

## Study of Spatial Distribution Pattern of Carbon Monoxide in Mashhad City Using Interpolation Methods During 2017-218

### Sara GHolamhosein ghochani

\*Master of Science (MSc) in Environmental Science and Engineering, Motahhar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran. (Corresponding author):  
Email: sara.ghochani@gmail.com

### Shabnam Hoshdar Tehrani

Assistant Professor, Department of Environment, Motahhar Institute of Higher Education Mashhad, Iran.

### Reza Esmaili

Ph.D In Physical Geography Climatology, Administrativ Manager of environmental pollution monitoring center Mashhad, Municipality of Mashhad, Iran.

Received: 2018/12/02

Accepted: 2019/05/28

**Document Type:** Research article

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Carbon monoxide (CO) that is a toxic gas often has no warning signs for people who are at risk of this pollutant owing to its colorless, odorless and tasteless nature. This study focused on the spatial distribution of CO using the interpolation methods in Mashhad city.

**Material and Methods:** In this study, data were collected from 19 stations of Mashhad metropolitan area. Then the inverse weighing intervals, ordinary kriging, and universal kriging methods were used. To determine the best spatial distribution, the root mean square error was applied. Finally, the best interpolation method was selected. Monthly zoning map was prepared using geostatistical technics in Arc GIS during 2017-2018.

**Results:** The results showed that ordinary kriging was a better method rather than universal kriging and inverse weighteing methods due to the lees error. By providing monthly zoning map in 2017-2018, it was cleared that in the months of April, May and June, the middle belt of the city, where is from northwest to southeast, was more polluted than other sites. The estern part of the city was more contaminated than other parts in July, August and September. The central part of the urban area was more polluted than other sites in October, November and December months. The western and southwestern parts of the city were more polluted than other ones in December, February and March.

**Conclusion:** Among the metropolitan stations for measuring air pollution, southern part of Khayam and Sadaf had highest levels of CO and Khaghani and Elahie were lowest rate. Also, monthly zoning maps indicated that the highest pollution rate in hot season was in the eastern and in cold season was in the western part of the city. However, the amount of CO was less than standard level during 2017-2018.

**Keywords:** Air Pollution, Carbon Monoxide, Interpolation, Kriging, Geographic Information System (GIS)

► **Citation:** GHolamhosein ghochani S, Hoshdar Tehrani SH, Esmaili R. Study of spatial distribution pattern of carbon monoxide in Mashhad city using interpolation method during 2017-218. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2019;5 (1): 53-64.

## بررسی مکانی آلاینده منواکسیدکربن شهر مشهد با استفاده از روش های درون یابی در سال ۱۳۹۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** منواکسیدکربن، گازی سمی بوده و از آنجایی که بی‌زنگ، بی‌بو و بی‌مزه است، اغلب فاقد علائم هشدار برای فرد در معرض خطر می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف توزیع مکانی آلاینده منواکسیدکربن با استفاده از روش درون‌یابی در سطح شهر مشهد انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه داده‌های مربوط به ۱۹ ایستگاه سنجش آلودگی در سطح شهر مورد استفاده قرار گرفت. سپس روش‌های درون‌یابی تابع فاصله معکوس وزن‌دار، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی بررسی شدند. به منظور انتخاب مدل مناسب، از ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد. در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی برای ۱۲ ماه سال ۱۳۹۶ با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید.

**یافته‌ها:** تکنیک درون‌یابی کریجینگ معمولی به دلیل خطای کمتر، روش بهینه‌ای نسبت به کریجینگ جهانی و فاصله معکوس وزن‌دار است. با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مشخص شد که در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد، کمربند میانی شهر از شمال غربی تا جنوب شرقی دارای آلودگی بیشتری می‌باشند. در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور، مناطق شرقی شهر نسبت به سایر مناطق آلوده‌تر بودند. در ماه‌های مهر، آبان و آذر بیشترین بار آلودگی مربوط به قسمت‌های مرکزی شهر بوده و در ماه‌های دی، بهمن و اسفند، قسمت غرب و جنوب غربی شهر دارای بیشترین میزان آلودگی می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** در بین ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا، ایستگاه خیام جنوبی و صدف بالاترین و ایستگاه‌های خاقانی و الهیه کمترین مقدار آلاینده منواکسیدکربن را به خود اختصاص داده‌اند. نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه نشان داد که بیشترین بار آلودگی در ماه‌های ابتدایی سال مربوط به قسمت شرقی و در ماه‌های دوم سال در قسمت غربی شهر حاکم می‌باشد، اما با این حال مقدار آلاینده منواکسیدکربن در سال ۱۳۹۶ از حد استاندارد کمتر بوده است.

