شماره ۱، صص ۲۰-۱۲. ندافی، کاظم؛ محسن حیدری؛ محمد صادق حسنونند و مهدی فضل زاده، ۱۳۸۷، بررسی مقایسه‌ای کیفیت هوای شهر تهران در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، زاهدان، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان.

مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، ۱۳۹۴، راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا. نورپور، علیرضا و فیض، سید محمد علی (۱۳۹۳) تعیین تغییرات مکانی-زمانی آلاینده‌های گوگرد دی‌اکسید، نیتروژن دی‌اکسید و انواع آلاینده‌های ذرات معلق با استفاده از تکنیک‌های GIS در شهر تهران، محیط‌شناسی، دوره ۴۰، شماره ۳، صص ۷۳۸-۷۲۳.

Amador-Muñoz, O., Bazán-Torija, S., Villa-Ferreira, S. A., Villalobos-Pietrini, R. V., Bravo-Cabrera, J. L., Munive-Colín, Z., Murillo-Tovar, M. A. (2013). Opposing seasonal trends for polycyclic aromatic hydrocarbons and PM10: Health risk and sources in southwest Mexico City. *Atmospheric Research*, 122, 1999–2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.003>

Bucko, M.S., Magiera, T., Johanson, B., Petrovský, E., Pesonen, L.J., (2011). Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical, and micro-morphological analyses. *Environ. Pollute.* 159,p.p: 1266-1276. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.030>

Clements, N., Hannigan, M. P., Miller, S. L., Peel, J. L., & Milford, J. B. (2015). Comparisons of urban and rural PM10-2.5 and PM2.5 mass concentrations and semivolatile fractions in Northeastern Colorado. *Atmospheric Chemistry and Physics*.

Fattore E, Paiano V, Borgini A, Tittarelli A, Bertoldi M, Crosignani P, et al (2011) Human Health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy. *Environmental Research*; 111(8): 1321-1327. <https://doi.org/10.5194/acp-16-7469-2016>, 2016.

Graedel TE, Crutzen PJ. *Atmospheric change: an earth system perspective*. New York: W.H. Freeman and Company; 1993; 1: 329- 30.

Headarnejad, Z; Kavousi, A; Mousapour, H; Daryabor, M R; Radfar, M; Abdolshahi, A (2018) Data ArticleData on evaluation of AQI for a different season in Kerman, Iran, 2015, Data in Brief (20), P.P: 1917–1923.

Hossein, MA, Hoque, A(2018) Variation of Ambient Air Quality Scenario in Chittagong City: A Case Study of Air Pollution, *Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering*, 3(1): 10-16. DOI: 10.11648/j.jccee.20180301.13

Luo, M. Hou, X. Gub, Y. Lau, N. C. Yim, S. H. (2018) Transboundary air pollution in a city under various atmospheric conditions, *Science of the Total Environment* (618) P.P: 132–141. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.001

Mu H, Otani S, Okamoto M, Yokoyama Y, Tokushima Y, Onishi K, et al. Assessment Effects of Air Pollution on Daily Outpatient Visits using the Air Quality Index. *Yonago Acta Med* 2014; 57(4): 133-136.

Verma MK, Patel A, Sahariah BP, Choudhari JK. Computation of Air Quality Index for Major Cities of Chhattisgarh State. *Environmental Claims Journal*. 2016;28(3):195-205. <https://doi.org/10.1080/10406026.2016.1129269>

Xue, J., Xu Y., Zhao, L., Wang, C., Rasool, Z., Ni, M., Wang, Q., Li, D(2018) Air Pollution Option Pricing Model Based on AQI, *Atmospheric Pollution Research* (2018), DOI: 10.1016/j.apr.2018.10.011. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.10.011>

Zeng, X.T., Tong, Y.F., Cui, L., Kong, X.M., Sheng, Y.N., Chen, L., Li, Y.P., 2017. Population- production-pollution nexus-based air pollution management model for alleviating the atmospheric crisis in Beijing, China. *J. Journal of Environmental Management*. 197, 507-517. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.04.022

Zhao, L.J., Xue, J., Gao, H.Z., Li, C.M., Huang, R.B., 2014. A model for interprovincial air pollution control based on futures prices. *J. Journal of the Air & Waste Management Association*. 64, 552-560. DOI: 10.1080/10962247.2013.873091

- Zhao, L.J., Xue, J., Li, C.M., 2013. A bi-level model for transferable pollutant prices to mitigate China's interprovincial air pollution control problem. J. Atmospheric Pollution Research. 4, 526-446-453. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.051>
- Xin W, Pengpu Z, Daqian L (2018) Spatiotemporal Variations and Influencing Factors Analysis of PM2.5 Concentrations in Jilin Province, Northeast China, Chin Geogra. Sci, 28: 810-822 <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0992-0>.



