

تعیین شاخص کیفیت آلودگی هوا بر اساس ذرات معلق و

پهنه‌بندی آن در پایانه‌های متروی تهران

آذرنوش رحیمی^۱، آزیتا بهبهانی نیا^{۲*}، نبی‌اله منصوری^۳، علی عظیمی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^{۲*} استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، روهن، ایران

^۳ استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۴ دانش‌آموخته دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: behbahani@riau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۴

چکیده

در این پژوهش به بررسی غلظت ذرات معلق در پایانه‌های مترو تهران و رابطه برخی پارامترهای هواشناسی بر روی غلظت ذرات معلق پرداخته شد. جهت نمونه برداری، ۱۸ ایستگاه در پایانه های مختلف انتخاب گردید. نمونه‌برداری در طی چهار فصل انجام شد. از دستگاه لیزری برای اندازه‌گیری ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} استفاده شد و سپس مقادیر AQI بر اساس غلظت ذرات معلق، محاسبه و نتایج با استفاده از نرم افزار GIS و روش تحلیل مکانی مورد پهنه بندی قرار گرفت. حداقل و حداکثر غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ بین ۱۰٫۵ تا ۱۰۱٫۸ و برای ذرات معلق PM_{10} ۴۱٫۵ تا ۱۹۲٫۵ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد. میزان شاخص کیفیت هوا در محدوده سالم تا ناسالم (۴۰ الی ۱۰۵) محاسبه گردید. شاخص کیفیت هوا در اکثر مناطق در پاییز و زمستان در دامنه ناسالم قرار گرفت. غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ میکرون در فصل زمستان و پاییز به مراتب بیشتر از فصل تابستان و بهار بود. غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ با حداقل و حداکثر دمای روزانه و رطوبت، رابطه معکوس نشان داد. در این پایانه‌ها شاخص کیفیت هوا بر اساس ذرات معلق $PM_{2.5}$ در زمستان ناسالم برای همه و در تابستان و پاییز ناسالم برای افراد حساس تعیین شد. این نتایج نشان می‌دهد که در فصل زمستان به واسطه تعداد زیاد روزهای دارای وارونگی دمایی، آلاینده‌ها در سطح زمین متمرکز می‌شوند.

کلمات کلیدی:

"آلودگی هوا"، "شاخص کیفیت هوا"، "متروی تهران"، " $PM_{2.5}$ "، " PM_{10} "

Determination Of Air Quality Index Based On Suspended Particles And Its Zoning At The Metro Terminals Of Tehran

Azarnoush Rahimi¹, Azita Behbahania^{2*}, Nabilolah Mansouri³, Ali Azimi⁴

¹ Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran

^{2*} Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Roudehen Branch, Tehran, Iran

³ Department of Environmental Engineering, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran, Iran

⁴ Department of Environmental Science, Faculty of Natural resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

* Email Address: azitabehbahani@yahoo.com

Abstract

In this study, the concentration of suspended particles is discussed in metro terminals of Tehran and the relationship of some meteorological parameters on particle concentration. For sampling, 18 stations were selected at different terminals. Sampling was carried out during four seasons. A laser device was used to measure $PM_{2.5}$ and PM_{10} suspended particles, and then AQI values based on suspended particles were calculated and the results were zoned using GIS software and spatial analysis method. The minimum and maximum concentrations of $PM_{2.5}$ suspended particles were obtained between 10.5 and 101.8 and 41.5 to 192.5 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ for PM_{10} . The index of the quality of the clients was from healthy to unhealthy (40 to 105). And the air quality index was in an unhealthy range in most areas in the fall and winter. The concentration of suspended particles was 2.5 microns in winter and autumn more than in summer and spring. $PM_{2.5}$ suspended particle concentration showed a relationship with minimum and maximum daily temperature and humidity. At these terminals, the air quality index based on $PM_{2.5}$ suspended particles was set in the unhealthy winter for everyone and unhealthy in the summer and autumn for sensitive people. These results indicate that in winter, due to the large number of days with a temperature inversion, pollutants are concentrated on the Earth's surface.

Keywords:

" Air pollution ", " Air quality index ", " Tehran Railway", " $PM_{2.5}$ ", " PM_{10} "

۱- مقدمه

آلودگی هوای شهرها یکی از مهم‌ترین معضلات شهری بوده که همواره تهدیدی دائم و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و همچنین محیط‌زیست می‌باشد. از جمله مهمترین آلاینده‌های هوا، ذرات معلق است که به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب، میزان مرگ و میر انسان‌ها از ۱ تا ۳ درصد افزایش می‌یابد (Jamshidi et al., 2007). شدت اثر ذرات معلق بر سلامت انسان به قدرت نفوذ آن‌ها به داخل دستگاه تنفسی و درجه سمیت آنها بستگی دارد (Almasi et al., 2013). ذرات معلق ریزتر پتانسیل نفوذ بیشتری در ریه‌ها داشته و ممکن است حتی به ناحیه‌ی آلوئول‌ها نیز برسند. بنابراین اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بیشتری مثل افزایش علائم و بیماری‌های تنفسی، کاهش کارایی ریه‌ها و ایجاد تغییرات در بافت‌های ریوی و مرگ زودرس را می‌توانند داشته باشند. اثرات بهداشتی ذرات معلق به ترکیب شیمیایی و فیزیکی (بیشتر ترکیب شیمیایی) آن بستگی دارد (Colls, 2002). مهم‌ترین منابع ذرات معلق هوای شهرهای بزرگ ذرات ناشی از سایش لنت ترمز وسایل نقلیه، آسفالت خیابان‌ها، ترکیبات فلزی از جمله سرب، کادمیوم، سولفات‌ها، دانه‌های گرده، میکروارگانسیم‌ها و ذرات ناشی از فرآیندهای صنعتی و دوده می‌باشند. ۸۸ درصد از حجم ذرات معلق موجود در هوای شهرها، ناشی از تردد انواع خودروهای موتوری مستعمل و مستهلک است (Sharma et al., 2005). در خصوص اثرات ذرات معلق بر انسان، دو گروه از ذرات دارای اهمیت خاصی هستند: ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) که به قسمت‌های تحتانی ریه وارد می‌شوند و ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) که در آلوئول‌ها رسوب می‌کنند یا از جدار ریه وارد جریان خون می‌شوند (Tsai et al., 2013).