**کلید واژه‌ها:** آلودگی هوا، درون‌یابی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، کریجینگ، منواکسیدکربن

سارا غلامحسین قوچانی

\* دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران.

sara.ghoochani@gmail.Com

شبنم هوشدار تهرانی

استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مؤسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر، مشهد، ایران

رضا اسماعیلی

دکتری آب و هواشناسی، معاونت خدمات و محیط زیست شهری، مدیر اجرایی مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

◀ **استناد:** غلامحسین قوچانی س، هوشدار تهرانی ش، اسماعیلی ر. بررسی مکانی آلاینده منواکسیدکربن شهر مشهد با استفاده از روش درون‌یابی در سال ۱۳۹۶. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۸؛ ۵: ۶۴-۵۳.

از تکنیک‌های درون‌یابی است (۴).

روش‌های مختلفی برای درون‌یابی و پهنه‌بندی وجود دارد و این روش‌ها به طرق مختلفی نیز تقسیم‌بندی شده‌اند. در یک تقسیم‌بندی، روش‌های درون‌یابی به دو گروه اصلی قطعی<sup>۱</sup> و غیرقطعی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شود. روش‌های قطعی شامل: روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۳</sup> و انواع روش‌های اسپیلاین<sup>۴</sup> می‌باشند. روش‌های غیرقطعی از یک رگرسیون جهانی برای درون‌یابی استفاده می‌کنند و شامل انواع روش‌های کریجینگ<sup>۵</sup> می‌باشند. روش‌های قطعی خود به دو گروه محلی<sup>۶</sup> و جهانی<sup>۷</sup> تقسیم می‌شوند. روش‌های محلی ناحیه مورد مطالعه را به ناحیه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌کنند، در حالی که روش‌های جهانی از تمام نقاط برای درون‌یابی استفاده می‌کنند. بر اساس یک تقسیم‌بندی دیگر، روش‌های درون‌یابی به دو گروه دقیق و غیردقیق تقسیم می‌شوند. در روش‌های دقیق، مقادیر نمونه‌گیری شده بعد از درون‌یابی تغییر نمی‌کنند، در حالی که در روش‌های غیردقیق برای یک نقطه نمونه‌گیری شده، بعد از درون‌یابی مقادیر متفاوتی از مقدار اولیه را برآورد می‌کند (۵).

روش‌های درون‌یابی محلی تنها زمانی سودمند خواهند بود که مقدار خطای اندازه‌گیری به اندازه کافی کوچک باشد. از این گذشته، اگر تغییرات مکانی خیلی زیاد باشد، مدل‌های زمین آماری نتایج بهتری دارند. یکی از روش‌های زمین آمار بسیار مناسب و پیشرفته درون‌یابی جهت تحلیل فضایی و نحوه توزیع منطقه‌ای داده‌های مکانی، روش کریجینگ می‌باشد. این روش که مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی آماری می‌باشد، به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار بنام دی جی کریگ، نام‌گذاری شده است. کریجینگ، روش درون‌یابی پیشرفته‌ای است که برای

