

Original article

Monitoring and Modeling of the Concentration and Quality Index of Dust Particles in the Air of Gorgan City in 1396

Mohammad Reza Khani^{1, 2}Yousef Dadban Shahamat³Zeynab Shahidi^{4*}Narges Sadeghi Moghaddam⁵Yousef Kor⁶

- 1- Water Purification Research Center, Islamic Azad University, Tehran Medical Branch, Tehran, Iran
- 2- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Islamic Azad University, Tehran Medical Branch, Tehran, Iran
- 3- Associate Professor, Environmental Health Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran
- 4- M.Sc Student of Environmental Health Engineering, Health Faculty, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran
- 5- M.Sc of Environment, Water, and Wastewater Engineering, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Gorgan, Iran
- 6- M.Sc of Environmental Engineering, Environmental Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

***Corresponding author:** Zeynab Shahidi, Health Faculty, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

Email: daneshjoogerl@gmail.com

Received: 08 February 2019

Accepted: 09 June 2019

ABSTRACT

Introduction and purpose: Previous epidemiological studies suggested a close correlation between suspended particles and the prevalence of respiratory diseases, cardiovascular problems, cancer, and mortality. Moreover, it was reported that the city space contains pollutions of motionless and moving sources. Therefore, the aim of this study was to determine the concentration and release status of PM₁₀ and PM_{2.5} particles in the air of Gorgan, Iran in 2016-2017 and to provide effective solutions.

Methods: In this descriptive cross-sectional study, the concentration of air pollutants in Gorgan was measured at eight stations in different parts of the city for one year during July 2016-June 2017. Afterwards, the results of monthly PM_{2.5} and PM₁₀ measurements by the portable device were modeled following the calculation of the quality index and estimation of their effect on health in the Geographic Information System using the Air Quality Index (AQI) Calculator software. In addition, the measurements were compared with national and international standard values. Furthermore, solutions were provided for reducing pollution.

Results: Our findings demonstrated that the highest amount of PM_{2.5} and PM₁₀ were recorded in December (116 and 76 µg/m³) and the lowest was in April (40 and 34 µg/m³). The results of one-way analysis of variance revealed a significant difference in the mean concentrations of the two particles between months. According to the results of this study, air inversion in cold seasons was effective in the concentration of these pollutants. The annual mean of PM₁₀ and PM_{2.5} was reported as 41 and 30 µg/m³, respectively. The latter means were lower and higher than the EPA standards of 50 and 12 µg/m³, respectively.

Conclusion: The results of the current investigation showed that the highest AQI was related to PM_{2.5} in the central regions of the city, Municipality Square, and Mazandaran Square. In addition, the highest PM₁₀ pollution was measured in the central and southern parts of the city. This could be attributed to the high density of cars, which is the most important factor in the production of particles in cities.

Keywords: Air pollution, Air quality index, Dust particles, Gorgan

► **Citation:** Khani MR, Dadban Shahamat Y, Shahidi Z, Sadeghi Moghaddam N, Kor Y. Monitoring and Modeling of the Concentration and Quality Index of Dust Particles in the Air of Gorgan City in 1396. Journal of Health Research in Community. Spring 2019;5(1): 79-94.

مقاله پژوهشی

پایش و مدل سازی غلظت و شاخص کیفیت ذرات گرد و غبار در هوای شهر گرگان در سال ۱۳۹۶

چکیده

مقدمه و هدف: در مطالعات اپیدمیولوژیک پیشین، رابطه نزدیک ذرات معلق و شیوع مشکلات تنفسی، قلبی-عروقی، انواع سرطان و مرگ و میر مشخص شده و گزارش گردیده است که فضای شهر حاوی آلاینده های منابع ساکن و متحرک می باشد. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت و وضعیت انتشار ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در هوای شهر گرگان در سال ۱۳۹۶ و ارائه راه کارهای مؤثر برای آن انجام شده است.

روش کار: در پژوهش حاضر که از نوع مطالعات پایشی-توصیفی-مقطعی می باشد، غلظت آلاینده های هوای شهر گرگان در هشت ایستگاه پراکنده در نقاط مختلف شهر طی یک سال از تیر ماه ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۶ اندازه گیری شد. سپس، نتایج سنجش ماهانه PM_{10} و $PM_{2.5}$ با استفاده از دستگاه پرتابل پس از محاسبه شاخص کیفیت و برآورد میزان اثر آن ها بر سلامتی توسط نرم افزار (Air Quality Index) AQI Calculator (Calculator) در سیستم GIS (Geographic Information System) پهنه بندی گردید و با مقادیر استاندارد ایران و جهان مقایسه شد و در ادامه نسبت به ارائه راهکارهای کاهش برای آن اقدام گردید.

یافته ها: بیشترین مقدار $PM_{2.5}$ و PM_{10} در آذر ماه (۱۱۶ و ۷۶ میکروگرم بر متر مکعب) و کمترین میزان آن در فروردین ماه (۳۴ و ۴۰ میکروگرم بر متر مکعب) ثبت گردیده بود. نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نیز نشان از وجود اختلاف معنادار میانگین غلظت های ذرات مورد بررسی در ماه های داشت. بر مبنای نتایج، وارونگی هوا در فصول سرد بر غلظت این آلاینده ها تأثیر داشت. در این پژوهش میانگین سالانه PM_{10} معادل ۴۱ میکروگرم بر متر مکعب و برای $PM_{2.5}$ برابر با ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب محاسبه گردید که به ترتیب از استاندارد EPA (Environmental Protection Agency)، کمتر (۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) و بیشتر (۱۲ میکروگرم بر متر مکعب) بودند.

نتیجه گیری: بر مبنای نتایج، بیشترین شاخص کیفیت هوا (AQI: Air Quality Index) مربوط به $PM_{2.5}$ بوده و بیشتر در مناطق مرکزی شهر، میدان شهرداری و میدان مازندران اتفاق افتاده است. بیشترین آلودگی PM_{10} نیز مربوط به بخش مرکزی و جنوب شهر بوده است که علت آن می تواند تراکم خودروها که مهم ترین عامل تولید ذرات در شهرها هستند، باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، ذرات غبار، شاخص کیفیت هوا، گرگان

محمد رضا خانی^{۱*}
یوسف دادبان شهامت^۲
زینب شهیدی^{۳*}
نرگس صادقی مقدم^۴
یوسف کر^۵

۱. مرکز تحقیقات پالایش آب، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳. استادیار، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران
۵. کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست آب و فاضلاب، مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی لامعی گرگانی، گرگان، ایران
۶. کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: زینب شهیدی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

Email: daneshjoogeri@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۹

◀ **استناد:** خانی، محمد رضا؛ دادبان شهامت، یوسف؛ شهیدی، زینب؛ صادقی مقدم، نرگس؛ کر، یوسف. پایش و مدل سازی غلظت و شاخص کیفیت ذرات گرد و غبار در هوای شهر گرگان در سال ۱۳۹۶. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، بهار ۱۳۹۸؛ ۵(۱): ۹۴-۷۹.

مقدمه

بر اساس لایحه هوای پاک، تعریف آلودگی هوا عبارت است از: انتشار یک یا چند آلاینده اعم از آلاینده های جامد، مایع، گاز،

پرتوهای یون‌ساز و غیر یون‌ساز و بو در هوای آزاد به صورت طبیعی یا ساخته شده توسط انسان به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را به گونه‌ای تغییر دهد که برای سلامت انسان و موجودات زنده، فرایندهای بوم‌شناختی یا آثار و بناهای تاریخی زیان آور بوده و یا سبب از بین رفتن یا کاهش سطح رفاه عمومی گردد [۱،۲]. افزایش غلظت آلاینده‌های هوا از یک حد معین، حوادث ناگواری را در برخی از کشورها و مناطق جهان به وجود آورده است [۳]. وقوع حوادث شدید ناشی از آلودگی هوا که موجب بیماری و مرگ و میر تعداد زیادی از ساکنین شهرها شده است، به منزله زنگ خطری بوده است که به جهانیان در مورد مخاطرات واقعی و مهلک آلودگی هوا هشدار داده و موجب انجام اقدامات مثبت در زمینه کنترل آلودگی هوا شده است [۲]. بررسی‌ها گویای آن هستند که مهم‌ترین حوادث ناشی از آلودگی هوا در بلژیک، پنیسلوانیا، لندن و نیویورک رخ داده‌اند [۳]. به طور کلی در مطالعات مربوط به آلودگی هوا، غلظت آلاینده‌های هوا با میزان حملات حاد قلبی، مشکلات تنفسی و مرگ‌های ناگهانی مرتبط بوده و روند مراجعه افراد به بیمارستان‌ها به دلیل آسم و آئزین ناپایدار صدری، با روند افزایش یا کاهش کیفی غلظت آلاینده‌ها در همان زمان هماهنگ بوده است [۳،۴]. براساس تحقیقات انجام شده در ارتباط با اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن‌ها از میان آلاینده‌های هوا، ۷۰ درصد از موارد سرطان ریه در افراد غیرسیگاری و یک‌سوم از سرطان‌های ریه در افراد سیگاری مربوط به آلودگی هوا بوده است [۵]. در این ارتباط، پنج نوع از مواد به‌عنوان آلوده‌کننده‌های عمده هوا شناخته شده‌اند که سهمی بیش از ۹۰ درصد در آلودگی هوا دارند و عبارت هستند از: منوکسیدکربن (CO: Carbon Monoxide)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x: Nitrogen Oxide)، هیدروکربن‌ها (HC: Hydro Carbon)، اکسیدهای سولفور (SO_x: Sulfur oxide) و ذرات معلق (ذرات) می‌باشند [۱]. در این میان، ذرات موجود در هوا از اهمیت خاصی برخوردار بوده و به دو دسته ذرات PM_{2.5} و PM₁₀ تقسیم می‌شوند. این ذرات با ایجاد اثرات