References

References (in Persian)

- Azizifar M, Naddafi K, Mohammadian M, Safdari M, Khazaei M (2011) Air Pollution Quality Index (AQI) and Density of PM₁, PM_{2.5} and PM₁₀ in the Air of Qom. *Qom Univ Med Sci J*. 5 (2):59-63. [In Persian]
- Dehghani R. A, Takhtfiroozeh S M, Hosseindoost Gh R, Mossayebi M, Arabfard M (2014), Investigation the Air Quality City of Kashan during 2012 Based on the Air Quality Index, *Armaghane-Danesh*, 19(4), 314-325. [In Persian]
- The environmental and occupational health center, Ministry of health and medical education (2015) a guide to calculation, determination, and announcement of air quality index. [In Persian]
- Golbaz S, Farzadkia M, Kermani M, (2010) Determination of Tehran air quality with emphasis on air quality index (AQI); 2008-2009, *J Iran Occupational Health* 6(4): 59-65. [In Persian]
- Gholizadeh M.H, Farajzadeh M, Darand M (2009) the Correlation between Air Pollution and Human Mortality in Tehran, *Hakim Research Journal*, 2(2), 65-71. [In Persian]
- Heidari M, Heidarinejad Z, Alipour V, Dindarloo K, Rahmanian O, Goodarzi B, Mousapour H (2015) Evaluation of Air Quality based on Air Quality Index in Kerman City, 2015, *journal of research in environmental health*, 3(3), 208-218. [10.22038/jreh.2018.26051.1173](https://doi.org/10.22038/jreh.2018.26051.1173). [In Persian]
- Kermani M, Dowlati M, Fallah Jokandan S, Aghaei M, BahramiAsl F, Karimzadeh S (2017) Study of Air Quality Health Index and its Application in Seven Cities of Iran in 2011, *J Arak University Medical Sciences*, 19(12), 78-88. [In Persian]
- Khorshiddoust AM, Valizadeh KH, Ghasemi Baghtash A (2017) Analysis of the temporal-spatial distribution of dangerous contaminants in Tabriz with emphasis on PM₁₀, *J Physical Geography Research* 49(4): 585-602. [In Persian]
- Mousavi F, Jahed S. A, Rajab A, Nikuo Sokhantabar A. K, Kashi G, Tabatabaee R (2013) Survey Of Air Pollution Effect On Variation Of Glycosylated Hemoglobin A1c (HbA1c) Level In Diabetic Patients In Tehran, *Iranian Journal Of Health And Environment*, 6(1), 123-132. [In Persian]
- Miri M, Mohammadi A, Nemati S, Abdolhnejad A, Nikonahad A (2016) The trend of changes in air quality index (AQI) in Mashhad using GIS . *J Health Res Commun*. 2 (1):12-20. [In Persian]
- Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi H, Hajizadeh Y, Abdolhnejad A (2015) Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM₁₀, PM_{2.5} and SO₂ in Yazd, Iran, *Mazandaran Univ Med Sci* 25(132), 14-32. [In Persian]
- Nadafi, K, Heidari M, Hasanvand M. H, Fazlzadeh M (2001) Comparative survey of Tehran air quality in The years 1376 and 1377, 03rd National Congress On Environmental Health, Kerman. . [In Persian]
- Nourpoor AR, Feiz SMA (2014) Determination of the Spatial and Temporal Variation of SO₂, NO₂ and Particulate Matter Using GIS Techniques and Estimation of Concentration Modeling with LUR Method, Case Study: Tehran City, *J Environmental Studies* 40(3): 723-738. [In Persian]
- Rahimi, A., Behbahani Neia, A., Masouri, N.A., Azimi, A. (2018) Determination Of Air Quality Index Based On Suspended Particles And Its Zoning At The Metro Terminals Of Tehran, *Journal Of Environmental Sciences Studies*, 4(1): 1168-1160. [In Persian]
- Ranjbar M, Bahak, B (2018) Temporal – spatial variations of particulate matter using GIS (Case study: semi – the north region of Tehran city), *J Quarterly of Geography* 17(60):72-85. [In Persian]
- Safavi SY, Alijani B (2007) Studying geographical factors in Tehran air pollution, *J Geography Research* (58):99-112. [In Persian]
- Safavi S.N., Mousavi M., Dehghanzadeh Reihani R., Shakeri M, (2016) Seasonal And Spatial Zoning Of Air Quality Index And Ambient Air Pollutants By Arc-Gis For Tabriz City And Assessment Of The Current Executive Problem, *Journal Of Health And Hygiene*, 7(2): 158-177. [In Persian]
- Shariepour Zahra (2010), Seasonal and daily variation of air pollutants and their relation to meteorological parameters, *Earth and Space Physics*, 35(2), 119-137. [In Persian].