۲- پراکنش فضایی و زمانی ذرات معلق در شهرها و بررسی نسبت ذرات با قطر ۲/۵ میکرون به ذرات با قطر ۱۰ میکرون می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در مورد منبع ذرات معلق ارائه نماید (Guo et al., 2017). کرمانی و همکاران (۱۳۸۱)، در مطالعه‌ای به بررسی مقادیر ذرات معلق از جمله PM_{10} و TSP و توصیف کیفیت هوا با تکیه بر شاخص AQI بر اساس ماه‌ها و ایام مختلف هفته در هوای تهران پرداختند و مشاهده نمودند که در طول نمونه‌گیری آلوده‌ترین و پاک‌ترین ماه به PM_{10} و TSP به

ترتیب اسفند و فروردین بود. آلوده‌ترین روزهای هفته نیز شنبه و دوشنبه و پاک‌ترین روز، جمعه‌ها بود (Kermani et al., 2003). همچنین حجازی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی با اندازه‌گیری $PM_{2.5}$ در هوای شهر تهران و با تهیه نقشه‌ی توزیع آلودگی ذرات معلق، مشاهده کردند که آلودگی مناطق مرکزی شهر بیشتر از مناطق دیگر است (Hejazi et al., 2012). Ryeul Sohn و همکاران (۲۰۰۸)، با مطالعه ذرات معلق در فضای درون ایستگاه‌های مترو در کره جنوبی و تعیین غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ مشاهده نمودند که غلظت $PM_{2.5}$ در فصل زمستان به طور متوسط از غلظت آن در تابستان بیشتر بود (Ryeul Sohn et al., 2008).

متروی تهران به عنوان یکی از پرترددترین وسایل حمل و نقل عمومی با جا به جایی روزانه هزاران مسافر هم اکنون دارای ۴ پایانه فعال شامل پایانه جنوب (فتح آباد)، پایانه غرب (صادقیه)، پایانه شرق (دردشت) و پایانه مهرشهر در انتهای خطوط ۱، ۲ و ۵ می‌باشد. در این پژوهش با توجه به اهمیت آلودگی هوای تهران و تأثیر سوء ذرات معلق بر سلامت شهروندان، غلظت ذرات معلق در پایانه‌های متروی تهران که روزانه حجم بسیاری از شهروندان در معرض هوای این پایانه‌ها هستند مطالعه و شاخص کیفی هوا بر اساس ذرات معلق تعیین و همچنین پهنه‌بندی آن و رابطه پارامترهای اقلیمی نظیر دما، رطوبت، سرعت و جهت باد نیز بررسی گردید.

۲- روش انجام تحقیق

• نمونه‌برداری

در این تحقیق، مجموعاً ۱۸ ایستگاه برای نمونه‌برداری انتخاب گردید. هدف از انتخاب نقاط نمونه‌برداری، تعیین میزان آلودگی ذرات معلق در بافت‌های مختلف شهری بود. از ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه، ۶ ایستگاه در پایانه صادقیه، ۴ ایستگاه در پایانه فتح آباد، ۴ ایستگاه در پایانه مهرشهر و ۴ ایستگاه در پایانه دردشت انتخاب شد (جدول ۱).

نمونه‌برداری با توجه به استراتژی‌های بیان شده توسط EPA و به صورت هر ۳ روز ۱ بار (حداقل ۱۰ نمونه در هر ماه) در طی چهار فصل در ماه‌های آذر، بهمن، اردیبهشت و شهریور انجام شد. نمونه‌برداری در هر ایستگاه در ساعت ۹

PTFE^۱، محتوای ذرات خود را بر روی صافی به جای می‌گذارد.

شاخص‌های اقلیمی منطقه نیز در روزهای نمونه برداری از سازمان هواشناسی استان تهران دریافت شد تا ارتباط بین این شاخص‌ها و میزان غلظت ذرات معلق مورد بررسی قرار گیرد. این شاخص‌ها عبارتند از میانگین، حداقل و حداکثر دمای روزانه، رطوبت نسبی و سرعت باد. بر اساس میانگین ۱۰ ساله داده‌های اقلیمی میانگین دمای سالانه در این منطقه با توجه به گزارشات ایستگاه مهرآباد ۱۷/۴ درجه سانتیگراد و حداقل و حداکثر دمای سالانه نیز به ترتیب ۱۰- و ۴۲ درجه سانتیگراد بوده است. مجموع بارندگی سالانه ۲۳۲ میلیمتر و میانگین رطوبت ماهانه ۴۲٪ می‌باشد. میانگین سالانه سرعت باد غالب در منطقه نیز ۹ کیلومتر بر ساعت گزارش شده است.