منفی (بر جانداران و اشیای بی‌جان) و مخاطره‌آمیز برای سلامت انسان، قابلیت ته‌نشینی نداشته و همراه با هوای تنفسی وارد ریه‌ها می‌شوند و قادر به تضعیف عملکرد ارگان‌های مختلف از جمله سیستم تنفسی و در نهایت ایجاد بیماری، ناتوانی، کاهش بازده جسمانی و در مجموع، کاهش سطح کیفیت زندگی و حتی طول عمر می‌باشند. از سوی دیگر، فضای شهرها به‌ویژه مراکز استان‌ها و کلان‌شهرها حاوی این نوع آلاینده‌ها از منابع ساکن و متحرک محسوب می‌شوند [۲]. در این راستا، مطالعات اپیدمیولوژیک نشان‌دهنده رابطه مستقیم غلظت ذرات معلق موجود در هوا و شیوع مشکلات تنفسی، قلبی-عروقی، انواع سرطان و مرگ و میر می‌باشند؛ به‌طوری که در مطالعات صورت گرفته، رابطه آماری بین غلظت ذرات معلق و مرگ‌های منتسب به آن‌ها در مناطق مختلف شهر با توجه به بررسی طولانی‌مدت روند مراجعات گروه‌های حساس به اورژانس در مواقع افزایش غلظت ذرات و تجاوز از مقدار مجاز، معنادار گزارش شده است [۸-۶]. باید خاطرنشان ساخت که سالانه ۵۱ نفر از هر ۱۰۰۰۰۰ نفر از شهروندان تهرانی در معرض خطر ابتلا به سرطان قرار دارند که بر این اساس برای جمعیت حدود ۸ میلیون نفر شهر تهران، متجاوز از ۴۰۰۰ احتمال وقوع سرطان ریه وجود دارد [۵]. با توجه به موارد بیان شده، هدف از مطالعه حاضر تعیین وضعیت انتشار ذرات PM₁₀ و PM_{2.5} در هوای شهر گرگان در سال ۹۶-۱۳۹۵، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی GIS برای دو آلاینده PM₁₀ و PM_{2.5} در سطح شهر و ارائه راه کارهای مؤثر می‌باشد.

روش کار

پژوهش حاضر از نوع مطالعات پایشی توصیفی-مقطعی می‌باشد. به منظور انجام این پژوهش، ابتدا نسبت به جمع‌آوری آمار و اطلاعات در مورد اطلاعات کلی جمعیتی، فضای سبز و منابع تولید آلاینده‌ها اقدام گردید. سپس، غلظت ذرات هوای گرگان

در هشت ایستگاه پراکنده (مطابق جدول ۲) در نقاط مختلف شهر طی یک سال آماری از تیر ماه ۱۳۹۵ تا خرداد ۱۳۹۶ اندازه‌گیری شد. نتایج سنجش ماهانه $PM_{2.5}$ و PM_{10} با استفاده از دستگاه پرتابل پس از محاسبه شاخص کیفیت و برآورد میزان اثر آن‌ها بر سلامتی توسط نرم‌افزار AQI Calculator در سیستم GIS پهنه‌بندی گردید و با مقادیر استاندارد ایران و جهان مقایسه شد و در ادامه نسبت به ارائه راه کارهای کاهش اقدام گردید. سپس، اطلاعات مربوط به نمونه‌های سنجیده شده پس از جمع‌آوری و دسته‌بندی وارد نرم‌افزار Excel گردید و به منظور تحلیل فرضیات، رسم نمودارها و دسته‌بندی داده‌ها از نرم‌افزار Excel و SPSS استفاده شد. شایان ذکر است که سطح معناداری پارامترهای هر دو آلاینده در ماه‌های مختلف با استفاده از آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه مشخص گردید.

ویژگی‌های محدوده پژوهش

استان گلستان با وسعتی معادل $20437/7$ کیلومتر مربع که $1/3$ درصد از کل مساحت کشور را تشکیل می‌دهد، دارای شرایط اقلیمی متفاوت بوده و از اقلیم معتدل و مرطوب در مناطق جنوبی

تا خشک و نیمه‌خشک در مناطق میانی و شمالی استان برخوردار می‌باشد. این استان شامل قسمتی از جلگه‌های ساحلی جنوب شرقی دریای خزر است. به لحاظ جغرافیایی، این استان بین 53 درجه و 51 دقیقه تا 56 درجه و 14 دقیقه طول شرقی و 36 درجه و 24 دقیقه تا 38 درجه و 5 دقیقه عرض شمالی در بخش شمالی کشور واقع گردیده است [۹]. شهرستان گرگان در بخش جنوبی استان گلستان واقع شده است. جمعیت این شهر معادل 480541 نفر می‌باشد که نسبت به جمعیت استان، حدود 25 درصد را به خود اختصاص داده است [۱۰].

جمعیت شهر گرگان در سال 1395 معادل 35067600 نفر سرشماری گردیده است. مطابق با نمودار ۲ میزان فضای سبز پارک عمومی $25/25$ هکتار، پارک جنگلی 9 هکتار، فضای سبز حاشیه معابر $91/5$ هکتار و فضای وسط معابر $54/6$ هکتار می‌باشد که در مجموع معادل $180/35$ هکتار است که با توجه به جمعیت سرانه فضای سبز هر نفر، $5/14$ متر مربع به ازای هر نفر می‌باشد [۱۱].

آمار توصیفی منابع مهم مصنوعی متحرک و ثابت تولید آلاینده‌ها در شهرستان گرگان در سال 1396 در جدول ۱ ارائه گردیده است:

جدول ۱: آمار توصیفی منابع مصنوعی تولید آلاینده‌ها در شهرستان گرگان در سال ۱۳۹۶

الف. آمار خودروهای سبک				
محل	سواری	تاکسی	وانت	سایر
شهرستان گرگان	۹۳۰۴۵	-	۱۲۲۵۱	۱۹۸
ب. آمار خودروهای سنگین				
محل	مینی‌بوس	اتوبوس	کامیونت	کامیون
شهرستان گرگان	-	-	۲۱۸۷	-
ج. آمار صنایع				
محل	سنگ‌شکن	آجر ماشینی	چوب و کاغذ	آسفالت
شهرستان گرگان	۱۸	۹	۴	۵

$$I_P = \left(\frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} \right) * (C_P - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه:

I_P = شاخص کیفیت هوا (AQI) برای آلاینده P است.

C_P = غلظت اندازه گیری شده (گردشده) برای آلاینده P است.

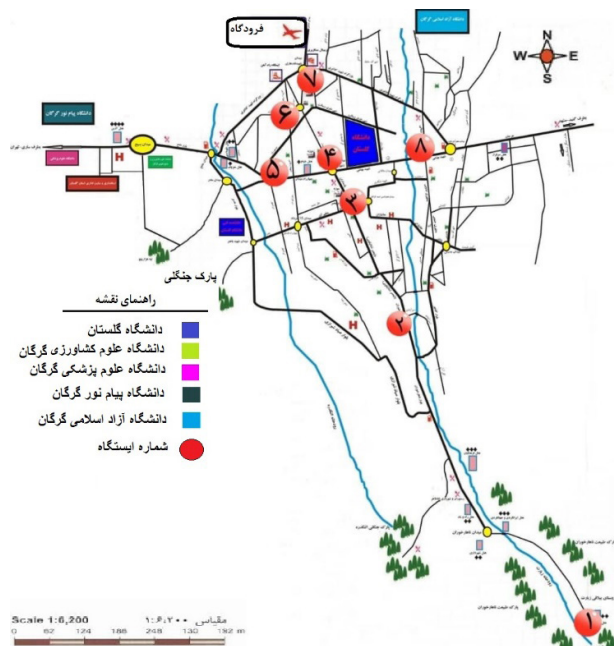
BP_{Hi} = نقطه شکستی است که بزرگتر یا مساوی C_P باشد.

BP_{Lo} = نقطه شکستی است که کوچکتر یا مساوی C_P باشد.