References (in English)

- Amador-Muñoz, O., Bazán-Torija, S., Villa-Ferreira, S. A., Villalobos-Pietrini, R. V., Bravo-Cabrera, J. L., Munive-Colín, Z., Murillo-Tovar, M. A. (2013). Opposing seasonal trends for polycyclic aromatic hydrocarbons and PM₁₀: Health risk and sources in southwest Mexico City. *Atmospheric Research*, 122, 1999–2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.003>
- Bucko, M.S., Magiera, T., Johanson, B., Petrovský, E., Pesonen, L.J., (2011). Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical, and micro-morphological analyses. *Environ. Pollute*. 159, p.p: 1266-1276. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.030>
- Clements, N., Hannigan, M. P., Miller, S. L., Peel, J. L., & Milford, J. B. (2015). Comparisons of urban and rural PM_{10-2.5} and PM_{2.5} mass concentrations and semivolatile fractions in Northeastern Colorado. *Atmospheric Chemistry and Physics*.
- Fattore E, Paiano V, Borgini A, Tittarelli A, Bertoldi M, Crosignani P, et al (2011) Human Health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy. *Environmental Research*; 111(8): 1321-1327. <https://doi.org/10.5194/acp-16-7469-2016>, 2016.

- Graedel TE, Crutzen PJ. Atmospheric change: an earth system perspective. New York: W.H. Freeman and Company; 1993; 1: 329- 30.
- Headarnejad, Z; Kavousi, A; Mousapour, H; Daryabor, M R; Radfar, M; Abdolshahi, A (2018) Data Article Data on evaluation of AQI for a different season in Kerman, Iran, 2015, Data in Brief (20), P.P: 1917–1923.
- Hossein, MA, Hoque, A (2018) Variation of Ambient Air Quality Scenario in Chittagong City: A Case Study of Air Pollution, Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering, 3(1): 10-16. DOI: [10.11648/j.jccee.20180301.13](https://doi.org/10.11648/j.jccee.20180301.13)
- Luo, M. Hou, X. Gub, Y. Lau, N. C. Yim, S. H. (2018) Transboundary air pollution in a city under various atmospheric conditions, Science of the Total Environment (618) P.P: 132–141. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.11.001](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.001)
- Mu H, Otani S, Okamoto M, Yokoyama Y, Tokushima Y, Onishi K, et al. Assessment Effects of Air Pollution on Daily Outpatient Visits using the Air Quality Index. Yonago Acta Med 2014; 57(4): 133-136.
- Verma MK, Patel A, Sahariah BP, Choudhari JK. Computation of Air Quality Index for Major Cities of Chhattisgarh State. Environmental Claims Journal. 2016;28(3):195-205. <https://doi.org/10.1080/10406026.2016.1129269>
- Xue, J., Xu Y., Zhao, L., Wang, C., Rasool, Z., Ni, M., Wang, Q., Li, D (2018) Air Pollution Option Pricing Model Based on AQI, Atmospheric Pollution Research (2018), DOI: 10.1016/j.apr.2018.10.011. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.10.011>
- Zeng, X.T., Tong, Y.F., Cui, L., Kong, X.M., Sheng, Y.N., Chen, L., Li, Y.P., 2017. Population- production-pollution nexus-based air pollution management model for alleviating the atmospheric crisis in Beijing, China. J. Journal of Environmental Management. 197, 507-517. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.04.022](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.022)
- Zhao, L.J., Xue, J., Gao, H.Z., Li, C.M., Huang, R.B., 2014. A model for interprovincial air pollution control based on futures prices. J. Journal of the Air & Waste Management Association. 64, 552-560. DOI: [10.1080/10962247.2013.873091](https://doi.org/10.1080/10962247.2013.873091)
- Zhao, L.J., Xue, J., Li, C.M., 2013. A bi-level model for transferable pollutant prices to mitigate China's interprovincial air pollution control problem. J. Atmospheric Pollution Research. 4, 526 446-453. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.051>
- Xin W, Pengpu Z, Daqian L (2018) Spatiotemporal Variations and Influencing Factors Analysis of PM2.5 Concentrations in Jilin Province, Northeast China, Chin Geogra. Sci, 28: 810–822 <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0992-0>.