امروزه تمرکز توجه و نگرانی عمده جامعه بشری معطوف به حفاظت از محیط زیست است و رعایت معیارهای زیست محیطی با هدف تداوم زندگی بشر بر روی کره زمین، از دغدغه‌های مهم و جدی است. در دنیای کنونی آلاینده‌های موجود در محیط زیست، از مهم‌ترین مشکلات بشر به‌شمار می‌رود که در بین آنها آلودگی هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، سالانه ۷ میلیون مورد مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوا رخ می‌دهد که نسبت به سال ۲۰۱۶، ۵۰۰ هزار مرگ و میر افزایش داشته است. بر این اساس، شمار مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا، بیش از مرگ‌ومیر سالانه ناشی از ابتلاء به بیماری‌هایی مانند ایدز (۱/۱ میلیون نفر)، سل (۴/۱ میلیون نفر)، دیابت (۶/۱ میلیون نفر) و حوادث جاده‌ای (۱/۳ میلیون نفر) است (۱). از منابع عمده آلودگی هوا، فعالیت‌های صنعتی، شهری و حمل‌ونقل را می‌توان نام برد که مقدار زیادی از انواع آلاینده‌ها را وارد هوا نموده و سبب کاهش کیفیت آن می‌شوند. موادی همچون منواکسیدکربن، دی اکسید گوگرد، هیدروکربن‌های سوخته نشده و ترکیبات سربی، از موادی هستند که باعث آلودگی هوا می‌شوند و مهم‌ترین آنها منواکسیدکربن است (۲). اکثر مطالعات انجام گرفته در زمینه بررسی شاخص‌های کیفیت هوا، گاز سمی منواکسیدکربن را به عنوان آلاینده مسئول پایین بودن کیفیت هوا در روزهای غیر بهداشتی معرفی کرده‌اند (۳).

اطلاع از وضعیت پراکندگی مکانی آلودگی آلاینده‌ها در سطح شهر، این امکان را به مدیران کلانشهرها می‌دهد تا با در نظر گرفتن اقداماتی مناسب، میزان خطرات را برای مناطق و افراد ریسک‌پذیر کاهش دهند. از طرفی اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها هزینه‌بر بوده و به صورت نقطه‌ای انجام می‌گیرد، اما ضرورت ایجاد می‌کند این اطلاعات اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها برای تحلیل‌های منطقه‌ای به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شوند و توزیع آن‌ها در پهنه شهر ترسیم شود. یکی از روش‌های مؤثر و کارآمد برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات سطحی، استفاده

1. Deterministic
2. Geostatistic
3. Inverse Distance Weighted
4. Splines
5. Kriging
6. Local
7. Global

به قطر ۱۰ میکرون<sup>۳</sup> با استفاده از شاخص استاندارد آلودگی هوا<sup>۴</sup> و روش وزن‌دهی معکوس فاصله در شهر مشهد پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد در بیشترین ماه‌ها، بیشترین آلودگی هوا در اطراف ایستگاه‌های صدف، لشگر و نخریسی در مرکز شهر با داشتن ترافیک بیشتر و نیز بارش و سرعت باد کمتر و جهت باد موافق مشهود است (۱۰).

کاووسی و همکاران در مطالعه‌ای به منظور پهنه‌بندی غلظت آلاینده منواکسیدکربن و تهیه نقشه احتمال رخداد آلودگی هوا برای این آلاینده، از سه مدل اتولجستیک، اتولجستیک مرکزی شده و روش کریجینگ برای شهر تهران استفاده کردند. در این پژوهش از داده‌های غلظت منواکسیدکربن ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر تهران برای دی ماه ۱۳۹۲ استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که مناطق شمالی، شرقی و مرکزی شهر تهران از سایر نواحی شهر آلوده‌تر هستند و از بین سه روش مذکور، مدل اتولجستیک مرکزی از توان بالاتری نسبت به روش کریجینگ و مدل اتولجستیک برخوردار است (۱۱). فامیلی و همکاران، تحلیل زمین آماری آلاینده‌های هوا با هدف آسمان آبی برای کلانشهر مشهد را با استفاده از GIS و دو رویکرد کریجینگ معمولی و احتمالی در سطح شهر مشهد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تمرکز آلودگی ناشی از منواکسیدکربن و اکسیدهای ازت در ایستگاه‌های خیام و سجاد بیشترین مقدار را داشته و ذرات معلق به قطر ۱۰ میکرون و ۲/۵ میکرون در محل تقاطع‌ها بیش از حد استاندارد بوده است (۱۲).