I_{Hi} = مقدار AQI منطبق با BP_{Hi}

I_{Lo} = مقدار AQI منطبق با BP_{Lo}

شاخص کیفیت هوا به منظور گزارش روزانه آن تهیه شده و مورد استفاده قرار می گیرد. این شاخص مردم را از کیفیت هوا آگاه نموده و اثرات سلامتی مرتبط با آن را ارائه می کند. این شاخص برای پنج آلاینده اصلی هوا که عبارت هستند از: ذرات معلق، مونوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، دی اکسید



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌ها در شهر گرگان

جانمایی مناطق نمونه برداری

موقعیت مکانی ایستگاه‌های نمونه برداری در شهر گرگان به گونه ای انتخاب شدند که تمامی مناطق شهر را پوشش دهند.

نمونه برداری و محاسبه AQI

نمونه های ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ به شکل لحظه ای در ۱۲ ماه به صورت ماهانه در هشت ایستگاه و سه نمونه در هر ایستگاه معادل ۲۸۸ نمونه برای هر ذره سنجیده شد. شایان ذکر است که ساعت نمونه برداری، ۱۰ صبح روزهای دهم، بیستم و آخر هر ماه بود.

در ادامه، متوسط کل هر آلاینده و انحراف از معیار آن محاسبه شد و با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص کیفیت آن‌ها تعیین گردید. در این مطالعه به منظور برآورد میزان شاخص کیفیت هوا برای پارامترهای ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ از نرم افزار AQI Calculator استفاده شد. به منظور محاسبه شاخص AQI از رابطه ۱ استفاده گردید [۱]. لازم به ذکر است که پارامترهای مورد استفاده در رابطه ۱ از جدول مربوط به نقاط شکست برای AQI به دست می آید.

جدول ۲: نام ایستگاه‌های برداشت نمونه و موقعیت مکانی آن‌ها

شماره ایستگاه	محل ایستگاه	موقعیت در شهر
۱	مجاور رستوران مسعود، جاده ناهارخوران	جنوب شهر
۲	انبار جهاد، جاده ناهارخوران	جنوب شهر
۳	میدان ولیعصر، ضلع شمالی	مرکز شهر
۴	میدان شهرداری	مرکز شهر
۵	میدان مازندران	غرب شهر
۶	میدان امام زاده عبدالله	شمال شهر
۷	میدان ترمینال	شمال شهر
۸	میدان کریمی	شرق شهر

نیترژن و ازن سطح زمین، محاسبه می‌گردد. در AQI کیفیت هوا در قالب شش گروه دسته‌بندی و گزارش می‌شود که مقدار شاخص در گروه خوب با رنگ سبز بین ۵۰-۱۰۰ است؛ در گروه متوسط با رنگ زرد بین ۱۰۱-۱۵۰ می‌باشد، در گروه با رنگ نارنجی برای طبقات حساس بین ۱۵۱-۲۰۰ می‌باشد، در گروه بسیار ناسالم با رنگ بنفش بین ۲۰۱-۳۰۰ است و در گروه خطرناک با رنگ خرمایی بیش از ۳۰۰ می‌باشد. کیفیت هوا در وضعیت خوب، رضایت‌بخش بوده و دارای ریسک سلامتی ناچیز و یا فاقد آن می‌باشد. در وضعیت متوسط، کیفیت هوا قابل قبول می‌باشد؛ اگرچه برای عده بسیار کمی ممکن است با ملاحظات بهداشتی خاص همراه باشد. شایان ذکر است که در حالت ناسالم برای گروه‌های حساس، برخی از افراد ممکن است اثرات بهداشتی خاصی را تجربه نمایند. در حالت ناسالم ممکن است هر فرد، اثرات بهداشتی را تجربه کند که در این میان، گروه‌های حساس اثرات جدی‌تری را بر سلامت تجربه خواهند نمود. همچنین در وضعیت بسیار ناسالم ممکن است هر فرد اثرات جدی بر سلامت را تجربه کند. در وضعیت خطرناک نیز تمام افراد جامعه تحت تأثیر اثرات جدی سلامت خواهند بود [۲].

روش سنجش غبار محیطی

دستگاه سنجش غبار محیطی مورد استفاده در این پژوهش، HAZ-DUST پرتابل (مدل SKC، EPAM-5000، ساخت کشور آمریکا) بود که از توانایی نمونه‌برداری غبار محیطی در سائزهای ۲،۵،۱۰ و ۱ میلی گرم در متر مکعب برخوردار می‌باشد؛ از این رو دارای سه عدد فیلتر نمونه‌برداری در سائزهای مذکور است. در این مطالعه نمونه‌برداری براساس استاندارد ۱/۱/۲ به معنای قرار گرفتن دستگاه به‌منظور نمونه‌برداری در فاصله ۱ متر از سطح زمین و در فاصله ۱ متر از موانع محیطی به مدت دو

ساعت انجام شد [۱۲].

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی انتشار ذرات

پس از نمونه‌برداری از آلاینده‌ها در زمان‌های مختلف در ایستگاه‌های مشخص، با توجه به توزیع ایستگاه‌ها و ویژگی‌های مکانی آن‌ها براساس مقادیر UTM (Universal Transverse Mercator) سنجیده‌شده با استفاده از GPS در سطح شهر، براساس بهترین مدل با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.3 به ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی توزیع آلودگی و مدل‌سازی آن اقدام گردید. لازم به ذکر است که با توجه به پراکندگی ایستگاه‌ها و نقاط محدود نمونه‌برداری از مدل Inverse Distance (IDW) استفاده شد. Weighting)

یافته‌ها

تعیین غلظت آلودگی ذرات در ماه‌های مختلف سال

همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار PM_{10} در ماه آذر و سپس در ماه‌های دی و اردیبهشت ثبت شده است. کمترین مقدار نیز متعلق به فروردین و بهمن ماه می‌باشد. بر مبنای نتایج، غلظت ذرات $PM_{2.5}$ در ماه آذر دارای بیشترین مقدار بوده و پس از آن به‌ترتیب در ماه‌های آبان و دی، بیشترین مقدار را نسبت به سایر ماه‌ها داشته است. کمترین مقدار آن نیز در فروردین ماه ثبت شده است.

مقایسه آماری غلظت ذرات در ماه‌های مختلف

در این مطالعه تفاوت غلظت آلاینده‌ها در ماه‌های مختلف سال توسط آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۳ مشاهده می‌شود که بین میانگین غلظت‌های هر دو نوع ذره در ماه‌های مختلف سال از نظر آماری اختلاف معناداری وجود دارد.

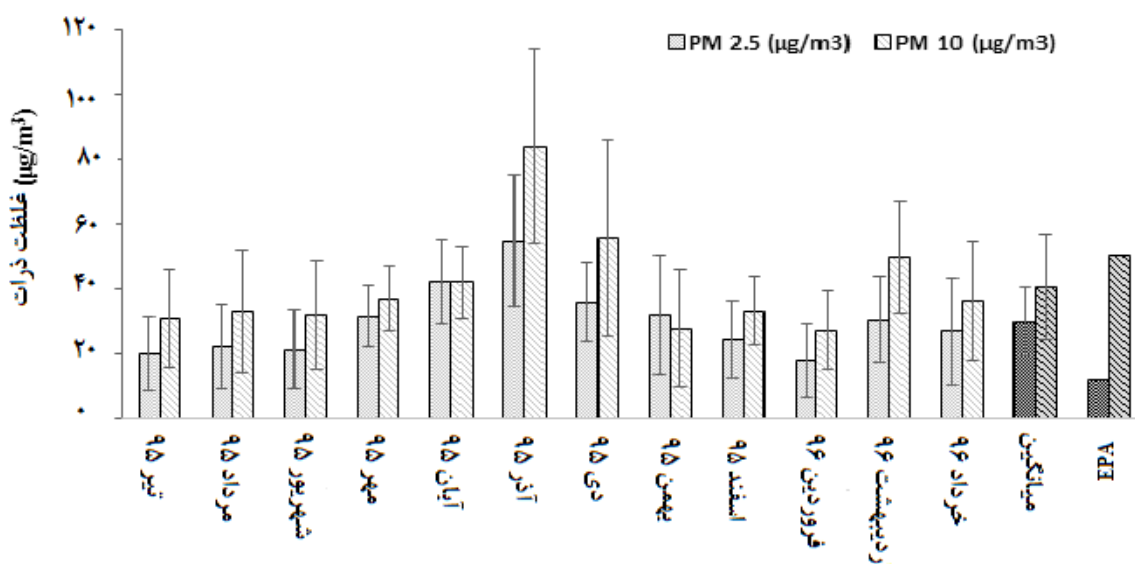
تعیین غلظت آلودگی ذرات در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار غلظت میانگین سالانه PM_{10} مربوط به ایستگاه سید مسعود بوده و کمترین آن در ایستگاه میدان کاخ ثبت گردیده است.

