Original article

Variations of Carbon Monoxide and Particulate Matter Concentration in Mashhad, Iran, during 2016

Fatemeh Joulaei[1]
Roya Peirovi[2]
Habibollah Esmaily[3]
Damon Ketabi[4]
Asiyeh Moteallemi[5*]

1- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran
2- Faculty Member, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran
3- Associate Professor, Department of Statistics and Epidemiology, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
4- Faculty Member, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
5- Faculty Member, Department of Environmental Health Engineering, School of Nursing, Torbate-Jam Faculty of Medical Sciences, Torbate-Jam, Iran

***Corresponding author:** Asiyeh Moteallemi, Department of Environmental Health Engineering, School of Nursing, Torbate-Jam Faculty of Medical Sciences, Torbate-Jam, Iran

Email: rahil_0m0@yahoo.com

Received: 27 September 2017
Accepted: 21 December 2017

ABSTRACT

Introduction and purpose: Carbon monoxide (CO) and particulate matter ($PM_{2.5}$) are among the most important environmental pollutants arising from different sources, such as vehicle exhaust, industrial process, and secondary pollutants. These pollutants lead to increased pulmonary vascular diseases and decreased vision. Moreover, they damage the plants, animals, and objects. The aim of this study was to investigate the concentration trend of these pollutants in Mashhad, Iran, during 2016.

Methods: In this study, the data of the Air Quality Control Company were used to assess the concentration of CO and $PM_{2.5}$. In addition, the meteorological data, such as wind velocity and temperature, were extracted.

Results: According to the monthly average CO concentration, CO had the highest and lowest concentration levels in December and May, respectively. Furthermore, regarding $PM_{2.5}$, the maximum and minimum concentration values were observed in May and January, respectively. In 58.3% of the cases, the $PM_{2.5}$ concentration was higher than the standard values. The results of the statistical test revealed that the concentration of CO and $PM_{2.5}$ had a significant relationship with temperature and relative humidity. However, no significant relationship was observed between wind velocity and concentration of the pollutants.

Conclusion: The results of the study showed that the summer and fall had the highest level of pollution. Furthermore, the pollutant concentration was higher than the standard values in most of the cases. Given that high concentration of pollutants affects the public health, the awareness of air quality at different periods and variations of air pollutant concentration can have an important role in urban health management.

Keywords: Air health, Air pollution, Carbon monoxide, Particulate matter

▶ **Citation:** Joulaei F, Peirovi R, Esmaily H, Ketabi D, Moteallemi A. Variations of Carbon Monoxide and Particulate Matter Concentration in Mashhad, Iran, during 2016. Journal of Health Research in Community. Autumn 2017;3(3): 34-45.

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات غلظت منوکسید کربن و $PM_{2.5}$ در شهر مشهد در سال ۱۳۹۵

فاطمه جولایی[۱]
رویا پیروی[۲]
حبیب‌الله اسماعیلی[۳]
دامون کتابی[۴]
آسیه متعلمی[۵*]

۱. کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران
۲. مربی هیات علمی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران
۳. دانشیار، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
۴. مربی هیات علمی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
۵. مربی هیات علمی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی تربت جام، تربت جام، ایران

* نویسنده مسئول: آسیه متعلمی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پرستاری، دانشگاه علوم پزشکی تربت جام، تربت جام، ایران

Email: rahil_0m0@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۳۰

چکیده

مقدمه و هدف: منوکسید کربن و ذرات معلق (PM: Particulate Matter) از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشند که از منابع مختلفی مانند اگزوز خودرو، فرایندهای صنعتی و یا تبدیل ثانویه آلاینده‌های گازی تولید می‌شوند و موجب افزایش بیماری‌های قلبی- تنفسی، کاهش دید و خسارت به گیاهان، حیوانات و اشیا می‌گردند. در این راستا هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات این دو آلاینده در سال ۱۳۹۵ در شهر مشهد می‌باشد.

روش کار: در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییرات آلاینده‌های منوکسید کربن و ذرات معلق ۲/۵ میکرون از داده‌های پایش آلودگی هوای شرکت کنترل کیفیت هوا استفاده شد. داده‌های هواشناسی نظیر سرعت باد و درجه حرارت نیز استخراج گردید.

یافته‌ها: نتایج میانگین ماهانه منوکسید کربن نشان می‌دهد که بیشترین مقدار مربوط به دی ماه و کمترین میزان آن مربوط به خرداد ماه بوده است. روند تغییرات میانگین ماهانه ذرات معلق نیز بیانگر آن است که کمترین مقدار از آن خرداد ماه و بیشترین مقدار مربوط به بهمن ماه بوده است و در ۵۸/۳ درصد از موارد نیز غلظت ذرات معلق بالاتر از مقادیر استاندارد می‌باشد. همچنین نتایج آزمون‌های آماری نشان می‌دهد که بین غلظت این دو آلاینده و درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا ارتباط معناداری وجود دارد؛ اما ارتباط بین سرعت باد و غلظت آلاینده‌ها معنادار نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که دو فصل پاییز و زمستان بیشترین میزان آلودگی را داشته‌اند و در بیشتر موارد غلظت‌ها بالاتر از مقادیر استاندارد بوده است. با توجه به اینکه مقادیر بالای آلاینده‌ها می‌تواند بر سلامت مردم تأثیر بگذارد، آگاهی از کیفیت هوا در دوره‌های زمانی مختلف و روند تغییرات آلاینده‌های هوا می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت سلامت شهری داشته باشد.