جهت محاسبه میزان شاخص کیفیت هوا از نظر شدت آلودگی PM₁₀ و PM_{2.5} از فرمول ارائه شده توسط EPA استفاده گردید؛

$$I = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}}(C - C_{low}) + I_{low}$$

در فرمول بالا I_{high} و I_{low} به ترتیب حد بالا و پایین شاخص کیفیت هوا برای گروه کیفیت هوا، C_{high} و C_{low} به ترتیب حد بالا و پایین آلاینده مورد نظر در گروه کیفیت هوا و C غلظت اندازه‌گیری شده آلاینده است (Mansouri, 2012). حدود بالا و پایین آلاینده‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

میزان ارتباط بین غلظت ذرات معلق PM₁₀ و PM_{2.5} و شاخص‌های اقلیمی از روش همبستگی پیرسون مشخص گردید. از آنجایی که بافت شهری در این منطقه ناهمگن است و نقاط نمونه برداری به روش انتخابی تعیین شدند استفاده از روش تحلیل مکانی (Spatial Analysis) به عنوان بهترین روش تهیه نقشه پهنه‌بندی استفاده شد، زیرا پایه و اساس روش‌های پهنه‌بندی آماری مانند کریجینگ نمونه‌برداری تصادفی بوده و از آنجایی که بافت شهری ناهمگن اجازه نمونه‌برداری تصادفی را نداد اقدام به پهنه-

صبح که غلظت آلاینده‌های هوا به‌علت ترافیک بالا بود به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری ذرات معلق

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام پایانه
۱	۵۳۰۵۴۷	۳۹۵۰۶۹۲	پایانه صادقیه
۲	۵۳۱۴۹۳	۳۹۵۰۰۵۰	
۳	۵۳۱۳۴۶	۳۹۴۹۳۴۸	
۴	۵۳۱۱۱۶	۳۹۴۷۲۹۹	
۵	۵۳۰۶۵۹	۳۹۴۸۴۳۰	
۶	۵۳۱۹۷۶	۳۹۴۸۸۸۶	
۷	۵۲۹۳۸۹	۳۹۴۸۲۴۵	پایانه فتح‌آباد
۸	۵۲۹۵۴۸	۳۹۴۷۶۲۳	
۹	۵۲۸۰۲۰	۳۹۴۸۰۳۳	
۱۰	۵۲۵۷۷۱	۳۹۴۸۴۳۹	
۱۱	۵۲۷۳۳۲	۳۹۴۸۶۴۲	پایانه مهرشهر
۱۲	۵۲۷۳۳۹	۳۹۵۰۵۰۷	
۱۳	۵۲۵۹۲۳	۳۹۴۹۴۹۵	
۱۴	۵۲۹۲۱۱	۳۹۴۹۹۰۵	
۱۵	۵۲۶۷۱۷	۳۹۴۹۷۶۶	پایانه دردشت
۱۶	۵۳۰۴۱۵	۳۹۴۹۶۲۱	
۱۷	۵۲۸۰۶۶	۳۹۴۹۶۱۴	
۱۸	۵۲۹۲۳۱	۳۹۴۸۸۷۳	

• آنالیز نمونه‌ها

جهت آنالیز آلاینده‌ها از دستگاه نمونه‌برداری لیزری Environmental Dust Monitor مدل Envirocheck 107 به‌منظور اندازه‌گیری PM_{2.5} و PM₁₀ استفاده شد. این دستگاه می‌تواند مقادیر PM_{2.5} و PM₁₀ را به طور همزمان اندازه‌گیری کند، این سیستم به‌طور اتوماتیک مقادیر را در حافظه خود ذخیره می‌کند و می‌تواند میانگین دقیقه‌ای، ساعتی و روزانه را محاسبه نماید. هوای محیطی حاوی ذرات معلق توسط یک پمپ کالیبره شده داخلی با دبی ۱/۲ لیتر در دقیقه به داخل دستگاه مکش می‌شود. این نمونه هوا از داخل یک سل نمونه‌برداری عبور کرده و از مقابل دیود آشکارساز لیزری عبور می‌کند. نمونه هوا پس از عبور از یک صافی ۴۷ میلی متری از جنس

¹ Polytetrafluoroethylene

که با کاهش دما غلظت ذرات معلق در اتمسفر افزایش یافته است.

بندی به روش خطوط هم میزان شد (Webster and Oliver, 2001).

جدول ۳. همبستگی پیرسون بین غلظت آلاینده‌ها و متغیرهای اقلیمی (**،*،*): به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪

متغیر	ذرات معلق PM ₁₀	ذرات معلق PM _{2.5}
میانگین دما	-۰/۱۲ ^{ns}	-۰/۶۲ ^{**}
حداقل دما	-۰/۱۴ ^{ns}	-۰/۶۵ ^{**}
حداکثر دما	-۰/۰۹ ^{ns}	-۰/۵۹ ^{**}
رطوبت	۰/۰ ^{ns}	۰/۳۶ [*]
سرعت باد	۰/۰۸ ^{ns}	-۰/۳۱ ^{ns}

جدول ۲. حدود بالا و پایین آلاینده‌های ذرات معلق و دامنه شاخص کیفیت هوای مربوط به آن

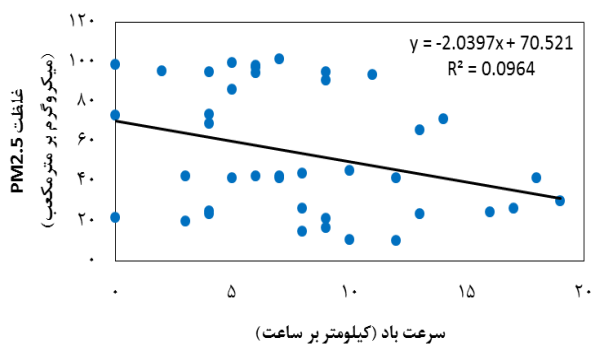
وضعیت کیفی هوا	شاخص کیفیت هوا	PM ₁₀ (μg/m ³)	PM _{2.5} (μg/m ³)
پاک	۵۰-۰	۵۴-۰	۱۲-۰
سالم	۱۰۰-۵۱	۱۵۰-۵۱	۳۵/۴-۱۲/۱
ناسالم برای گروه های حساس	۱۵۰-۱۰۱	۲۵۴-۱۵۱	۵۵/۴-۳۵/۵
ناسالم	۲۰۰-۱۵۱	۳۵۴-۲۵۵	۱۵۰/۴-۵۵/۵
بسیار ناسالم	۳۰۰-۲۰۱	۴۲۴-۳۵۵	۲۵۰/۴-۱۵۰/۵
خطرناک	۴۰۰-۳۰۱	۵۰۴-۴۲۵	۳۵۰/۴-۲۵۰/۵
بسیار خطرناک	۵۰۰-۴۰۱	۶۰۴-۵۰۵	۵۰۰/۴-۳۵۰/۵