نتایج محاسبه شاخص AQI در ماه‌های مختلف

همان‌طور که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان شاخص کیفیت هوا مربوط به ذرات $PM_{2.5}$ بوده است که به ترتیب

در ماه‌های آذر، آبان و دی به میزان ۱۴۸، ۱۱۷ و ۱۰۲ اتفاق افتاده است. کمترین میزان شاخص کیفیت هوا نیز مربوط به ذرات PM_{10} بوده است که در ماه‌های بهمن و فروردین معادل ۲۵ ثبت شده است.

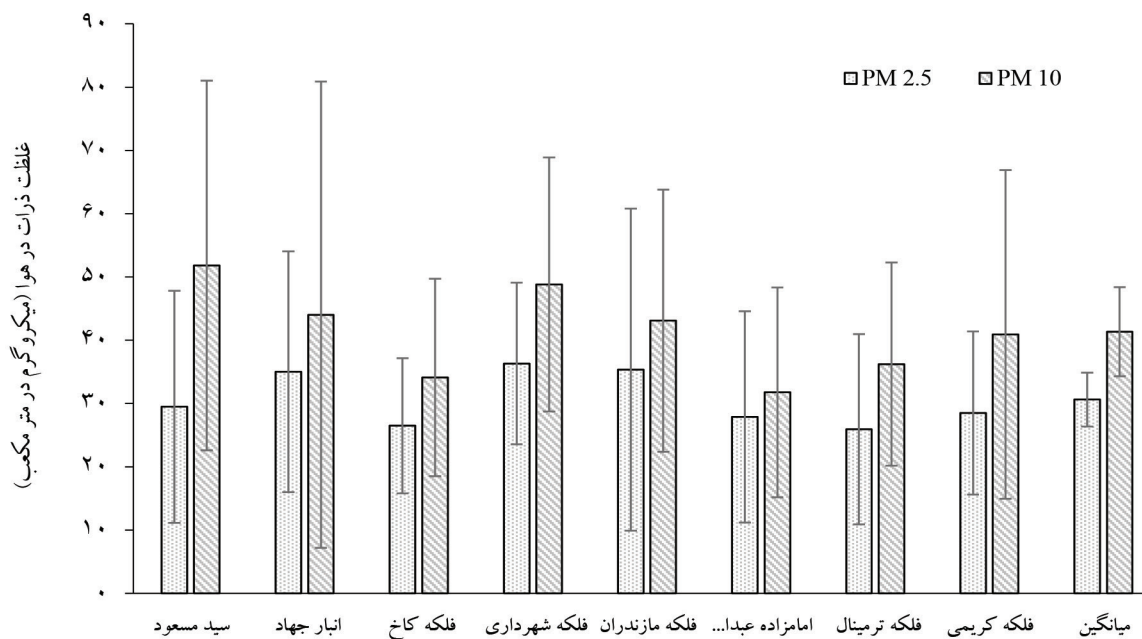
نتایج مدل‌سازی مطابق شکل ۲ حاکی از آن هستند که بیشترین میزان شاخص کیفیت هوا مربوط به ذرات $PM_{2.5}$ بوده است که بیشتر در مناطق مرکزی شهر یعنی میدان شهرداری و میدان مازندران اتفاق افتاده است. البته بیشترین میزان آلودگی توسط



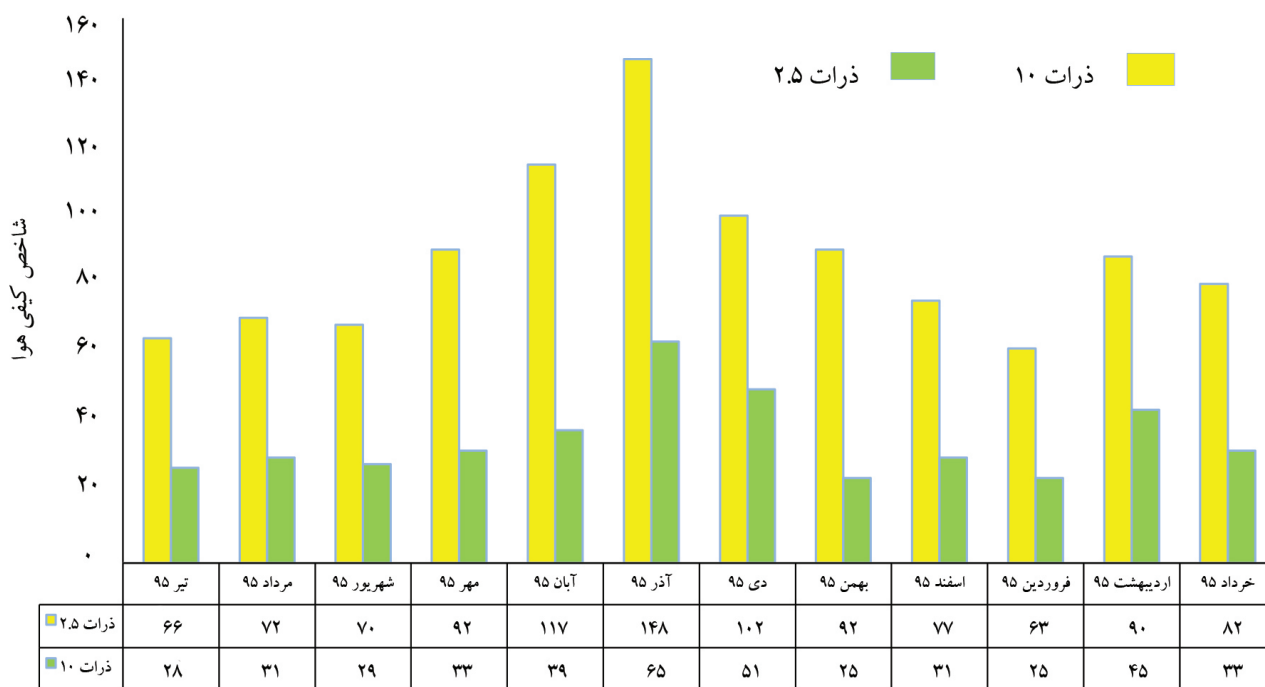
نمودار ۱: نمودار میانگین غلظت و انحراف معیار ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ایستگاه‌های نمونه‌برداری به تفکیک ماه‌های مختلف

جدول ۳: جدول آنالیز واریانس یک‌طرفه غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} در ماه‌های مختلف

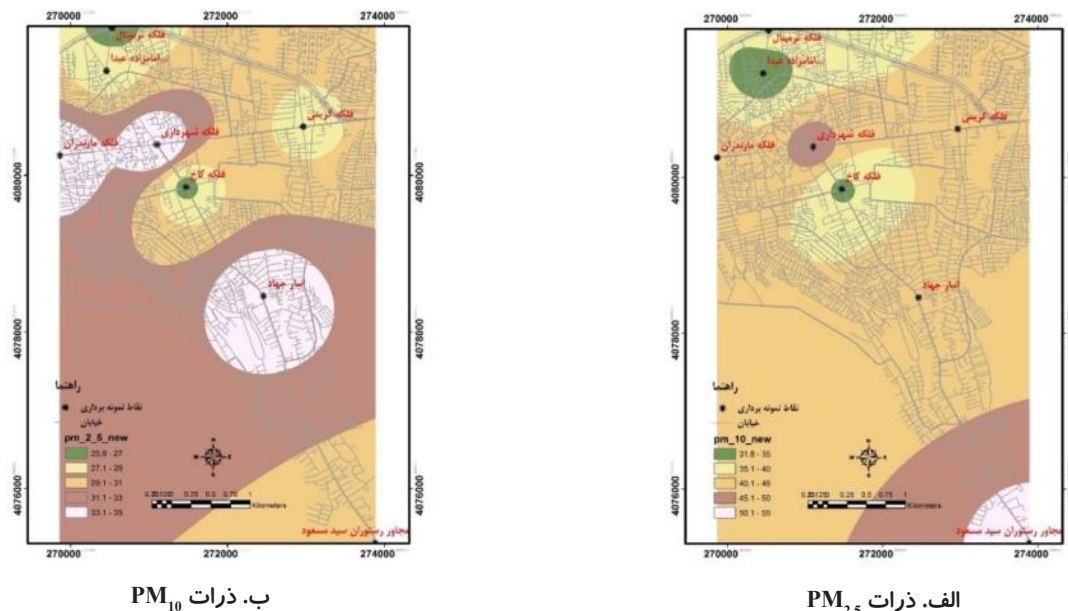
پارامترها	مجموع مربعات	درجه آزادی	مربع میانگین	F	سطح معناداری
PM_{10}	Between Groups	۱۱	۳۸۳/۲۰۷۳		
	Within Groups	۸۴	۰۸۶/۳۴۵	۰۰۸/۶	۰۰۰/۰
	Total	۹۵			
$PM_{2.5}$	Between Groups	۱۱	۹۵۱/۸۸۹		
	Within Groups	۸۴	۳۰۰/۱۹۳	۶۰۴/۴	۰۰۰/۰
	Total	۹۵			



نمودار ۲: نمودار میانگین سالانه و انحراف معیار غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری



نمودار ۳: نمودار شاخص کیفیت هوای شهر در مورد ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در ماه‌های سال‌های ۹۶-۱۳۹۵ در شهر گرگان



شکل ۲: مدل پراکندگی میانگین سالانه غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در شهر گرگان

ذرات PM_{10} در بخش مرکزی و جنوبی شهر ثبت گردیده است.