کلمات کلیدی: آلودگی هوا، بهداشت هوا، ذرات معلق، منوکسید کربن

◄ **استناد:** جولایی، فاطمه؛ پیروی، رویا؛ اسماعیلی، حبیب‌الله؛ کتابی، دامون؛ متعلمی، آسیه. بررسی تغییرات غلظت منوکسید کربن و $PM_{2.5}$ در شهر مشهد در سال ۱۳۹۵. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، پاییز ۱۳۹۶؛۳(۳): ۴۵-۳۴.

مقدمه

براساس بررسی‌های سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization) آلودگی هوا به‌عنوان یکی از ۱۰ عامل مهم افزایش مرگ و میر در دنیا مطرح می‌باشد؛ به‌طوری که میزان مرگ و میر ناشی از آن سالانه حدود ۷ میلیون نفر گزارش

شده است [۱،۲]. امروزه زندگی بیش از یک میلیارد نفر از مردم دنیا به دلیل آلودگی هوای شهری در معرض تهدید می‌باشد [۳]. آلاینده‌های موجود در هوا آثار زیان‌بار متعددی بر سلامت انسان دارند؛ به‌گونه‌ای که این عوارض سال‌ها افراد را درگیر خود می‌سازند [۴]. در این راستا اختلالات تنفسی، حملات حاد قلبی، کم‌خونی، مرگ و میر ناشی از سکته‌های قلبی و مغزی، جهش‌های ژنی، سقط جنین، عقب‌ماندگی ذهنی کودکان، انقراض گونه‌های گیاهی و جانوری و صدمات اقتصادی و فرهنگی به‌عنوان مهم‌ترین آثار ناخوشایند آلودگی هوا توسط پژوهشگران متعددی مورد تأیید قرار گرفته است [۵]. از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های هوای شهرها می‌توان به ذرات معلق، مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و ازن اشاره نمود [۶]. مونوکسیدکربن و ذرات معلق از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی هستند که با انتشار از منابع مختلفی مانند اگزوز خودرو، فرایندهای صنعتی و یا تبدیل ثانویه آلاینده‌های گازی موجب افزایش بیماری‌های قلبی- تنفسی، کاهش دید و خسارت به گیاهان، حیوانات و اشیا می‌شوند [۷]. در مناطق شهری غلظت گاز مونوکسید کربن تحت تأثیر میزان ترافیک بوده و متناسب با شرایط آب و هوایی مختلف، متغیر می‌باشد. اغلب مطالعات صورت‌گرفته در زمینه بررسی شاخص‌های کیفیت هوا، این گاز سمی را به‌عنوان آلاینده مسئول در کاهش کیفیت هوا در روزهای غیربهداشتی معرفی نموده‌اند [۸]. مونوکسیدکربن به دلیل قابلیت انحلال در آب به‌راحتی وارد دستگاه تنفس شده و در نهایت وارد جریان خون می‌گردد. همچنین از آنجایی که میل ترکیبی هموگلوبین خون با مونوکسید کربن ۲۱۰ مرتبه بیشتر از اکسیژن می‌باشد، این گاز باعث اختلال در خون‌رسانی به اعضا و اندام‌های مختلف بدن می‌گردد [۹]. نتایج مطالعات حاکی از آن است که افزایش منواکسید کربن محیط باعث افزایش کربوکسی هموگلوبین خون جنین و کاهش وزن هنگام تولد نوزادان خواهد شد [۱۰،۱۱]. براساس برآورد سازمان جهانی بهداشت سالانه ۵ میلیون نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق موجود در هوا دچار مرگ زودرس می‌شوند [۱۲]. مطالعات اپیدمیولوژیکی بسیاری رابطه بین غلظت ذرات قابل‌استنشاق با قطر کمتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون در محیط و تغییرات مرگ و میر روزانه را به اثبات رسانده‌اند [۱۳]. در این ارتباط مطالعات مختلفی در شهرهای بزرگ دنیا و همچنین ایران به منظور اندازه‌گیری و سنجش آلاینده‌های هوا صورت گرفته است. نتایج پژوهشی با هدف بررسی میانگین مقادیر ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در هوای شهر مشهد حاکی از آن است که بالاترین میزان آلودگی مربوط به فصول مهر و زمستان می‌باشد؛ به‌طوری که در برخی از موارد میزان $PM_{2.5}$ بیشتر از مقادیر استاندارد به ثبت رسیده است [۱۴]. در پژوهش کتابی و همکاران نیز از مجموع ۳۶۵ روز در سال ۱۳۹۴، ۱۲/۸ درصد هوای پاک، ۷۴ درصد هوای سالم و ۱۲/۶ درصد هوای ناسالم برای گروه‌های حساس گزارش شد. نتایج بیانگر آن بود که آلاینده اصلی در سال ۱۳۹۴، $PM_{2.5}$ بوده است [۱۵]. در پژوهش دیگری که توسط میرحسینی و همکاران با عنوان "بررسی میانگین مقادیر PM_{10} و $PM_{2.5}$ موجود در هوای شهر خرم‌آباد" صورت گرفت مشخص شد که غلظت ذرات معلق در مناطق پرتراکم بالاتر است؛ اما مقادیر آن کمتر از حد استاندارد می‌باشد [۱۶]. علاوه‌براین نتایج پژوهش Pascal و همکاران با عنوان "اثرات کوتاه‌مدت ذرات معلق بر میزان مرگ و میر افراد در ۹ شهر فرانسه" حاکی از آن بود که بین میزان مرگ و میر و غلظت ذرات معلق هوا ارتباط مستقیمی وجود دارد و غلظت این ذرات با گرم‌شدن هوا به تدریج افزایش یافته است [۱۷]. محمدی و همکاران نیز در پژوهش خود به بررسی اثرات بهداشتی تماس با ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در هوای شهر اهواز پرداختند و عنوان نمودند که تعداد کل مرگ و موارد مرگ قلبی- عروقی با توجه به حضور ذرات PM_{10} افزایش یافته است و در تمام موارد مقادیر غلظت‌ها بالاتر از حد