با توجه به نمودارهای همبستگی بین غلظت PM₁₀ و متغیرهای اقلیمی موجود مشاهده می‌شود که میانگین دمای روزانه در طی کل دوره، همبستگی معنی‌داری با غلظت PM₁₀ نداشته است. در این بررسی بین رطوبت هوا و باد با غلظت PM₁₀ نیز ارتباطی مشاهده نشده است. ضریب تعیین رابطه این آلاینده با رطوبت هوا نزدیک به صفر بوده و ضریب تعیین رابطه این آلاینده با سرعت باد ۰/۰۷ می‌باشد که رقم بسیار کمی است. البته قابل ذکر است که دامنه تغییرات سرعت باد در این بررسی تنها بین صفر تا ۲۰ کیلومتر بر ساعت متغیر بوده و بنابراین غلظت ذرات معلق در روزهای آرام اندازه گیری شده است. بر خلاف ذرات معلق درشت، PM_{2.5} ارتباط بهتری با متغیرهای اقلیمی داشتند. بر همین اساس شکل ۱ نشان می‌دهد که با افزایش میانگین دمای روزانه غلظت ذرات معلق PM_{2.5} نیز افزایش می‌یابد. حداقل دمای روزانه نیز ارتباط بسیار نزدیکی با غلظت PM_{2.5} دارد. گرچه همانند ذرات معلق بزرگتر، وارونگی دمایی در سوم دی ماه منجر به افزایش غلظت این ذرات شده است. حداکثر دمای روزانه نیز با غلظت PM_{2.5} همبستگی ضعیفی داشته است. به عبارت دیگر در روزهای گرم زمستانی غلظت ذرات معلق بسیار بالاتر از روزهای سرد است (در صورتی که وارونگی دمایی رخ ندهد). رطوبت نسبی هوا تأثیری معکوس بر غلظت PM_{2.5} دارد. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش رطوبت هوا، میزان غلظت ذرات معلق نیز کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند، گرچه این رابطه بسیار قوی

۳- نتایج

• همبستگی بین غلظت آلاینده‌ها و پارامترهای اقلیمی

نتایج غلظت ذرات معلق در پایانه‌ها در تمامی روزهای مورد اندازه‌گیری به جز روزهای ۲۷ و ۳۰ آذر و همچنین ۹ دی ماه به طور قابل توجهی بالا بود. به نظر می‌رسد پایین بودن غلظت ذرات معلق در این روزها به دلیل بارندگی و همچنین کاهش ترافیک شهری به واسطه شب یلدا بوده است. بیشترین غلظت آلاینده‌های ذرات معلق در روز ۱۵ آذر برای PM_{2.5} و در روز ۱۲ دی ماه برای PM₁₀ مشاهده شد. ضریب همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و غلظت ذرات معلق در جدول ۳ نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای اقلیمی، به جز سرعت باد همبستگی معنی‌داری با غلظت PM_{2.5} دارند. این در صورتی است که هیچ تأثیری بر ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون مشاهده نشده است. بر اساس این جدول بیشترین همبستگی ذرات PM_{2.5} با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۶۵- با حداقل دما مشاهده شد که بیانگر ارتباط معکوس بین این دو متغیر است. در نتیجه مشخص گردید