بحث و نتیجه گیری

نتایج در ارتباط با مقایسه اختلاف غلظت آلاینده‌ها در ماه‌های مختلف سال نشان دادند که به لحاظ آماری، اختلاف میانگین غلظت‌های هر دو نوع ذره (آلاینده) در ماه‌های سال معنادار بوده است. در این راستا مطابق با نتایج به دست آمده، بیشترین غلظت PM_{10} در آذر ماه معادل ۸۴ میکروگرم بر متر مکعب و کمترین آن در فروردین ماه معادل ۲۱ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. همچنین بیشترین غلظت $PM_{2.5}$ در آذر ماه معادل ۵۵ میکروگرم بر متر مکعب و کمترین آن در فروردین ماه معادل ۱۸ میکروگرم بر متر مکعب ثبت گردیده است. با توجه به اینکه غلظت هر دو ذره در اواخر پاییز و اوایل زمستان به بیشترین حد خود رسیده است، می‌توان علت آن را پدیده وارونگی دما دانست [۱۳]. هرچند میانگین سالانه ذرات PM_{10} از استاندارد حفاظت محیط زیست

ایران و EPA کمتر بوده است؛ اما میزان آن در فصل سرما بیش از مقدار استاندارد EPA می‌باشد. در ارتباط با ذرات $PM_{2.5}$ نیز میانگین سالانه آن به‌ویژه در ماه‌های آبان تا دی بیشتر از میزان استاندارد EPA بوده است (نمودار ۱). در این راستا، مختاری و همکاران (۲۰۱۷) بیشترین میزان آلودگی را در فصول سرد گزارش نمودند [۳]. نتایج مطالعات لک و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که بیشترین غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} مربوط به اواخر پاییز و اوایل زمستان بوده است که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارند [۷]. در ارتباط با AQI نیز بیشترین میزان شاخص کیفیت هوا مربوط به ذرات $PM_{2.5}$ بوده است که به ترتیب در ماه‌های آذر، آبان و دی اتفاق افتاده و در محدوده نامناسب برای افراد حساس قرار داشته است. علاوه بر این، بهترین کیفیت هوا مربوط به ذرات PM_{10} در ماه‌های بهمن و فروردین بوده است. این امر بدین معنا می‌باشد که هوای شهر گرگان از نظر ذرات PM_{10} دارای مشکلات کمتری نسبت به ذرات $PM_{2.5}$ است. بر مبنای نتایج، بیشترین میزان AQI مربوط به ذرات $PM_{2.5}$ بوده است که

بیشتر در مناطق مرکزی شهر (میدان شهرداری و میدان مازندران) مشاهده شده است. آلودگی توسط ذرات PM_{10} نیز در بخش مرکزی و جنوبی شهر ثبت شده است که علت آن می‌تواند تراکم خودروها که مهم‌ترین عامل تولید ذرات در شهرها هستند، باشد. در این زمینه، نتایج مطالعات Halek و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که آلاینده اصلی شهر تهران که موجب قرارگرفتن وضعیت هوا در شرایط ناسالم شده است، ذرات معلق با قطر کمتر از $2/5$ میکرون بوده و بیشترین سهم تولید آلودگی در این شهر از آن اتوبوس‌های حمل و نقل عمومی و موتورهای سوخت فسیلی به‌ویژه در نواحی پرترافیک شهر می‌باشد [۵]. علاوه بر این، نتایج پژوهش Hoek و همکاران که در ارتباط با ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ در شهر آمستردام (۲۰۱۱) با استفاده از مدل‌های PNC (Particle Number Concentrations) و LUR (Land Use Regression) انجام شد، تأثیر ترافیک، تراکم سکونت و نوع کاربری زمین بر غلظت ذرات معلق هوا تأیید گردید و نشان داده شد که در مناطق با غلظت ذرات بیشتر، اثرات منفی بهداشتی نیز بیشتر می‌باشد. در این پژوهش وجود رابطه بین شدت ترافیک و توان دوم معکوس فاصله با نزدیک‌ترین جاده گزارش گردید که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر همراستا می‌باشند [۱۴]. به‌طور کلی، هوای شهر گرگان طی ماه‌های سرد سال که اینورژن دمایی وجود دارد، به دلیل وجود ذرات $PM_{2.5}$ برای گروه‌های حساس، ناسالم می‌باشد. این امر بدین معنا است که برخی از افراد در گروه‌های حساس ممکن است در این شرایط، اثرات بهداشتی خاصی را تجربه نمایند؛ اما عموم مردم تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. در سایر ماه‌ها به دلیل وجود ذرات $PM_{2.5}$ ، شرایط کیفیت هوا در حالت قابل قبول می‌باشد؛ اگرچه آلودگی در این سطح ممکن است برای تعداد بسیار کمی از افراد با ملاحظات بهداشتی خاص همراه باشد. در این شرایط ممکن است علائم تنفسی در افرادی که نسبت به ذرات معلق، دی‌اکسید نیتروژن و ازن حساسیت ویژه‌ای دارند، مشاهده شود. از سوی دیگر، اثر بهداشتی ذرات PM_{10} در بیشتر ماه‌های

سال در شرایط بهداشتی بوده و تنها در ماه‌های بحرانی سال در حالت قابل قبول و شرایط زردرنگ قرار داشته است. در این راستا در مطالعه کیانپور و همکاران (۲۰۱۰) در شهر تهران نشان داده شد که غلظت ذرات و شاخص کیفیت هوای مربوط به آن‌ها در فصول سرد بیش از حد استاندارد است که این امر نشان‌دهنده ارتباط غلظت ذرات و تعداد روزهای اینورژن می‌باشد که نتایج این مطالعه مشابه مطالعه حاضر می‌باشد [۱]. پس از مدل‌سازی با GIS، نتایج در ارتباط با مقایسه اختلاف آلاینده‌ها در بین ایستگاه‌های مختلف شهر نشان دادند که هرچند به لحاظ آماری اختلاف میانگین غلظت‌های هر دو ذره در بین ایستگاه‌ها معنادار نمی‌باشد؛ اما بیشترین غلظت PM_{10} در ایستگاه سید مسعود معادل ۵۲ میکروگرم بر متر مکعب و کمترین آن در ایستگاه امام‌زاده عبدالله واقع در شمال شهر معادل میکروگرم بر متر مکعب به ثبت رسیده است. این در حالی می‌باشد که بیشترین مقدار غلظت $PM_{2.5}$ مربوط به ایستگاه میدان شهرداری واقع در مرکز شهر بود. به‌طور کلی، میانگین غلظت سالانه ذرات $PM_{2.5}$ معادل ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب سنجیده شد که این میزان چندین برابر بالاتر از استاندارد EPA (۱۲ میکروگرم بر متر مکعب)، WHO (World Health Organization) (۱۰ میکروگرم بر متر مکعب) و اتحادیه اروپا (۱۵ میکروگرم بر متر مکعب) می‌باشد. علاوه بر این، میانگین غلظت سالانه ذرات PM_{10} معادل ۴۱ میکروگرم بر متر مکعب سنجیده شد که کمتر از استاندارد غلظت سالانه EPA (۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) و ایران (۱۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) بود. در این راستا در مطالعات مختاری و همکاران (۱۳۹۲) در مورد آلودگی هوای شهر اصفهان، تقریباً در همه روزهای سال به‌ویژه در فصل سرما، میزان $PM_{2.5}$ با میانگین غلظت ۷۶ میکروگرم بر متر مکعب بیشتر از استانداردهای EPA، WHO و اتحادیه اروپا گزارش گردید [۳]. یافته‌های این مطالعه با نتایج به‌دست آمده از مطالعات انجام‌شده توسط خزائی و همکاران (۲۰۱۱) در شهر قم، غلام‌پور و همکاران (۲۰۱۵) در شهر تبریز و ندافی و همکاران