استاندارد می‌باشد [۱۸]. از سوی دیگر نتایج پژوهشی با هدف بررسی میزان تأثیر پارامترهای محیطی بر غلظت ذرات معلق و باکتری‌های موجود در هوای شهر اهواز بیانگر آن بود که غلظت ذرات معلق و باکتری‌ها با سردی هوا و افزایش جمعیت رابطه مستقیمی دارد [۱۹]. مشهد با جمعیتی بیش از سه میلیون نفر به دلیل موقعیت مذهبی، صنعتی و اقتصادی به‌عنوان دومین کلان‌شهر ایران مطرح می‌باشد. این شهر به واسطه وجود حرم مطهر حضرت امام رضا (ع) سالانه پذیرای تعداد زیادی زائر از داخل و خارج از کشور است. بر این اساس بار ترافیک بالا منجر به تولید آلودگی هوا در این شهر می‌شود. در این راستا پایش مداوم کیفیت هوا جهت تعیین غلظت آلاینده‌ها و کنترل منابع انتشار آن‌ها یکی از راه‌کارهای قابل‌قبول برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری خواهد بود. در این ارتباط پژوهش حاضر به منظور بررسی غلظت آلاینده‌های مختلف هوا نظیر مونوکسید کربن و ذرات معلق و نیز ارائه راه‌کار برای کنترل آن انجام شده است.

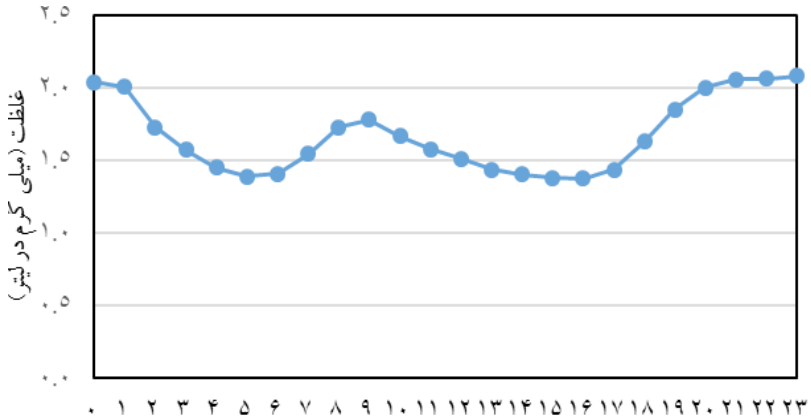
روش کار

پژوهش حاضر از نوع مطالعات توصیفی- تحلیلی می‌باشد.

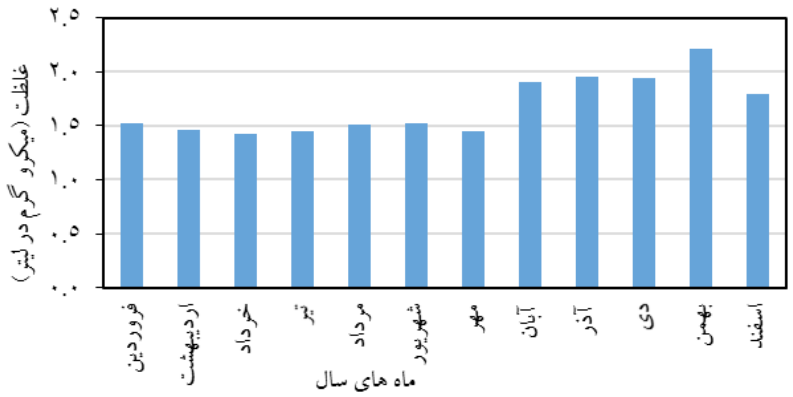
در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییرات آلاینده‌های منوکسید کربن و ذرات معلق ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در شهر مشهد در سال ۱۳۹۵ از داده‌های ثبت‌شده در ۱۷ ایستگاه اندازه‌گیری متعلق به مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد استفاده شد. داده‌های هواشناسی نظیر سرعت باد و درجه حرارت نیز استخراج گردید. در نهایت به منظور تعیین ارتباط و همبستگی بین داده‌های هواشناسی با غلظت دو آلاینده منوکسید کربن و ذرات معلق از آزمون همبستگی و ضریب Pearson استفاده شد و تمام داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 و Excel تجزیه و تحلیل گردیدند.