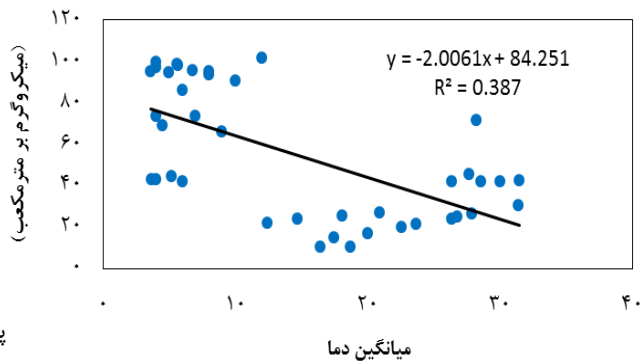


شکل ۳. نمودار همبستگی بین سرعت باد و غلظت ذرات معلق PM_{2.5} در پایانه های مترو

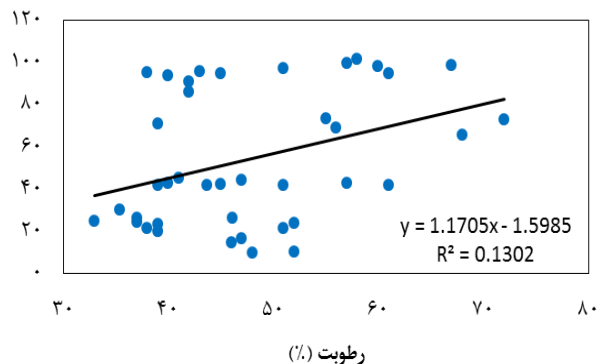
• پهنه بندی ذرات معلق بر اساس شاخص AQI

پهنه بندی آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون با استفاده از نرم افزار ArcGIS در پاییز ۹۵ نشان می دهد که غلظت این آلاینده در دامنه ۸۵ تا ۱۴۵ میکروگرم بر متر مکعب بوده و بیشتر غلظت در بخش های غربی و شمالی مشاهده می شود. با محاسبه شاخص آلودگی هوا بر اساس این آلاینده، میزان شاخص بین ۶۸ (ایستگاه ۳) و ۹۳ (ایستگاه ۱) متغیر است که در دامنه آلودگی متوسط (۵۱-۱۰۰) قرار می گیرد (غلظت آلودگی ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون در مناطق مسکونی کمتر بوده و در مناطق باز و پرتراфик بیشتر است. در زمستان سال ۱۳۹۵ غلظت ذرات معلق در پایانه های مترو در وضعیت مطلوبی بوده و بین ۱۱۰ تا ۱۲۰ میکروگرم بر متر مکعب متغیر است. بر اساس همین داده ها با محاسبه شاخص کیفیت هوا مشخص می شود که از نظر PM₁₀ کیفیت هوای منطقه در زمستان در شرایط سالم قرار دارد. پهنه بندی غلظت این آلاینده در بهار سال ۱۳۹۶ نشان می دهد که در این زمان از سال غلظت آلاینده ها به حداقل رسیده و بین ۶۲ تا ۷۴ میکروگرم بر متر مکعب متغیر است. بنابراین از جنبه این آلاینده در فصل بهار کیفیت هوا در کل منطقه در شرایط سالم قرار دارد. در تابستان سال جاری نقشه پهنه بندی آلاینده PM₁₀ نشان می دهد که این آلاینده غلظت پایینی در هوای منطقه داشته و غلظت آن در مناطق شمالی محدوده در پایانه های مترو کمتر از مناطق جنوبی می باشد غلظت این آلاینده در فصل تابستان افزایش قابل توجهی داشته و به دامنه ۱۱۳ تا ۱۲۷ میکروگرم بر متر مکعب می رسد. با این حال بر اساس محاسبه شاخص کیفیت هوا، هوای منطقه از نظر این آلاینده در فصل تابستان در شرایط سالم قرار دارد. غلظت آلاینده ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون در فصل پاییز بین ۷۵ تا ۹۵

نیست، زیرا عوامل دیگری همچون بارندگی هم بر غلظت ذرات معلق و هم رطوبت هوا تأثیر دارند. با توجه به شکل ۳ مشاهده می شود که باد بر این عامل آلاینده نیز تأثیر معنی داری ندارد. گرچه تغییرات سینوسی در غلظت آلاینده با افزایش باد دیده می شود. در مرحله اول با افزایش سرعت باد به ۸ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت، غلظت آلاینده افزایش یافته و پس از آن کاهش می یابد.



شکل ۱. نمودار همبستگی بین میانگین دمای هوا و غلظت PM_{2.5} در پایانه های مترو



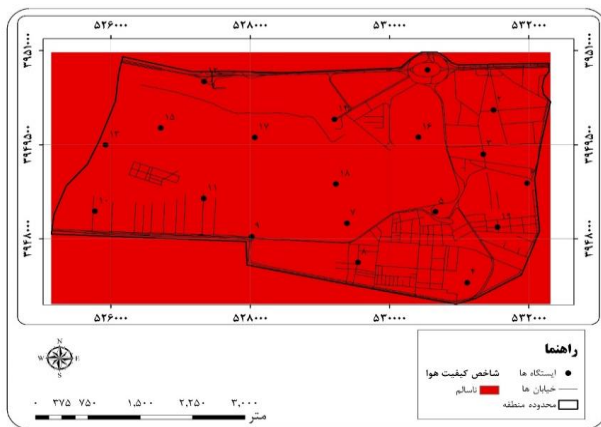
شکل ۲. نمودار همبستگی بین رطوبت هوا و غلظت ذرات معلق PM_{2.5} در پایانه های مترو



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت هوا بر اساس آلودگی ذرات معلق در پایانه های

مترو تهران در پاییز ۹۶

در زمستان سال گذشته نمونه‌برداری‌های انجام شده در ماه بهمن نشان می‌دهد که به‌طور متوسط شاخص کیفیت هوا در این منطقه در دامنه ناسالم قرار گرفته است (شکل ۵).



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت هوا بر اساس آلودگی ذرات معلق در

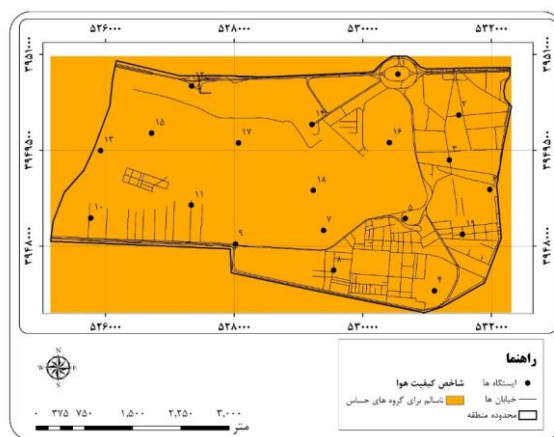
پایانه های مترو تهران در زمستان ۹۵

پهنه‌بندی شاخص کلی کیفیت هوا بر اساس دو آلاینده مورد بررسی در بهار ۹۶ نشان می‌دهد که در این فصل از سال به‌طور متوسط وضعیت شاخص کیفیت هوا در وضعیت سالم قرار داشته و غلظت آلاینده‌ها بسیار پایین می‌باشد. ترکیب شاخص کیفیت هوای به‌دست آمده از دو آلاینده مورد بررسی در تابستان سال جاری در شکل ۶ نشان می‌دهد که در این فصل از سال شاخص کیفیت هوا بیشتر در دامنه ناسالم برای افراد حساس قرار دارد.