(۲۰۱۲) در شهر اهواز مطابقت دارد [۱۷-۱۵]. در مطالعات محوی و همکاران (۲۰۱۴)، متوسط سالیانه غلظت ذرات معلق (TSP: Total Suspended Particulate)، PM_{10} ، $PM_{2.5}$ و PM_1 در منطقه شهری تبریز به ترتیب برابر با ۱۳۹، ۸۳، ۳۸ و ۲۷ میکروگرم بر متر مکعب و در منطقه صنعتی به ترتیب معادل ۱۷۸، ۱۱۰، ۴۰ و ۲۷ میکروگرم بر متر مکعب بوده است. همچنین، متوسط مقدار نسبت PM_{10}/TSP ، $PM_{2.5}/PM_{10}$ ، PM_1/PM_{10} و $PM_1/PM_{2.5}$ برای منطقه شهری تبریز به ترتیب معادل ۰/۶، ۰/۴۸، ۰/۳۳ و ۰/۷ و برای منطقه صنعتی آن به ترتیب برابر با ۰/۶۱، ۰/۳۷، ۰/۲۸ و ۰/۷۷ گزارش شده است. تعداد کل مرگ‌های منتسب به TSP نیز ۳۲۷ مورد برآورد شد که از این تعداد، ۲۰۲ مورد مرگ در اثر بیماری‌های قلبی-عروقی و ۹۹ مورد به دلیل بیماری‌های تنفسی رخ داده بود [۱۸]. علاوه بر این در مطالعه زلّی و همکاران (۲۰۱۶) در سه منطقه از کرمانشاه، حدود ۱۲ درصد از بیماری‌های قلبی-عروقی و ۱۰ درصد از کل موارد مرگ، با غلظت‌های بیش از ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب ذرات PM_{10} مرتبط بوده است که با توجه به مقدار آن در این مطالعه (۴۱ میکروگرم بر متر مکعب)، زنگ خطری برای احتمال گسترش بیماری‌های قلبی-عروقی در این شهر می‌باشد [۱۹]. از سوی دیگر، نتایج این مطالعه نشان دادند که میانگین غلظت ذرات به‌ویژه $PM_{2.5}$ در فصل سرما به دلیل وجود اینورژن حرارتی و اضافه شدن مصارف سوخت برای مقاصد گرمایشی، بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد؛ از این رو انجام اقدامات کنترلی در جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند سبب کاهش میزان مرگ و میرها شود. علاوه بر این، نتایج در ارتباط با بررسی تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر غلظت آلاینده‌ها نشان دادند که پارامترهای ابری یا آفتابی بودن هوا و باد، تأثیر معناداری بر غلظت آلاینده‌های ذرات دارد؛ همان‌طور که رحیمی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود در سنجندج نیز به این موضوع اشاره داشته‌اند [۲۰]. البته باید بیان نمود که دمای هوا تأثیر معنادار و معکوسی بر

آلاینده‌های فوق داشته است که در تفسیر علت این موضوع می‌توان پدیده وارونگی هوا در روزهای سرد را عامل افزایش این آلاینده‌ها در این روزها دانست. در سایر مطالعات مشابه نیز این مهم مشاهده گردید [۱۶]. از سوی دیگر، بر مبنای نتایج میان غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و PM_{10} به لحاظ آماری همبستگی وجود داشت. بدین معنا که مقادیر غلظت این دو آلاینده به‌طور همزمان با هم، افزایش یا کاهش یافته بود. در توجیه علت این پدیده می‌توان عامل افزایش این آلاینده‌ها را یک عامل مشترک دانست. بدین معنا که ممکن است ترکیب ذرات را مواد آلی یا دود تشکیل داده باشند و یا عامل تولید این آلاینده‌ها یکی باشد؛ برای مثال می‌توان فرض کرد که با افزایش تعداد وسایل نقلیه، میزان ذرات در هر دو سائز افزایش یافته باشد. پژوهش‌هایی که در ایران و جهان در مورد آلودگی ناشی از ذرات و سهم آن‌ها در به خطر انداختن سلامتی، منابع تولیدکننده، عوامل تشدیدکننده و راه‌های کنترل صورت گرفته‌اند، نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند؛ به‌عنوان مثال نتایج مطالعه رحیمی و همکاران (۱۳۹۰) در سنجندج در مورد تغییرات زمانی غلظت PM_{10} ، نشان‌دهنده وجود همبستگی مستقیم دما و رابطه معکوس میانگین رطوبت نسبی ماهانه با شاخص این ذره بود؛ هرچند که در پژوهش عطا‌فر و همکاران (۱۳۹۰) در کرمانشاه در مورد روند تغییرات غلظت PM_{10} طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۴، بیشترین غلظت در تیر ماه در تابستان گزارش شده بوده و دلیل آن کاهش رطوبت جو به دلیل افزایش دما و ورود ریزگردها از کشورهای همسایه بیان شده بود [۲۰، ۲۱]. این نتایج با یافته‌های مطالعات نظری و همکاران (۱۳۹۰) در مورد تغییرات غلظت PM_{10} طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۴ در کرمانشاه همخوانی داشت [۲۲]. جمشیدی و همکاران (۱۳۸۴) نیز در گچساران، میزان آلودگی ذرات معلق را بررسی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که در صورت افزایش دما و کاهش رطوبت، با افزایش غلظت ذرات جو مواجه خواهیم بود؛ از این رو غلظت‌های سنجیده‌شده ذرات در

ماه‌های اردیبهشت تا مرداد، بیش از حد مجاز بوده است [۲۳]. در چند مطالعه اخیر، مغایر با نتایج پژوهش حاضر، بیشترین غلظت ذرات در ماه‌های گرم سال اندازه‌گیری شده بود که دلیل این امر را می‌توان کاهش رطوبت به دنبال افزایش دمای جو و به دنبال آن افزایش گرد و غبار در هوا دانست. باید در نظر داشت که اغلب این مطالعات در شهرهای غرب کشور که در فصول گرم تحت تأثیر ریزگردهای وارد شده از کشورهای همسایه قرار دارند، صورت گرفته‌اند. البته فاکتورهای بسیاری بر میزان ذرات موجود در جو اثرگذار می‌باشند؛ از جمله عوامل جوی مانند شدت و سرعت باد، جهت بادهای غالب، دمای هوا، میزان رطوبت نسبی جو، شرایط توپوگرافی منطقه، تعداد وسایل نقلیه، نوع سوخت مصرفی آن‌ها و تمام مواردی که به آلاینده‌گی با منشأ وسایل نقلیه مربوط می‌باشند. با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه و پارامترهای در نظر گرفته شده توسط پژوهشگران ممکن است نتایج متفاوت؛ اما صحیحی کسب شود که در حین بررسی چندین مطالعه می‌بایست این موارد را مورد توجه قرار داد. در این راستا، پژوهشی دیگر با در نظر گرفتن منابع مصنوعی تولید آلودگی همچون وسایل نقلیه نشان داد که $PM_{2.5}$ با منشأ وسایل نقلیه، اغلب موجب افزایش شاخص کیفی هوای تهران می‌باشد [۵، ۴۲]. در پژوهش متصدی و همکاران (۲۰۱۷) در مورد دو آلاینده $PM_{2.5}$ و PM_{10} در شهر تهران نیز نشان داده شد که بیشترین کاهش کیفیت هوا مربوط به $PM_{2.5}$ بوده و وسایل نقلیه نقش اصلی را در تولید این آلاینده بر عهده داشته‌اند. شایان ذکر است که با افزایش استفاده از وسایل نقلیه در اغلب شهرها، مطالعه در مورد آلاینده‌های شاخص کیفی هوا، نتایج مشابهی را به دست می‌دهد [۲۵]. در این راستا در پژوهش Eeftens و همکاران (۲۰۱۶) ارتباط معناداری بین مناطق پرتراфик شهری سوئیس و افزایش غلظت ذرات گزارش گردید [۲۶]. همچنین نتایج مطالعه کاووسی و همکاران (۲۰۱۴) در قالب نمونه‌برداری و مدل‌سازی ذرات با استفاده از GIS در نواحی مختلف شهر تهران نشان دادند که در مناطق پرتراфик همچون میدان‌ها و