با توجه به اهمیت بهداشتی منواکسیدکربن به جهت پایداری بالا در جو و میل ترکیبی شدیدی که با هموگلوبین خون دارد و یکی از نکات مهم در ارتباط با آلودگی هوای شهر مشهد این است که توزیع مکانی آلاینده‌های هوا نه تنها در مناطق مختلف و در طول سال، بلکه در سال‌های مختلف نیز تغییر می‌کند که نحوه و میزان این تغییرات تابعی از عوامل مختلف از جمله روند توسعه منابع تولید آلودگی و شرایط اقلیمی است (۱۳)، لذا

داده‌هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده‌ای باشند، مناسب است و با کمترین واریانس، تخمین درون‌یابی می‌کند که میزان خطای آن، تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) است (۶). استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۱</sup> به منزله اصلی‌ترین ابزار تحلیل‌های جغرافیایی، برای تشخیص قواعد حاکم بر روابط متقابل بین انسان و محیط زیست کاربرد فراوانی دارد که استفاده از نقشه‌های زمین مرجع، امکان تجزیه و تحلیل‌های مکانی را به سرعت فراهم می‌آورد؛ چراکه می‌تواند در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، کاربر را قادر سازد تا تأثیر عوامل مختلف بر غلظت آلاینده‌ها را بررسی کند (۷).

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در زمینه پهنه‌بندی و درون‌یابی آلاینده‌های هوا در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. اسماعیلی، بررسی نواحی همگن هوای شهر مشهد را با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی، روش تحلیل خوشه‌ای مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد از بین سه ناحیه شمال غرب، مرکزی و شرق شهر، ناحیه شرق دارای بیشترین بار آلودگی به لحاظ آلاینده ذرات معلق به قطر ۲/۵ میکرون<sup>۲</sup> بود (۸).

مطالعه وانگ و اوگاو که توزیع فضایی آلاینده ذرات معلق به قطر ۲/۵ میکرون را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در ایالت ناگازاکی ژاپن مورد مطالعه قرار دادند، نشان داد که غربی‌ترین بخش ناگازاکی بیشترین آلودگی را دارد. بارندگی با ذرات معلق با قطر ۲/۵ میکرون رابطه همبستگی منفی دارد و دما به آن آلاینده وابسته است. بین آلاینده مذکور و سرعت باد و رطوبت آستانه‌ای ارتباط وجود داشت. باد غرب، بیشترین آلاینده‌ها را به ناگازاکی حمل می‌کرد. نتایج این ایده را تقویت می‌کند که منبع اصلی این آلاینده در ناگازاکی از شرق آسیا است (۹).

اکبری و همکاران پهنه‌بندی ماهانه میزان آلودگی هوا و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی در شهر مشهد را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش میزان آلودگی هوا از نظر ذرات معلق

3. PM<sub>10</sub>

4. Pollutant Standard Index (PSI)

1. Geographic Information Systems

2. PM<sub>2.5</sub>

معکوس وزن دار، کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی به کار گرفته شدند.

در نهایت برای مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل، از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۶</sup> استفاده گردید. روش محاسبه شاخص RMSE به صورت رابطه ۱ در زیر می‌باشد.



رابطه ۱

همچنین برای انتخاب بهینه‌ترین شرایط برای اجرای دو مدل کریجینگ معمولی<sup>۷</sup> و کریجینگ جهانی<sup>۸</sup> در صورت برابر بودن مقدار میانگین خطا، از شاخص ریشه میانگین خطای استاندارد<sup>۹</sup> استفاده شد که فرمول آن به صورت رابطه ۲ است:



رابطه ۲

در رابطه‌های فوق  $n$  تعداد داده‌ها،  $Q_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $\hat{Q}_i$  مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و  $\sigma$  خطای استاندارد پیش‌بینی می‌باشد.

درون‌یابی داده‌ها به روش IDW: این روش بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد؛ به بیانی دیگر پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد، لذا برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آن‌هایی که در فاصله دورتری قرار دارند، داشته باشند (۶). در این روش به نقاط وزن داده می‌شود که این وزن بر اساس فاصله بین نقاط می‌باشد. این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شوند؛ به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر، وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. ویژگی برجسته این روش این است که با افزایش فاصله، وزن کاهش می‌یابد و

مطالعه حاضر با هدف تحلیل مکانی آلاینده منواکسیدکربن در سطح شهر مشهد با استفاده از روش‌های درون‌یابی فاصله معکوس وزن دار<sup>۱</sup>، کریجینگ معمولی<sup>۲</sup> و کریجینگ جهانی<sup>۳</sup> با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> در سال ۱۳۹۶ انجام شد.