میکروگرم بر متر مکعب متغیر است. غلظت این آلاینده در مناطق شرقی و شمال شرقی بیشتر و در مناطق غربی، کمتر است. با محاسبه شاخص آلودگی هوا برای این آلاینده مشخص می‌شود که در طی دوره نمونه برداری به‌طور متوسط میزان آلودگی این آلاینده در سطح ناسالم قرار داشته است (۲۰۰-۱۵۱) گرچه در برخی از روزها به دلیل بارندگی، غلظت این آلاینده به سطح سالم رسیده است اما به دلیل اینکه در برخی از روزها میزان آلودگی در سطح بالایی قرار داشته است. در نتیجه میانگین شاخص کیفیت هوا در این محدوده در دامنه ناسالم قرار گرفته است. میزان تغییرات این شاخص بین ۱۶۱ تا ۱۶۶ متغیر بوده که نشان می‌دهد شدت ناسالم بودن آلودگی نزدیک به مرز پایین (۱۵۱) است. بنابراین در تمام منطقه به‌طور یکنواخت شدت آلودگی در دامنه ناسالم قرار گرفته است. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در مورد آلاینده $PM_{2.5}$ در پایانه های مترو تهران، در زمستان سال ۹۵ غلظت این آلاینده در ناحیه های مختلف منطقه بین ۷۶ تا ۸۴ میکروگرم بر متر مکعب متغیر بوده است. بنابراین غلظت این آلاینده به‌طور قابل توجهی در این فصل بالا است. نقشه پهنه-بندی این آلاینده نشان می‌دهد که این آلاینده در این فصل از سال باعث کاهش شاخص کیفیت هوا شده و منجر به ایجاد وضعیت ناسالم در منطقه شده است. از آنجایی که در نقشه‌ها دامنه تغییرات آلاینده‌ها در یک کلاس از شاخص کیفیت هوا قرار گرفته، بنابراین نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفیت هوا با توجه به کلاس‌بندی استاندارد تنها در یک کلاس قرار گرفته است. در بهار ۹۶ غلظت آلاینده مذکور به‌طور قابل توجه کاهش یافته و دامنه تغییرات آن بین ۱۷ تا ۲۱ میکروگرم بر متر مکعب متغیر است. این نقشه نشان می‌دهد که تغییرات غلظت این آلاینده در سطح منطقه نیز بسیار جزئی بوده و بر اساس شاخص کیفیت هوای محاسبه شده کیفیت هوای منطقه در وضعیت سالم قرار دارد. نقشه پهنه‌بندی $PM_{2.5}$ در فصل تابستان در پایانه‌های مترو نشان می‌دهد که در این فصل از سال غلظت این آلاینده از ۳۶ تا ۴۲ میکروگرم بر متر مکعب متغیر است. این غلظت آلاینده باعث شده است تا شاخص کیفیت هوا در گروه ناسالم برای افراد حساس قرار گیرد. در فصل پاییز شدت آلودگی $PM_{2.5}$ در تمامی ایستگاه‌ها بالا بوده و در نتیجه مقدار شاخص آن بالاتر از PM_{10} بوده است. در نتیجه شاخص آلودگی حداکثری در عمده ایستگاه‌ها بر اساس این آلاینده بدست آمده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است میزان شاخص کیفیت هوا در این منطقه در طول دوره نمونه برداری به‌طور متوسط ناسالم گزارش شده است.

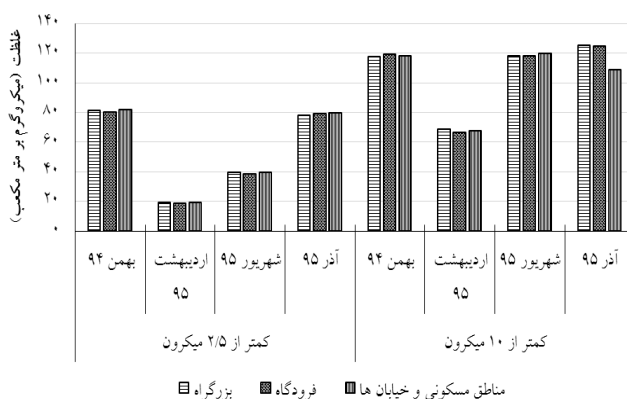
۴- بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در طی چهار فصل سال شاخص کیفیت هوا بر پایه آلاینده ذرات معلق دستخوش تغییرات چشمگیری شده است. این نتایج همچنین نشان داد که نزدیک بودن پایانه ها به مراکز آلودگی شهری عامل اصلی این شدت آلودگی است. زیرا در منطقه پایانه با وجود آنکه مساحت بالایی از زمین کاربری غیر شهری دارد، با این حال کیفیت هوای آن از وضع نامطلوبی برخوردار است. در این بررسی غلظت $PM_{2.5}$ در فصل زمستان و پاییز به مراتب بیشتر از فصل تابستان و بهار بوده است که نقش قابل توجه اقلیم در وضعیت آلودگی شهر حائز اهمیت است. بر اساس نتایج پژوهش جعفر زاده حقیقی و همکاران (۱۳۸۹)، طی آزمون‌های به عمل آمده، بین غلظت ذرات و پارامترهای جوی مانند دما، رطوبت نسبی، فشار هوا و سرعت باد، میزان غلظت ذرات تنها با دما دارای اختلاف معنی‌داری بود که در تابستان و در زمستان از طریق آزمون‌های پارامتریک هیچ کدام از پارامترها با میزان غلظت ذرات، دارای اختلاف معنی‌دار نبودند (Haghighi et al., 2010). کاربری اراضی منطقه‌ای در مقیاس بزرگتر نیز تأثیر فراوانی بر شدت آلاینده‌های ذرات معلق، به‌خصوص ذرات $PM_{2.5}$ دارد. اگرچه مقیاس در این پژوهش بزرگ نبوده است اما اتوبوس‌های مستقر در منطقه و در مناطق مجاور تأثیر قابل توجهی بر شدت آلاینده‌ها دارند. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که در تمامی فصول میزان غلظت $PM_{2.5}$ در مناطق پرترافیک بیشتر از مناطق کم ترافیک بوده است. گرچه اختلاف قابل توجهی مشاهده نشد که دلیل آن باز بودن بافت پایانه ها بواسطه وجود رفت و آمد زیاد می باشد. در نتیجه جریان‌های هوایی در منطقه بیشتر بوده و غلظت آلودگی بافت های مختلف در این منطقه همگن تر می باشد. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط نورپور و فیض (۱۳۹۳) همسو بوده و نشان دهنده تأثیر ترافیک بر غلظت این آلاینده می باشد (Noorpour and Feizi., 2014). از نظر آلودگی ذرات معلق کمتر از 10 میکرون نیز نتایج این پژوهش نشان داد که بین کاربری‌های مختلف اختلاف مشخصی وجود ندارد. علاوه بر این، در فصول مختلف نیز الگوی تغییرات این آلاینده متفاوت است. دلیل این امر می‌تواند در کنار بافت متفاوت این منطقه، فعالیت‌های ساختمانی در کاربری‌های مسکونی منطقه و همچنین حاشیه‌ای بودن آن باشد. زیرا بر اساس پژوهش نورپور و فیض در مناطق صنعتی و حاشیه شهری غلظت PM_{10} نسبت به مراکز شهر بیشتر است در این پژوهش غلظت ذرات معلق با دما رابطه مثبت و با رطوبت رابطه‌ای منفی داشته است. بنابراین انتظار می رود که حداکثر