تقاطع خیابان‌ها به‌ویژه در روزهای کاری و ساعات شلوغ مانند اول هفته (که در ایران روز شنبه می‌باشد) و ابتدای صبح و ظهر، میزان غلظت ذرات افزایش می‌یابد که در این میان، PM_{10} سهم بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد [۲۷]. پژوهش Tunno و همکاران (۲۰۱۶) در پترزبورگ نیز نشان‌دهنده افزایش غلظت ذرات در مناطق پرتردد شهر به‌ویژه در ساعات شلوغ مانند ابتدای صبح بود؛ مقایسه غلظت کربن سیاه و $PM_{2.5}$ در این نواحی نشان داد که میزان غلظت ذراتی همچون $PM_{2.5}$ بیش از غلظت کربن سیاه می‌باشد [۲۸]. در این راستا، نتایج مطالعات Hoek و همکاران (۲۰۱۰) در آمستردام، Just و همکاران (۲۰۱۵) در مکزیکوسیتی، Hankey و همکاران (۲۰۱۵) در ویرجینیا و مطالعه مروری Marquez و همکاران (۱۹۹۹) مربوط به چند کشور نشان‌دهنده ارتباط افزایش غلظت ذرات با حجم ترافیک در مناطق شهری، جاده‌های پرتردد و بزرگراه‌ها بودند [۶، ۱۴، ۲۹، ۳۰]. در این زمینه، Clougherty و همکاران (۲۰۰۹) مطابق با مطالعاتی که پیرامون ذرات آلاینده موجود در هوا در دو شهر بوستون و ماساچوست داشتند، به این نتیجه رسیدند که افزایش ترافیک موجب افزایش غلظت ذرات شده و ساکنین مناطق مسکونی در مجاورت مسیرهای پرتردد، بیش از سایر افراد در معرض خطرات ناشی از ذرات می‌باشند [۳۱]. با توجه به تأثیر قابل توجه پوشش گیاهی بر میزان ذرات هوا، نتایج اندازه‌گیری و پهنه‌بندی ذرات در تهران توسط عباس‌پور حاکی از کاهش چشم‌گیر غلظت ذرات در مناطق دارای پوشش گیاهی بیشتر همچون بوستان‌ها به‌ویژه برای PM_{10} بود [۳۲]. از آنجایی که هدف از بررسی غلظت ذرات موجود در جو، کنترل اثرات مرتبط با سلامتی می‌باشد؛ همانند مطالعه حاضر و مطالعاتی چون پژوهش لک در سال ۱۳۹۵ در شهر تبریز که اثرات منفی بهداشتی در مواجهه با $PM_{2.5}$ را نشان داد، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت این ذره (بیش از حد استاندارد) در تماس‌های طولانی، مرگ و میرهای منتسب نیز افزایش یافته و تشدید علائم بالینی در بیماران قلبی-عروقی و

ریوی مشاهده می‌شود که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مشابه می‌باشد [۷]. مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان همانند Fernandez در سال ۲۰۱۱ در ارتباط با چند شهر اروپایی، Erika در سال ۲۰۱۰ در پاکستان؛ Hueglin در سال ۲۰۰۵ در سوئد، Braniš در سال ۲۰۰۴ در فضای باز و بسته؛ Donaldson در سال ۲۰۰۳ و گونتر Oberdörster در سال ۱۹۹۴ نیز با محور سنجش میزان ذرات و تغییرات آن‌ها طی بازه‌های زمانی مختلف در نقاط گوناگون شهر و بررسی اثرات سلامتی ناشی از آن‌ها صورت گرفته‌اند و در تمامی این مطالعات، وجود ارتباط معنادار بین میزان ذرات، تردد خودروها و اثرات منفی بر سلامت نتیجه‌گیری شده است [۳۷-۴۳]. در دهه‌های اخیر در اروپا نیز سطح غلظت $PM_{2.5}$ در هوای مناطق شهری رو به افزایش بوده است. مطالعات کوهورت انجام شده در اروپا، ارتباط تماس طولانی مدت با $PM_{2.5}$ و افزایش میزان مرگ و میر و نیز ارتباط قوی بین غلظت ذرات معلق و تعداد مراجعه افراد به بیمارستان‌ها را به دلیل مشکلات قلبی و تنفسی تأیید می‌کنند [۴]. در مطالعه Schwartz و همکاران نشان داده شد که به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} ، تعداد کل موارد مرگ منتسب به ترتیب معادل ۱/۵ و ۳ درصد افزایش یافته است [۳۸]. همچنین در مطالعات دیگری که در بارسلونای اسپانیا، استکهلم سوئد و مادرید اسپانیا انجام شدند، تعداد کل موارد مرگ منتسب به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب غلظت ذرات $PM_{2.5}$ به ترتیب ۱/۴، ۱/۵ و ۲/۷ درصد افزایش یافته بود [۳۹، ۴۰]. در مطالعات دیگر نیز نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض $PM_{2.5}$ به‌طور میانگین ۸/۶ ماه امید به زندگی جمعی را کاهش می‌دهد [۴۱]. در این راستا در پژوهشی که در ۵۴۵ شهر ایالات متحده آمریکا به منظور کاهش غلظت ذرات معلق و افزایش امید به زندگی مردم در این شهرها طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ انجام شد، نتایج حاکی از آن بودند که به ازای هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب غلظت ذرات $PM_{2.5}$ ، به‌طور متوسط

امید به زندگی به میزان ۰/۳۵ سال افزایش یافته است [۴۲]. Maantay و همکاران (۲۰۰۷) نیز مطالعاتی را در ارتباط با ذرات آلاینده در نیویورک انجام دادند که نتایج نشان از آن داشتند که در پهنه‌بندی مناطق پرترافیک، غلظت ذرات آلاینده و به دنبال آن تشدید علائم بیماران مبتلا به آسم بیشتر است [۴۳]. در مجموع، پژوهش حاضر و سایر مطالعات صورت گرفته در ایران و دیگر کشورها (از جمله کشورهای شمال اروپا و ایالات متحده که به برخی از آن‌ها اشاره شد) با در نظر گرفتن استانداردهای متفاوت مطرح در سطوح داخلی و خارجی، نتایج مشابهی را نشان داده‌اند که همان ارتباط معنادار غلظت ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} با حجم ترافیک و عوامل وابسته به آن همچون نوع سوخت، کارکرد موتور با اینورژن به لحاظ تعداد روزها و شدت آن‌ها، میزان پوشش گیاهی، تشدید علائم در بیماران تنفسی مانند افراد مبتلا به آسم و بیماری‌های قلبی-عروقی و مرگ‌های منتسب می‌باشد؛ از این رو در مناطق با حجم ترافیک بالا همچون مرکز شهر، میدان‌ها، تقاطعات و بزرگراه‌های پرتردد به‌ویژه در روزهای آغازین هفته و ساعات شلوغ، انتظار میزان بیشتری از غلظت این ذرات نسبت به سایر نواحی وجود دارد. همچنین، انتظار می‌رود که در فصول سرد سال به دلیل وقوع بیشتر اینورژن، غلظت ذرات بیشتر از سایر فصول باشد. علاوه بر این، انتظار می‌رود که نواحی دارای پوشش گیاهی بیشتر همچون بوستان‌های شهری در مقایسه با مناطق دیگر، مشکلات کمتری در ارتباط با ذرات داشته باشند. تمامی این موارد بدین معنا هستند که نواحی شهری با شرایط نامساعد از نظر ذرات آلاینده، علائم بیماری را در بیماران تنفسی و قلبی-عروقی و به دنبال آن مرگ‌های منتسب افزایش خواهد داد. در این راستا با اعمال کنترل بر منطقه و خود فرد می‌توان اقدامات مؤثری را در این زمینه انجام داد. به نظر می‌رسد که وجود زمین‌های زراعی متعدد در اطراف شهر گرگان و آتش‌زدن آن‌ها پس از درو به‌منظور آماده‌سازی برای کاشت محصولی دیگر، نقش به‌سزایی در افزایش آلودگی هوا از جمله ذرات دارد. در این ارتباط،

اقدامات انجام شده، اطلاعاتی را در مورد وضعیت شهر گرگان از نظر آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات مورد بحث ارائه می‌دهند؛ اما برای پایش صحیح و کامل هوای شهر گرگان، تجهیز ایستگاه ثابت مرکز استان به سنسورهای ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ و گاز ازن ضروری می‌باشد.

قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از همکاری کارشناسان اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان؛ آقابان مهندس خیرآبادی، مهندس قائمی و مهندس آرمند تشکر و قدردانی می‌نمایند.

آموزش کشاورزان می‌تواند سهم بزرگی در کاهش انتشار ذرات در هوای شهرستان و مناطق مشابه داشته باشد. از سوی دیگر، با توجه به نقش ترافیک سنگین خودروها به‌عنوان عامل اصلی آلودگی داخل شهر، چنانچه در انتقال خط کمربندی فعلی به محور سرخنکلاته تسریع صورت گیرد، می‌توان انتظار داشت که از بار تراکم ترافیکی در شهر و انتشار آلاینده‌ها کاسته شود. علاوه‌براین، به‌عنوان یک پایلوت کشوری می‌توان ایستگاه سلامتی را در ابتدای جاده ناهارخوران و النگ‌دره تأسیس کرد که این اقدام می‌تواند در راستای عدم ورود خودرو به پارک جنگلی النگ‌دره و در نهایت فرهنگ‌سازی ملی مبنی بر عدم ورود خودروها به پارک‌های جنگلی صورت گیرد. اگرچه