یافته‌ها

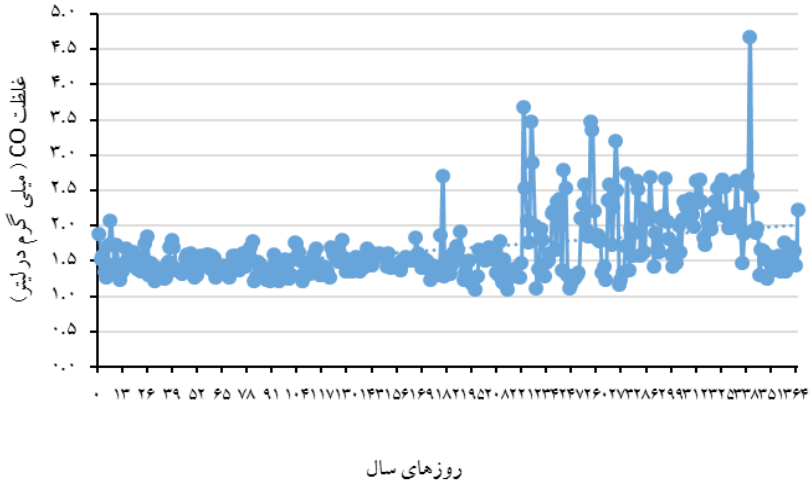
نتایج حاصل از غلظت‌های میانگین ماهانه، روزانه و ساعتی آلاینده‌های منواکسید کربن و ذرات معلق طی ۱۲ ماه سال ۱۳۹۵ در نمودارهای ۱ تا ۶ ارائه شده است. در جدول ۱ نتایج داده‌های هواشناسی مانند سرعت باد، درجه حرارت و رطوبت نسبی در ۱۲ ماه سال ۱۳۹۵ مشاهده می‌شود. در جداول ۲ و ۳ نیز نتایج آزمون‌های آماری همبستگی بین غلظت آلاینده‌ها و داده‌های هواشناسی نشان داده شده است.



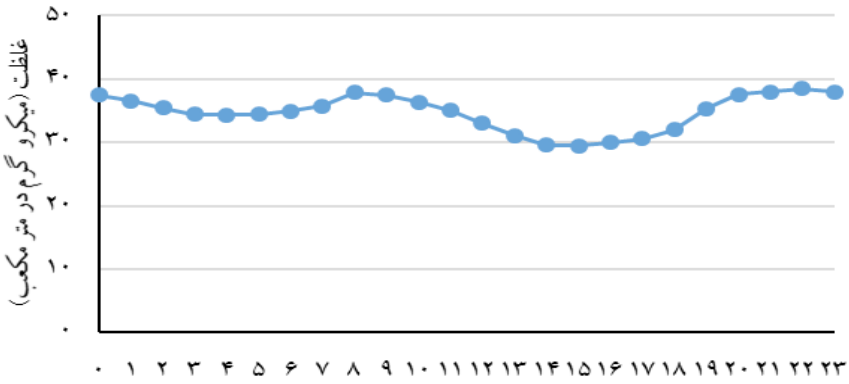
نمودار ۱: تغییرات میانگین ساعتی غلظت منوکسید کربن در مشهد در سال ۱۳۹۵



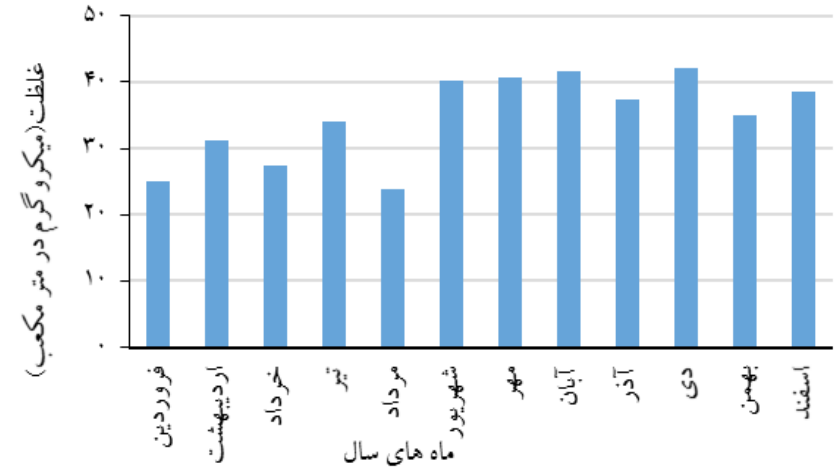
نمودار ۲: تغییرات میانگین ماهانه غلظت منوکسید کربن در مشهد در سال ۱۳۹۵



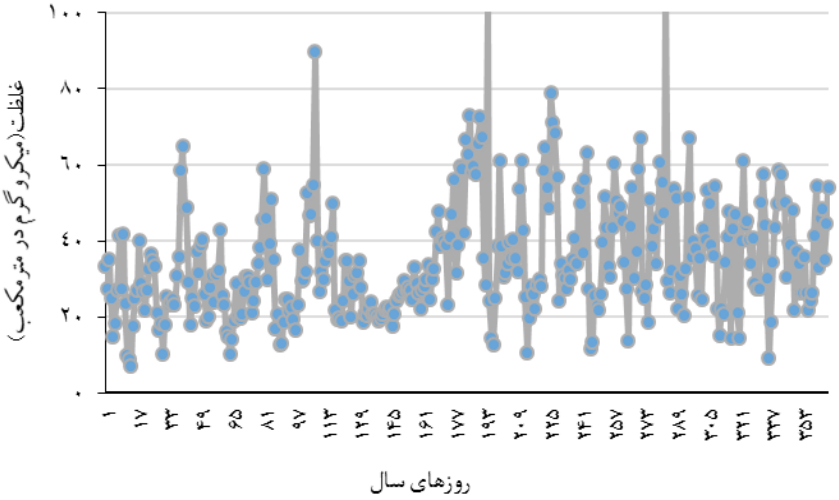
نمودار ۳: تغییرات میانگین روزانه غلظت منوکسید کربن در مشهد در سال ۱۳۹۵



نمودار ۴: تغییرات میانگین ساعتی غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در مشهد در سال ۱۳۹۵



نمودار ۵: تغییرات میانگین ماهانه غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در مشهد در سال ۱۳۹۵



نمودار ۶: تغییرات میانگین روزانه غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در مشهد در سال ۱۳۹۵

مطابق با نمودار ۱ بیشترین و کمترین تغییرات میانگین ساعتی غلظت منوکسید کربن در سال ۱۳۹۵ به ترتیب مربوط به ساعت ۲۳ (۲/۹ میلی‌گرم در لیتر) و ۱۶ (۱/۳۸ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد.