شکل ۶. نقشه پهنه بندی شاخص کیفیت هوا بر اساس آلودگی ذرات معلق در پایانه های مترو تهران در تابستان ۹۶

غلظت هر دو گروه ذرات معلق در این منطقه در اردیبهشت ماه کمترین میزان را نشان داد. غلظت $PM_{2.5}$ در آذر ماه سال جاری و بهمن ماه سال گذشته بیشترین میزان را داشت، در صورتی که غلظت PM_{10} در بهمن ماه سال گذشته، شهریور، آذر و دی ماه سال جاری تقریباً یکسان بوده و در حدود 120 میکروگرم بر متر مکعب گزارش شد (شکل ۷). از نظر نوع کاربری، به‌واسطه کوچک بودن منطقه مورد مطالعه اختلاف بسیار کمی بین کاربری‌های پایانه‌های صادقیه و فتح آباد مشاهده شد. پس از آن‌ها بیشترین غلظت این آلاینده در دو پایانه دردشت و مهرشهر مشاهده شد. در مورد غلظت PM_{10} این الگو صادق نبوده و در ماه‌های مختلف نیز غلظت آن متفاوت است. در بهمن و دی ماه بیشترین غلظت این آلاینده در پایانه دردشت مشاهده شد، در صورتی که در اردیبهشت و شهریور ماه کمترین غلظت را داشت.



شکل ۷. میانگین غلظت ماهانه آلاینده های PM_{10} و $PM_{2.5}$ در کاربری های مختلف در پایانه‌های متروی تهران

McPherson et al., 1998; Dzierzanowski et al.,
(2011; McDonald et al., 2007

آلودگی در روزهای گرم و خشک مشاهده شده و حداقل آلودگی در روزهای سرد و مرطوب مشاهده شود. طبق پژوهش های انجام شده توسط Kim Oanh (۲۰۰۶) و بر طبق نتایج به دست آمده مشخص شد که در تمامی شهرها، سطح PM_{10} و $PM_{2.5}$ مخصوصا در طول فصل خشک بسیار بالا بودند که در تعدادی از شهرها حتی بالاتر از حد استاندارد تعیین شده برای هر کدام از آنها بود. غلظت متوسط ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ به ترتیب در فصل خشک شامل: ۱۶۸-۴۴ و ۲۶۲-۵۴ میکروگرم بر متر مکعب و در طی فصل مرطوب شامل: ۱۰۴-۱۸ و ۱۸۰-۳۳ میکروگرم بر متر مکعب بودند (Kim Oanh, 2006). هالک و کاوسی (۱۳۹۱)، به بررسی غلظت ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ در شهر کرج پرداختند و اظهار داشتند که در منطقه شهری غلظت ذرات معلق در فصول گرم افزایش یافته و در انتهای فصل تابستان به حداکثر خود می رسد (Halek and Kavousi, 2012). نتایج بسیاری از پژوهشها نشان می دهد که افزایش آلودگی ذرات معلق به بیش از حد مجاز در مناطق شهری باعث بروز بیماری هایی در افراد ساکنین شهر می شود. این بررسی ها اظهار می کنند که عوامل بسیاری از بیماری های تنفسی، قلبی - عروقی، سرطان های معده و حتی سینه در بانوان ناشی از ذرات معلق موجود در اتمسفر شهرها هستند (Zeka., 2006; Atash., 2007; Balluz et al., 2007; Prioleau., 2009; Chiu et al., 2011; Raaschou-Nielsen., 2011; Turner., 2011). بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش ها و مقایسه کیفیت هوایی که این بیماران در معرض آن قرار گرفته اند، احتمال می رود که بسیاری از چنین بیماری هایی در شهر تهران ناشی از ذرات معلق موجود در اتمسفر باشد. یکی از اقدامات مهم و موثر در زمینه ی یافتن راهکار مناسب برای رفع خطرات و آسیب های ناشی از ذرات معلق هوا، تعیین میزان واقعی آلاینده ی ذرات معلق و توصیف کیفیت هوا در مقایسه با شرایط استاندارد و اطلاع رسانی ساده و صحیح به مردم و اقدامات احتیاطی و پیشگیرانه جهت مواردی است که کیفیت هوای نامطلوب و آلودگی از حد استاندارد فراتر می رود (Raaschou-Nielsen., 2011; Turner., 2011). نتایج پژوهش های مختلف نشان می دهند که درختان پهن برگ، نقش یک فیلتر طبیعی را برای گرد و غبارهای موجود در هوا بازی می کنند. برگ های درختان دارای سطوح زیادی در واحد وزن بوده و لایه ی مومی سطح برگ، توانایی جذب و نگهداری گرد و غبارها و ذرات پراکنده و ترکیبات آلی غیر فرار را دارد. همچنین برگ ها می توانند ذراتی با قطر کمتر از ۱۰ میکرون را جذب کرده و سپس به لایه ی اپیدرمی نفوذ داده و در مرحله ی بعد به ریشه ها انتقال بدهند. (Yang et al., 2015; Sæbø et al., 2012;)