References

- Halek F, Kianpour M, Pirmoradi A, Kavousi A. Estimation of urban suspended particulate air pollution concentration. *Int J Environ Res* 2010; 4(1):161-8.
- Kermani M, Bahrami Asl F, Aghayi M, Arfiinyia H, Karimzadeh S, SHahsavani A. comparison of air quality index (AQI) of six industrial cities in Iran. *J Urmia Med Univ Med Sci* 2014; 25(9):810-9 (Persian).
- Mokhtari M, Jafari N, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A. Estimation of health effects of $PM_{2.5}$ exposure using Air Q model in Isfahan during 2013. *Health Dev J* 2017; 6(1):74-84.
- Reche C, Querol X, Alastuey A, Viana M, Pey J, Moreno T, et al. New considerations for PM, Black Carbon and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities. *Atmos Chem Physics* 2011; 11(13):6207-27.
- Halek F, Kavouci A, Montehaie H. Role of motor-vehicles and trend of air borne particulate in the Great Tehran area, Iran. *Int J Environ Health Res* 2004; 14(4):307-13.
- Just AC, Wright RO, Schwartz J, Coull BA, Baccarelli AA, Tellez-Rojo MM, et al. Using high-resolution satellite aerosol optical depth to estimate daily $PM_{2.5}$ geographical distribution in Mexico City. *Environ Sci Technol* 2015; 49(14):8576-84.
- Lak S, Fazlzadeh M, Ghanbari Ghazigoli M. Quantification of health impacts of exposure to atmospheric $PM_{2.5}$ using AirQ model in Tabriz city. *J Occup Environ Health* 2016; 2(3):210-9 (Persian).
- Ostro B, Tobias A, Querol X, Alastuey A, Amato F, Pey J, et al. The effects of particulate matter sources on daily mortality: a case-crossover study of Barcelona, Spain. *Environ Health Perspect* 2011; 119(12):1781-7.
- Kazemi H, Tahlasbi Sarvestani Z, Kamkar B, Shatayi S, Sadeghi S. Agro-ecological zoning of golesan province lands for soybean cultivation using geographical information system (GIS). *J Agr Sci Sustain Prod* 2014; 23(4):21-40 (Persian).
- Ahmad AP, Imani B, Valizadeh Z, Torabi Z, Rezaali M, Seryasat MR, et al. Evaluating amount of satisfaction for visit capabilities and infrastructures of Gorgan city in separation of touristic entrance regions. *Ciência Natura* 2015; 37(6-1):370-8.
- Rahimi E, Salman Mahini A, Mir Karimi H. Application of spatial correlation techniques in measuring the excessive urbanization (Case study: Gorgan). Gorgan: Golestan University of Medical Sciences; 2016 (Persian).
- Kermani M, Naddafi K, Shariat M, Mesbah AS.

- TSP and PM10 measurement and description of air quality index (AQI) in the ambient air in shariati hospital district. J Sch Public Health Institute Public Res 2004; 2(1):37-46 (Persian).
13. Monn C, Braendli O, Schaeppi G, Schindler C, Ackermann-Liebrich U, Leuenberger P. Particulate matter < 10 µm (PM10) and total suspended particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland. Atmos Environ 1995; 29(19):2565-73.
 14. Hoek G, Beelen R, Kos G, Dijkema M, Zee SC, Fischer PH, et al. Land use regression model for ultrafine particles in Amsterdam. Environ Sci Technol 2010; 45(2):622-8.
 15. Safdari M, Mohammadian M, Naddafi K, Azizifar M, Khazaei M. Air pollution quality index (AQI) and density of PM1, PM2. 5 and PM10 in the air of Qom. Qom Univ Med Sci J 2011; 5(2):59-63 (Persian).
 16. Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand M, Taghipour H, Faridi S, Mahvi A. Investigation of the ambient particulate matter concentration changes and assessing its health impacts in Tabriz. Iran J Health Environ 2015; 7(4):541-56 (Persian).
 17. Shahsavani A, Naddafi K, Haghighifard NJ, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, et al. The evaluation of PM10, PM2.5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. J Arid Environ 2012; 77:72-83.
 18. Gholampour A, Nabizadeh R, Naseri S, Yunesian M, Taghipour H, Rastkari N, et al. Exposure and health impacts of outdoor particulate matter in two urban and industrialized area of Tabriz, Iran. J Environ Health Sci Eng 2014; 12(1):27.
 19. Geravandi S. The cardiovascular and respiratory deaths attributed to sulfur dioxide in Kermanshah. J Kermanshah Univ Med Sci 2016; 19(6):319-26 (Persian).
 20. Rahimi M, Yazdani MR, Asadi M, Taleb Heidari M. Investigating the air pollution of Sanandaj whit emphasis on temporal variation of PM10 concentration. Urban Ecol Res 2015; 6(11):99-116 (Persian).
 21. Eslami A, Atafar Z, Pirsaeheb M, Asadi F. Trends of particulate matter (PM10) concentration and related Air Quality Index (AQI) during 2005-2012 in Kermanshah, Iran. J Health Field 2014; 2(1):19-28 (Persian).
 22. Nazari Z, Khorasani N, Feiznia S, Karami M. Investigation of temporal variations of PM10 concentration and influence of meteorological parameters on it during 2005-2010. J Natural Environ 2013; 66(1):101-11 (Persian).
 23. Jamshidi AR, Karimzadeh Shirazi K, Raygan Shirazi AR. Particulate air pollution concentration in the city of gachsaran, 2005-2006. Armaghane Danesh 2007; 12(2):89-97 (Persian).
 24. 15 solutions to the problem of Tehran's air pollution: Tasnim News Agency. Available at: URL: www.tasnimnews.com/fa/news/1396/09/29; 2017 (Persian).
 25. Motesaddi S, Hashempour Y, Nowrouz P. Characterizing of air pollution in Tehran: comparison of two air quality indices. Civil Eng J 2017; 3(9):749-58.
 26. Eeftens M, Meier R, Schindler C, Aguilera I, Phuleria H, Ineichen A, et al. Development of land use regression models for nitrogen dioxide, ultrafine particles, lung deposited surface area, and four other markers of particulate matter pollution in the Swiss SAPALDIA regions. Environ Health 2016; 15(1):53.
 27. Halek F, Kavousi-rahim A. GIS assessment of the PM 10, PM 2.5 and PM 1.0 concentrations in urban area of tehran in warm and cold seasons. Int Arch Photogram Remote Sens Spatial Inform Sci 2014; 40(2):141.
 28. Tunno BJ, Michanowicz DR, Shmool JL, Kinnee E, Cambal L, Tripathy S, et al. Spatial variation in inversion-focused vs 24-h integrated samples of PM 2.5 and black carbon across Pittsburgh, PA. J Exp Sci Environ Epidemiol 2016; 26(4):365.
 29. Hankey S, Marshall JD. Land use regression models of on-road particulate air pollution (particle number, black carbon, PM2.5 particle size) using mobile monitoring. Environ Sci Technol 2015; 49(15):9194-202.
 30. Marquez LO, Smith NC. A framework for linking urban form and air quality. Environ Model Software 1999; 14(6):541-8.
 31. Clougherty JE, Houseman EA, Levy JI. Examining intra-urban variation in fine particle mass constituents using GIS and constrained factor analysis. Atmos Environ 2009; 43(34):5545-55.
 32. Abbaspour M, Javid AH, Saeidi S. The impact of urban parks on PM10 suspended particles, through using GIS software. J Environ Sci Technol 2014; 16(1):1-12.
 33. von Schneidemesser E, Stone EA, Quraishi TA, Shafer MM, Schauer JJ. Toxic metals in the atmosphere in Lahore, Pakistan. Sci Total Environ 2010; 408(7):1640-8.

34. Hueglin C, Gehrig R, Baltensperger U, Gysel M, Monn C, Vonmont H. Chemical characterisation of $PM_{2.5}$, PM_{10} and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmos Environ* 2005; 39(4):637-51.
35. Braniš M, Řezáčová P, Domasová M. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM_{10} , $PM_{2.5}$, and PM_1 in a classroom. *Environ Res* 2005; 99(2):143-9.
36. Donaldson K, Stone V, Borm PJ, Jimenez LA, Gilmour PS, Schins RP, et al. Oxidative stress and calcium signaling in the adverse effects of environmental particles (PM_{10}). *Free Radic Biol Med* 2003; 34(11):1369-82.
37. Oberdörster G, Utell MJ. Ultrafine particles in the urban air: to the respiratory tract--and beyond? *Environ Health Perspect* 2002; 110(8):A440-1.
38. Schwartz J, Laden F, Zanobetti A. The concentration-response relation between $PM_{2.5}$ and daily deaths. *Environ Health Perspect* 2002; 110(10):1025-9.
39. Guaita R, Pichiule M, Maté T, Linares C, Díaz J. Short-term impact of particulate matter ($PM_{2.5}$) on respiratory mortality in Madrid. *Int J Environ Health Res* 2011; 21(4):260-74.
40. Meister K, Johansson C, Forsberg B. Estimated short-term effects of coarse particles on daily mortality in Stockholm, Sweden. *Environ Health Perspect* 2011; 120(3):431-6.
41. Strukova E, Golub A, Markandya A. Air pollution costs in Ukraine. Milan, Italy: Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM); 2006.
42. Correia AW, Pope III CA, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. The effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 US counties for the period 2000 to 2007. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* 2013; 24(1):23.
43. Maantay J. Asthma and air pollution in the Bronx: Methodological and data considerations in using GIS for environmental justice and health research. *Health Place* 2007; 13(1):32-56.