## روش کار

در سطح شهر مشهد ۲۳ ایستگاه سنجش کیفیت هوا وجود دارد که از این تعداد، ۱۹ ایستگاه قابلیت سنجش منواکسیدکربن را دارا هستند. مکان استقرار ایستگاه‌ها در سطح شهر در شکل ۱ نشان داده شده است.

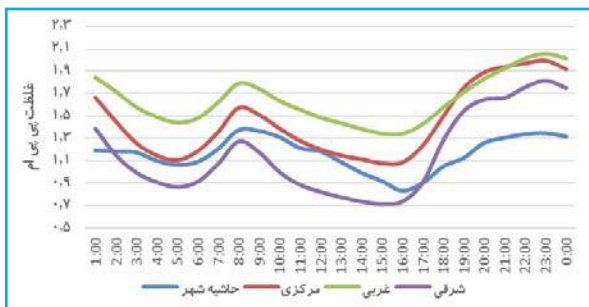


شکل ۱. موقعیت شبکه ایستگاه‌های پایش آلاینده منواکسیدکربن شهر مشهد

در این مطالعه توصیفی-تحلیلی با مراجعه به مرکز پایش آلاینده زیست محیطی شهر مشهد، داده‌های سال ۱۳۹۶ منواکسیدکربن دریافت گردید. برای تحلیل فضایی از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۵</sup>، مدل ۱۰/۳ و برای رسم نمودار و سایر آنالیز روی داده‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. جهت تحلیل مکانی آلودگی هوای شهر مشهد، سه مدل درون‌یابی شامل فاصله

1. Inverse Distance Weighted (IDW)
2. Ordinary Kriging
3. Universal Kriging
4. Geographic Information Systems
5. Geographic Information Systems

نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در هر ۴ بخش، روند تغییرات ساعتی غلظت این آلاینده از یک الگو تبعیت نموده و بیشترین مقدار غلظت‌ها در ساعات ۲۲ الی ۲۳ شب و بعد از آن در صبح در ساعات ۷ الی ۹ بوده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در ایستگاه‌های غربی، میانگین غلظت ساعتی از دیگر بخش‌ها بیشتر بوده است که به تأثیر بسزای منابع متحرک بر غلظت این آلاینده اشاره دارد. ایستگاه‌های مرکزی، حاشیه شهر و شرقی در رده بعدی قرار داشتند.



شکل ۲. روند تغییرات ساعتی آلاینده منواکسیدکربن طی سال ۱۳۹۶  
شکل ۳، میانگین غلظت ماهانه آلاینده منواکسیدکربن در سال ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، دی ماه بیشترین میانگین و تیر ماه کمترین میانگین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند و در فصول سرد سال این آلاینده رقم بالاتری نسبت به ماه‌های ابتدایی سال را نشان می‌دهد.



شکل ۳. میانگین غلظت ماهانه آلاینده منواکسیدکربن در سال ۱۳۹۶

شکل ۴، نشان‌دهنده میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسیدکربن در ایستگاه‌های مختلف می‌باشد. بالاترین میانگین سالانه غلظت به ترتیب در ایستگاه‌های صدف و خیام جنوبی مشاهده شد که عمده‌ترین دلیل آن، تراکم ترافیک در محدوده این ایستگاه‌ها بوده

بنابراین درونی‌سازی صرفاً محلی است و به همین علت وزن ثابت شده نیز هیچ وقت صفر نخواهد بود، در برآورد هیچ اختلافی وجود ندارد (۱۴). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

$$\lambda_i = (D_i - a) / \dots \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن  $\lambda_i$  وزن ایستگاه  $i$  ام،  $D_i$  فاصله ایستگاه  $i$  ام تا نقطه مجهول و  $a$  توان وزن‌دهی می‌باشد.

درون‌یابی داده‌ها به روش کریجینگ: کریجینگ، روش درون‌یابی و برآورد زمین آماری است که قادر است بر اساس مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند (۱۵). برای برآورد مقادیر بر اساس روش کریجینگ، مدل‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از مدل OK و UK استفاده شد.