نمودار میانگین تغییرات ماهانه غلظت منوکسید کربن نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین غلظت‌ها به ترتیب مربوط به بهمن ماه با ۲/۲۱ میکروگرم در متر مکعب و خرداد ماه با ۱/۴۳ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد.

مطابق با نمودار ۳ بالاترین مقادیر میانگین روزانه غلظت منوکسید کربن مربوط به فصل پاییز و زمستان است.

بر مبنای نمودار ۴ بیشترین مقدار میانگین ساعتی ذرات معلق در سال ۱۳۹۵ در ساعت ۲۲ شب و کمترین آن در ساعت ۱۵ بعد از ظهر قابل‌مشاهده است.

جدول ۱: میانگین داده‌های هواشناسی در مشهد در سال ۱۳۹۵

ماه	دما (سلسیوس)	رطوبت هوا (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)
فروردین	۱۳/۶	۶۴	۷/۹
اردیبهشت	۲۱/۲	۵۵	۷
خرداد	۲۷/۶	۲۷/۶	۷/۶
تیر	۲۸/۱	۲۸	۸
مرداد	۲۷	۲۶/۳	۸/۱
شهریور	۲۵	۲۸/۵	۷/۲
مهر	۱۷/۶	۴۱/۶	۵/۴
آبان	۱۲	۴۶/۷	۴/۹
آذر	۴/۶	۵۵/۵	۴/۷
دی	۴/۹	۶۱/۸	۴/۸
بهمن	۲/۱	۸۰/۶	۱۳/۴
اسفند	۴/۷	۶۱/۷	۵/۶

جدول ۲: نتایج آماری همبستگی به‌همراه ضرایب Pearson بین غلظت منوکسید کربن و داده‌های هواشناسی

پارامتر	سرعت باد	دما	رطوبت هوا	غلظت منوکسید کربن
سرعت باد	۱	۰/۴۹۰**	-۰/۴۳۷	۰/۲۲۳
دما	۰/۴۹۰**	۱	-۰/۹۹۳	-۰/۴۷۴
رطوبت هوا	-۰/۴۳۷	-۰/۹۹۳	۱	۰/۴۷۸**
غلظت منوکسید کربن	-۰/۲۲۳	-۰/۴۷۴	۰/۴۷۸**	۱
سطح معناداری				
سرعت باد	-	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
دما	۰/۰۰۰۱	-	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
رطوبت هوا	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-	۰/۰۰۰۱
غلظت منوکسید کربن	۰/۰۶۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-

نمودار تغییرات میانگین ماهانه ذرات معلق نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین غلظت‌ها به ترتیب در بهمن و مرداد با ۴۴ و ۲۴ میکروگرم در متر مکعب به ثبت رسیده است.

مطابق با نمودار ۶ بیشترین میزان غلظت ذرات معلق

جدول ۳: نتایج آماری همبستگی به‌همراه ضرایب Pearson بین غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) و داده‌های هواشناسی

پارامتر	سرعت باد	دما	رطوبت هوا	غلظت $PM_{2.5}$
سرعت باد	۱	۰/۲۹۹**	-۰/۴۲۱**	۰/۱۳۳
دما	۰/۲۹۹**	۱	-۰/۸۹۴**	-۰/۳۹۸**
رطوبت هوا	-۰/۴۲۱**	-۰/۸۹۴**	۱	۰/۴۸۲**
غلظت $PM_{2.5}$	-۰/۱۳۳	-۰/۳۹۸**	۰/۴۸۲**	۱
سطح معناداری				
سرعت باد	-	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
دما	۰/۰۰۰۱	-	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
رطوبت هوا	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-	۰/۰۰۰۱
غلظت $PM_{2.5}$	۰/۰۷۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-

در روزهای آخر سال ۱۳۹۵ و در فصل‌های پاییز و زمستان قابل‌مشاهده می‌باشد.

در آزمون تعیین نرمال‌بودن داده‌ها هرچه میزان معناداری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد به معنای نرمال‌بودن داده‌ها است که آخرین ستون جدول تأییدکننده این مطلب می‌باشد. همان‌طور که جداول ۲ و ۳ بیان می‌کنند هرچه مقدار P که نشان‌دهنده تفاوت معنادار از نظر آماری است کمتر از ۰/۰۵ باشد، بدین‌معنا است که تیمار مورد آزمون بر شاخص مورد نظر تأثیر دارد. در این راستا داده‌های درون جدول ضرایب همبستگی بین تیمارها است که باید علامت (*) مبنی بر معناداربودن اثر تیمار بالای هرکدام از آن‌ها قرار بگیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

مطابق با نمودار ۱ که تغییرات ساعتی منوکسید کربن طی روز را نشان می‌دهد، کمترین مقدار غلظت این آلاینده در ساعت ۵ صبح (۱/۳۹ میلی‌گرم در لیتر) است و تا حدود ساعت ۹ صبح شروع به افزایش می‌کند. این مقدار تا ساعت ۱۶ عصر کاهش یافته و از این ساعت به بعد روند افزایشی پیدا می‌کند و در ساعت ۲۳ شب با ۲/۹ میلی‌گرم در لیتر به اوج خود می‌رسد. لازم به ذکر است که رفت و آمد وسایل نقلیه در اوایل صبح و عصر در افزایش مقدار آلاینده منوکسید کربن در ساعات فوق تأثیر دارد.