1. Jamshidi A, Karimzadeh Shirazi K, Rayegan Shirazi A. Investigation of airborne particles contamination in Gachsaran city in 2005. *Armaghan Danesh*. 2007; 2(12):89-97.(Persion)
2. Almasi A, Asadi F, Mohammadi M. Determination of Exhaust Pollutants from Chimney Cement of Saman Kermanshah Cement Plant in 2012. *Journal of Health in the field*. 2013;1(2): 36-42.(Persion)
3. Colls J. *Air Pollution*. 2nd ed. London: Spon Press; 2002: 5-45
4. Sharma M, Maloo S. Assessment of ambient air PM 10 and PM 2.5 and characterization of PM 10 in the city of Kanpur, India. *Atmospheric Environment*. 2005; 39(33):6015-6026
5. Tsai SS, Chang CC, Yang CY. Fine particulate air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease: a case-crossover study in Taipei. *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10:6015-6026.
6. Guo E, Shen H, He L, Zhang J. Investigation of air pollution of Shanghai subway stations in ventilation seasons in terms of PM 2.5 and PM 10. *Toxicology and Health*. 2017;33(7):588-600
7. Kermani, M, Naddafi K, Shariat M, Mesbah A. Investigation of TSP and PM10 values and description of air quality by relying on AQI index in the air of Shariati Hospital in Tehran. *Journal of School of Public Health and Institute of Health Research*. 2003; 2(1):37-46.(Persion)
8. Hejazi, A, Mobasheri M, Ahmadian A. Preparation of a spatial distribution map of suspended particles with a diameter of less than two half micrometers in Tehran using Modus sensor data. *Applied Geosciences Research*. 2012;12(26): 161-178.(Persion).
9. Ryeul Sohn J, Kim M, Chun Kim J, Sun Woo Y. Particulate behavior in subway airspace. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 2008; 2(1):54-59
10. Mansouri, N. *Environmental Pollution*. Tehran Arad Ketab. 2012:811. (Persion)
11. Webster, R., Oliver, M.A. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Australia: Wiley. 2001
12. Jafarzadeh Haghghi, N, Rafiee M, Khaksar E, Khodabakhshi L. Determination of ambient air quality in Iran National Steel Group in Ahwaz based on suspended particles. *Eleventh National Conference on Environmental Health*. 2010.(Persion)
13. Noorpor, A, Feiz M.A. Determination of spatial and temporal variations of sulfur dioxide, nitrogen dioxide and particulate matter pollutants using GIS techniques in Tehran. *Mohit shenasi*. 2014; 40(3): 723-738.(Persion)
14. Kim Oanh. Particulate air pollution in six Asian cities: Spatial and temporal distributions, and associated sources. *Atmospheric environment*, 2006;40: 3367-33803.
15. Halek, F, S., Kavousi, R, A, 2012. Vertical profile of particulate matter pollutants in the urban environment of Karaj in Alborz province, National conference of management of air and sound. 14-15 November.
16. Zeka, A. Inflammatory markers and particulate air pollution: Characterizing the pathway to disease. *International Journal of Epidemiology*. 2006; 35: 1347-1354
17. Atash, Farhad. The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran. *Cities*. 2007; 24: 399-409.
18. Balluz, L., Wen X, Jan. T, Madrid S, Jan. D., Qualter, J. and Mokdad, A. Ischemic heart disease and ambient air pollution of particulate matter 2.5 in 51 counties in the U.S. *Public Health Reports*, 2007;122: 626-633.
19. Prioleau, W H. Fine particulate air pollution and cardiovascular disease. *Journal of the South Carolina Medical Association*. 2009; 105: 202-203
20. Chiu, H. Fild., Tsai, S. Sian., et al. Traffic air pollution and risk of death from gastric cancer in Taiwan: Petrol station density as an indicator of air pollutant exposure. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 2011; 74: 1215-1224
21. Raaschou-Nielsen, O. Lung cancer incidence and long-term exposure to air pollution from traffic. *Environmental Health Perspectives*, 2011; 119: 860-865.
22. Turner, M. Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a 25. large cohort of never-smokers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2011; 184: 1374-1381.
- 23- Yang J, Wang HX, Xie BZ, et al. Accumulation of particulate matter on leaves of nine urban greening plant species with different micromorphological structures in Beijing. *Res of Environ Sci* 2015;28(3): 384-392.
- 24- Sæbø A, Popek R, Nawrot B, Hanslin HM, Gawronska H, Gawronski SW, et al. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Sci of the Total Environ* 2012;427: 347-354.
- 25- McPherson EG, Scott KI, Simpson JR. Estimating cost effectiveness of residential yard trees for improving air quality in Sacramento, California, using existing models. *Atmos Environ* 1998;32: 75-84.
- 26- Dzierzanowski K, Popek R, Gawronska H, Sæbø A, Gawronski SW. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *Int J of Phytoremediation* 2011;13: 1037-1046.
- 27- McDonald AG, Bealey WJ, Fowler D, Dragosits U, Skiba U, Smith RI, et al. Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations. *Atmos Environ* 2007; 41:8455-8467.