مدل OK: عبارت از یک روش برآورد زمین آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد؛ به طوری که می‌توان گفت بهترین برآوردکننده خطی نااریب می‌باشد. این برآوردکننده به صورت رابطه ۴ که در زیر آورده شده، تعریف می‌شود.

$$Z(x_i) = \dots \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن  $Z(x_i)$  عیار برآوردی،  $\lambda$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $i$  ام و  $Z(x)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. مدل UK: در این روش فرض بر این است که علاوه بر مؤلفه همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر  $Z$  وجود دارد. در این صورت کریجینگ با یک چندجمله‌ای مرتبه اول یا دوم ترکیب می‌شود.

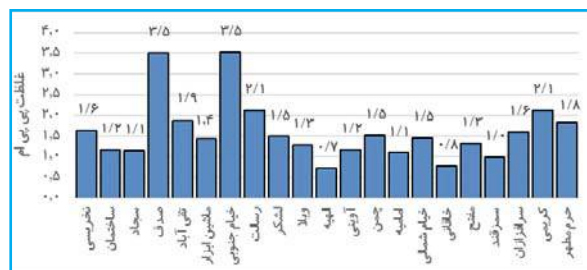
### یافته‌ها

داده‌های گردآوری شده مربوط به آلاینده منواکسیدکربن از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ بر حسب میانگین ساعتی، ماهانه و سالانه در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ آورده شده است. شکل ۲، روند تغییرات ساعتی منواکسیدکربن را



در ذیل نتایج حاصل از مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی برای انتخاب روش درون‌یابی بهینه نشان داده شده است. در این تحقیق برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> و ریشه میانگین خطای استاندارد<sup>۲</sup> استفاده شد. مقدار این شاخص‌ها برای هر روش درون‌یابی که کمتر باشد، نشان‌دهنده کمتر بودن خطا و بهتر بودن آن روش است. بررسی‌های میزان خطای مدل بررسی شده از بین سه روش درون‌یابی، IDW، OK و UK طبق جدول ۱ حاکی از آن است که بهترین الگو، روش کریجینگ مدل OK می‌باشد، زیرا برای اکثر ماه‌ها کمترین میزان خطا را داشته است.

است. کمترین مقدار غلظت منواکسیدکربن در ایستگاه‌های الهیه و خاقانی بود. شایان ذکر است که استاندارد سالانه برای این آلاینده (به دلیل کوتاه بودن زمان ماندگاری) تعریف نشده است.



شکل ۴. میانگین غلظت سالانه آلاینده منواکسیدکربن در ایستگاه‌های سطح شهر در سال ۱۳۹۶

جدول ۱. میزان خطای درون‌یابی RMSE و Standardized RMSE در سه روش درون‌یابی OK، IDW و UK

روش درون‌یابی	معیار	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
IDW	RMSE	۱/۱۰	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۸۸	۱/۶۲	۱/۰۲	۱/۲۵	۰/۷۵	۱/۱۵
OK	RMSE	۰/۹۴	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۸۱	۱/۴۵	۰/۸۹	۱/۰۹	۰/۶۹	۰/۹۷
OK	St.d RMSE	*	*	*	۰/۹۰	*	۱/۰۱	۱/۰۵	۱/۲۱	۰/۸۴	*	*	۰/۹۰
UK	RMSE	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۱	۱/۴۵	۰/۸۹	۱/۱۱	۰/۶۷	۰/۹۷
UK	St.d RMSE	*	*	*	۰/۹۵	*	۱/۲۹	۱/۲۶	۲/۲۱	۱/۱۲	*	*	۱/۲۱

همانطور که در نقشه‌های a و b مشخص است، بیشترین بار آلودگی در ماه فروردین و اردیبهشت مربوط به نواحی شمال غربی تا جنوب شرقی کلانشهر مشهد می‌باشد که هسته این آلودگی در ایستگاه‌های خیام و سجاد با مقدار غلظت ۲/۶-۲/۱ پی پی بی<sup>۳</sup> واقع شده است. آنچه از نتایج پهنه‌بندی نقشه C (ماه خرداد) و نقشه d (ماه تیر) به دست می‌آید، این است که در ماه خرداد و تیر، نواحی حاشیه شهر در قسمت‌های شرق، دارای بیشترین بار آلودگی می‌باشد که در ماه تیر، ایستگاه مفتوح با مقدار غلظت ۳/۲-۱/۷ پی پی بی بالاترین میزان آلودگی را دارا بود. در ماه مرداد (نقشه e) برخلاف ماه تیر، هسته آلاینده منواکسیدکربن در قسمت غرب و شمال غرب می‌باشد، اما کماکان به صورت