مقایسه مقادیر غلظت این آلاینده در فصل‌های مختلف نشان داد که بیشترین غلظت از آن فصل زمستان با ۱/۹۸ میلی‌گرم در لیتر بوده و پس از آن به ترتیب مربوط به فصل‌های پاییز، تابستان و بهار به ترتیب با ۱/۷۷، ۱/۴۹ و ۱/۴۷ میلی گرم در لیتر می‌باشد (نمودار ۲). دلیل افزایش غلظت این آلاینده در ماه‌های زمستان نسبت به دیگر ماه‌ها می‌تواند ناشی از افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین عدم کارکرد صحیح موتور وسایل نقلیه در اثر سردی هوا باشد. علاوه‌براین احتمال وجود جریانات پایدار و پدیده وارونگی هوا در فصل زمستان و به‌ویژه شب‌ها را می‌توان به‌عنوان علت دیگری برای افزایش غلظت منوکسید کربن در این فصل در نظر گرفت [۲۰]. از سوی دیگر مطابق با جدول ۲ که نشان‌دهنده ضریب همبستگی و معناداری بین غلظت منوکسید

کربن و داده‌های هواشناسی می‌باشد، بین مقدار غلظت این آلاینده و هر دو فاکتور رطوبت هوا و دما ارتباط معناداری از نظر آماری و نیز همبستگی وجود دارد (P<۰/۰۵)؛ اما بین سرعت باد و غلظت آلاینده ارتباطی مشاهده نمی‌شود (P<۰/۰۵).

در این ارتباط دهقان‌زاده و همکاران در پژوهشی با عنوان "بررسی غلظت منوکسید کربن در هوای آزاد شهری و داخل ساختمان‌های مسکونی در شهر تبریز" به این نتیجه رسیدند که غلظت منوکسید کربن در تمام ایستگاه‌ها در فصل زمستان بیشتر از تابستان بوده است و بیشترین مقدار آن در فصل زمستان و تابستان به ترتیب ۱۱ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار آن ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۲۱]. همچنین در پژوهش Jo و Lee مشخص شد که غلظت منوکسید کربن در فصل زمستان بیشتر از تابستان است [۲۲]. نتایج پژوهشی در تایوان نیز حاکی از آن بود که بیشترین مقدار غلظت منوکسید کربن در خیابان‌های اصلی شهر ۲/۹ و در بزرگراه‌ها ۲/۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد [۵]. از سوی دیگر Yiwen Deng و همکاران غلظت منوکسید کربن را در شهر شانگهای چین اندازه‌گیری نمودند و گزارش کردند که بالاترین مقدار این آلاینده مربوط به ماه آگوست با ۸۶ میلی‌گرم در لیتر بوده و کمترین مقدار مربوط به ماه اکتبر با ۴۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد [۲۳].

مطابق با نمودار ۴ بیشترین غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$) در ساعت ۲۲ شب و کمترین آن در ساعت ۱۴ بعد از ظهر مشاهده می‌شود. نمودار تغییرات ماهانه ذرات معلق بیانگر آن است که بالاترین غلظت این آلاینده مربوط به بهمن ماه در فصل زمستان بوده و کمترین غلظت مربوط به فروردین ماه در فصل بهار می‌باشد (نمودار ۵). همچنین مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق در فصول مختلف نشان می‌دهد که فصل‌های پاییز و زمستان بیشترین میزان گرد و غبار را به خود اختصاص داده‌اند. دلیل افزایش غلظت ذرات معلق در فصل زمستان نسبت به دیگر فصول می‌تواند به شرایط هواشناسی از قبیل پایداری هوا و وارونگی دما مربوط باشد. علاوه‌براین با توجه به نمودار ۵ بهمن ماه به‌عنوان آلوده‌ترین ماه سال شناخته شد. عدم توجه کافی به وضعیت ترافیک شهری، گسترش شهر و رشد صنایع می‌تواند از دلایل افزایش غلظت ذرات معلق باشد.

بر مبنای نتایج مشخص شد که حداکثر غلظت ماهانه ذرات معلق در ماه‌های تیر، شهریور، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند بیشتر از مقدار استاندارد آن (۳۵ میکروگرم بر متر مکعب) می‌باشد. از سوی دیگر میانگین غلظت ذرات معلق در فصل بهار در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد کمتر از مقادیر استاندارد بود که بالابودن رطوبت نسبی و ریزش‌های جوی در این فصل می‌تواند در کاهش غلظت این آلاینده تأثیر داشته باشد. در پژوهشی که توسط ندافی و همکاران با عنوان "بررسی کل ذرات معلق و ترکیب مواد تشکیل‌دهنده آن در منطقه مرکزی شهر یزد" در سال ۱۳۸۷ صورت گرفت، میانگین غلظت ذرات معلق در فصل بهار کمتر از حد استاندارد گزارش شد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۲۴]. همچنین در پژوهشی که زلقی و همکاران در سال ۱۳۹۲ انجام دادند مشخص شد که ماه‌های تیر و اسفند بیشترین میزان PM_{10} را در بین ماه‌های سال داشته‌اند و غلظت آلاینده در این ماه‌ها بیشتر از مقدار استاندارد مجاز گزارش شد [۲۵]. علاوه‌براین بررسی میانگین مقادیر ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$) در هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ حاکی از آن بود که بالاترین میزان آلودگی مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان بوده است؛ به‌طوری که در برخی از موارد میزان $PM_{2.5}$ بیشتر از مقادیر استاندارد گزارش شد که کاملاً با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۱۴]. در پژوهش دیگری که در سال ۱۳۹۴ در شهر مشهد انجام شد از مجموع ۳۶۵ روز ۱۲/۸ درصد هوای پاک، ۷۴ درصد هوای سالم و ۱۲/۶ درصد هوای ناسالم برای گروه‌های حساس گزارش گردید. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که آلاینده اصلی $PM_{2.5}$ بوده است [۱۵].

علاوه‌براین نتایج پژوهش دیگری در مشهد در سال ۱۳۸۹ حاکی از آن بود که آلاینده مسئول آلودگی هوا $PM_{2.5}$ بوده است و بیشترین غلظت آن همانند پژوهش حاضر مربوط به فصل زمستان و به‌ویژه دی و بهمن ماه بود [۲۶]. در این ارتباط بررسی غلظت $PM_{2.5}$ در دو ایستگاه در شهر شانگهای چین نشان داد که میانگین غلظت سالانه این آلاینده در دو ایستگاه معادل ۵۷/۹ و ۶۱/۴ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد و غلظت هفتگی در دو ایستگاه از ۲۱ تا ۱۴۷ میکروگرم در متر مکعب متغیر بوده است. بالاترین غلظت نیز از اواسط ماه نوامبر تا دسامبر به‌دست آمد و کمترین مقدار این آلاینده در ماه سپتامبر مشاهده گردید [۲۷]. نتایج پژوهش دیگری در شهر پکن چین حاکی از آن بود که تغییرات هفتگی $PM_{2.5}$ از ۳۷ تا ۳۵۷ میکروگرم در متر مکعب در دو ایستگاه متغیر بوده است. در این پژوهش بالاترین مقدار این آلاینده مربوط به فصل زمستان و کمترین مقدار مربوط به فصل تابستان گزارش شد [۲۸].

نتایج آزمون‌های آماری (جدول ۳) نشان داد که بین مقدار غلظت ذرات معلق و هر دو فاکتور رطوبت هوا و دما ارتباط معناداری از نظر آماری و همبستگی وجود دارد ($P<۰/۰۵$)؛ اما بین سرعت باد و غلظت آلاینده‌ها ارتباط معناداری مشاهده نشد ($P<۰/۰۵$). همچنین مقایسه غلظت‌های آلاینده‌های منوکسید کربن و ذرات معلق با میانگین درجه حرارت بیانگر آن بود که بیشترین غلظت ذرات معلق و منوکسید کربن با مقدار غلظت ۴۴ میلی‌گرم در متر مکعب و ۲/۲۱ میلی‌گرم در لیتر در درجه حرارت ۲/۱ درجه سانتی‌گراد رخ داده است (جدول ۱). در این راستا Tu و همکاران غلظت آلاینده‌های ازن، دی‌اکسید نیتروژن، منوکسید نیتروژن و منوکسید کربن را در چین اندازه‌گیری نمودند و نشان دادند که بین دما و سرعت باد با ازن همبستگی منفی و معناداری وجود دارد؛ اما بین دما و سرعت باد با سه آلاینده دیگر همبستگی مثبت و معناداری گزارش نگردید [۲۹].

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص می‌شود که دو فصل پاییز و زمستان آلوده‌ترین فصل‌ها طی سال ۱۳۹۵ بوده‌اند. همچنین بیشترین غلظت منوکسید کربن مربوط به بهمن ماه با ۲/۲۱ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن مربوط به خرداد ماه با ۱/۴۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج غلظت ذرات معلق نیز بیانگر آن است که بالاترین مقادیر مربوط به بهمن ماه با ۴۴ میکروگرم در متر مکعب بوده و کمترین مقدار از آن مرداد ماه با ۲۴ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد. در این راستا استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی و بهبود وضعیت آن‌ها، مدیریت ترافیک شهری از جمله اجرای طرح زوج و فرد و کنترل هوشمند ترافیک جهت روان‌سازی و کاهش بار ترافیک از مهم‌ترین اقدامات در جهت کاهش آلودگی هوای شهر مشهد می‌باشد.

قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و سپاسگزاری خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی، خدمات بهداشتی- درمانی و همچنین مرکز کنترل و پایش کیفیت هوای شهرداری مشهد اعلام می‌نمایند.

References

1. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. Environ Int 2015; 74:136-43.
2. Air pollution report. Mashhad: Environmental pollution monitoring center. Available at: URL: http://epmc.mashhad; 2015.
3. Khorsandi H, Amini Tapok F, Cargar H, Mousavi Moughanjogi S. Study of Urmia city air quality

according to the air quality index (AQI). Urmia Med J 2013; 23(7):767-75 (Persian).
4. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P, Law J, Pearson T, Fryers PR, et al. Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. Eur Heart J 2005; 26(23):2543-9.
5. Peled R. Air pollution exposure: Who is at high risk? Atmos Environ 2011; 45:1781-5.
6. World Health Organization. Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide: report on a WHO working group, Bonn, Germany 13-15 January 2003. Geneva: World Health Organization; 2003.
7. Riojas-Rodríguez H, Escamilla-Cejudo JA, González-Hermosillo JA, Téllez-Rojo MM, Vallejo M, Santos-Burgoa C, et al. Personal PM 2.5 and CO exposures and heart rate variability in subjects with known ischemic heart disease in Mexico City. J Expo Sci Environ Epidemiol 2006; 16(2):131-7.
8. Chaloulakou A, Mavroidis I, Duci A. Indoor and outdoor carbon monoxide concentration relationships at different microenvironments in the Athens area. Chemosphere 2003; 52(6):1007-19.
9. Jo WK, Lee JY. Indoor and outdoor levels of respirable particulates (PM 10) and carbon monoxide (CO) in high-rise apartment buildings. Atmos Environ 2006; 40(32):6067-76.
10. Beelen R, Hoek G, van Den Brandt PA, Goldbohm RA, Fischer P, Schouten LJ, et al. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study). Environ Health Perspect 2008; 116(2):196-202.
11. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Jensen SS, Ketzel M, Sørensen M, Hansen J, et al. Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. Environ Health 2012; 11(1):60.
12. Lancet T. WHO's global air-quality guidelines. New York: Elsevier; 2006.
13. Wallace L. Correlations of personal exposure to particles with outdoor air measurements: a review of recent studies. Aerosol Sci Technol 2000; 32(1):15-25.
14. Ghaneian MT, Ehrampoush MH, Alidadi H, Najafpour AA, Sadeghi A, Bonyadi Z. Analysis of PM2.5 Concentration in Mashhad City, Iran in 2013. J Torbat Heydariyeh Univ Med Sci 2014; 2(2):19-24.
15. Ketabi D, Esmaili R, Alidadi H, Peirovi R, Joulaei F. Evaluation of Mashhad city air quality based on air quality index (AQI), 2015. J Res Environ Health 2016; 2(3):228-36.
16. Mirhosseini SH, Birjandi M, Zare MR, Fatehizadeh A. Analysis of Particulate matter (PM 10 and PM 2.5) concentration in Khorramabad city. Int J Environ Health Engine 2013; 2(1):3.
17. Pascal M, Falq G, Wagner V, Chatignoux E, Corso M, Blanchard M, et al. Short-term impacts of particulate matter (PM 10, PM 10–2.5 ,PM 2.5) on mortality in nine French cities. Atmos Environ 2014; 95:175-84.
18. Geravandi S, Mohammadi M, Goudarzi G, Ahmadi Angali K, Neisi A, Zalaghi E. Health effects of exposure to particulate matter less than 10 microns (PM10) in Ahvaz. J Qazvin Univ Med Sci 2014; 18(5):28-36 (Persian).
19. Goudarzi G, Hashemi Shahraki A, Alavi N, Ahmadi Angali K, Dehghani M. Study of environmental parameters effect on particulate matters and bacterial concentration in Ahvaz city during different seasons. New Cell Mol Biotechnol J 2013; 3(11):83-90 (Persian).
20. Lawrence A, Masih A, Taneja A. Indoor/outdoor relationships of carbon monoxide and oxides of nitrogen in domestic homes with roadside, urban and rural locations in a central Indian region. Indoor Air 2005; 15(2):76-82.
21. Dehghanzadeh R, Ansarian K, Aslani H. Concentrations of carbon monoxide in indoor and outdoor air of residential buildings. J Health 2013; 3(4):29-40.
22. Jo WK, Lee JY. Indoor and outdoor levels of respirable particulates (PM 10) and carbon monoxide (CO) in high-rise apartment buildings. Atmos Environ 2006; 40(32):6067-76.
23. Deng Y, Chen C, Li Q, Hu Q, Yuan H, Li J, et al. Measurements of real-world vehicle CO and NO x fleet average emissions in urban tunnels of two cities in China. Atmos Environ 2015; 122:417-26.
24. Nadafi K, Ehrampoush MH, Jafari V, Nabizadeh NR, Younesian M. Complete evaluation of suspended air particles and their composition in the central area of Yazd city. J Shahid Sadoughi Univ Med Sci 2009; 16(4):26-32 (Persian).
25. Zolghi E, Godarzi G, Geravandi S, Mohammadi MJ, Vosoughi Niri M, Vesyi E. Estimating the prevalence of cardiovascular and respiratory diseases due to particulate air pollutants in Tabriz air. Sci J Ilam Univ

Med Sci 2014; 22(1):84-91 (Persian).
26. Allahyari S, Assadi SN, Esmaily H. Assessment of air pollution condition and compare in different areas of Mashhad in Winter 2011. J North Khorasan Univ Med Sci 2014; 6(1):7-16 (Persian).
27. Ye B, Ji X, Yang H, Yao X, Chan CK, Cadle SH, et al. Concentration and chemical composition of PM 2.5 in Shanghai for a 1-year period. Atmos Environ 2003; 37(4):499-510.
28. He K, Yang F, Ma Y, Zhang Q, Yao X, Chan CK, et al. The characteristics of PM 2.5 in Beijing, China. Atmos Environ 2001; 35(29):4959-70.
29. Tu J, Xia Z, Wang H, Li W. Temporal variations in surface ozone and its precursors and meteorological effects atan urban site in China. Atmospheric 2007; 85:310-37.