نتایج این تحقیق منجر به تهیه ۱۲ نقشه پراکنش منواکسیدکربن برای سطح شهر مشهد با کمترین میزان خطای ممکن گردید. در حقیقت در این تحقیق از قابلیت‌های GIS جهت تعیین و ترسیم توزیع مکانی آلاینده منواکسیدکربن استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده، توزیع مکانی منواکسیدکربن طی ماه‌های مختلف سال الگوی متفاوتی دارد. در برخی نقشه‌ها نوار هسته مرکزی شهر، بیشترین بار آلودگی هوا را دارا بود، اما غالب ماه‌های دیگر هسته‌های تراکم منواکسیدکربن به صورت مجزا بعضاً در مرکز، غرب، شرق و یا حتی نیمه‌جنوبی شهر مشهد مشاهده می‌شود. از بین سه روش درون‌یابی IDW، OK و UK، نقشه پهنه‌بندی هر ماه با روشی که کمترین میزان خطا و بالاترین دقت را داشته (طبق جدول ۱)، در شکل ۵ آورده شده و از آوردن بقیه نقشه‌ها به دلیل تعدد زیاد آن صرف نظر گردیده است.

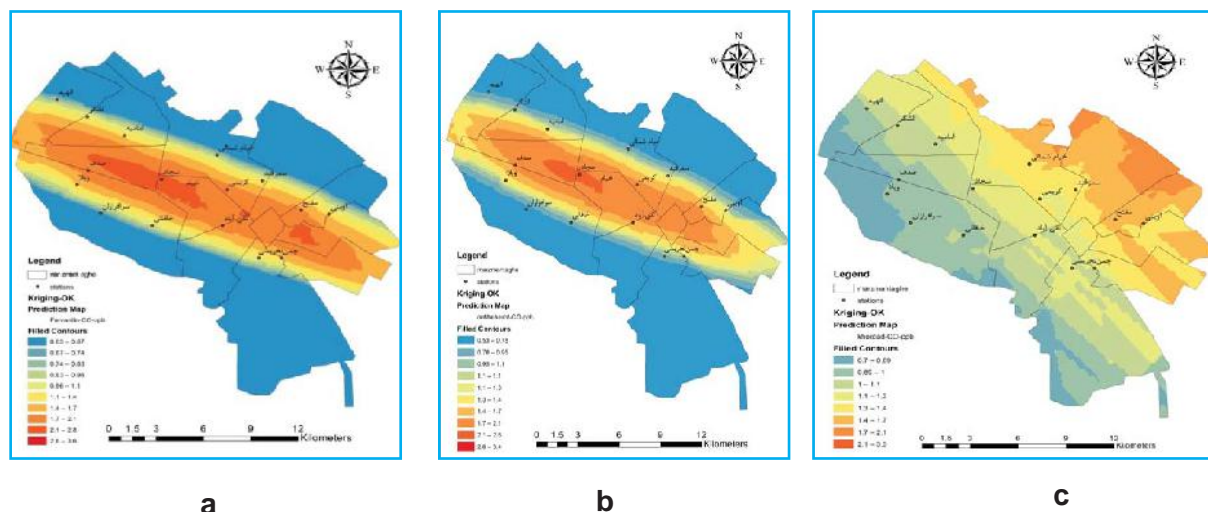
1. Root Mean Squared Error (RMSE)  
 2. Standardized RMSE  
 3. Part Per Billion (ppb)

وجود دارد و همچنین در ماه آذر، نوار شمالی و شرقی نیز با میزان غلظت  $0/96-1/1$  پی پی بی در معرض آلودگی است. در ماه دی (نقشه k)، بیشترین میزان آلودگی آلاینده منواکسیدکربن، مربوط به قسمت‌های غرب و جنوب غربی می‌باشد؛ به طوری که ایستگاه‌های سرفرازان و خاقانی با محدوده غلظتی  $3/1-4$  پی پی بی دارای بیشترین بار آلودگی است و ایستگاه‌های سمزقند و خیام شمالی که در قسمت شمال شرق واقع شده‌اند، با محدوده غلظت  $1-1/3$  پی پی بی دارای کمترین مقدار آلودگی می‌باشند.

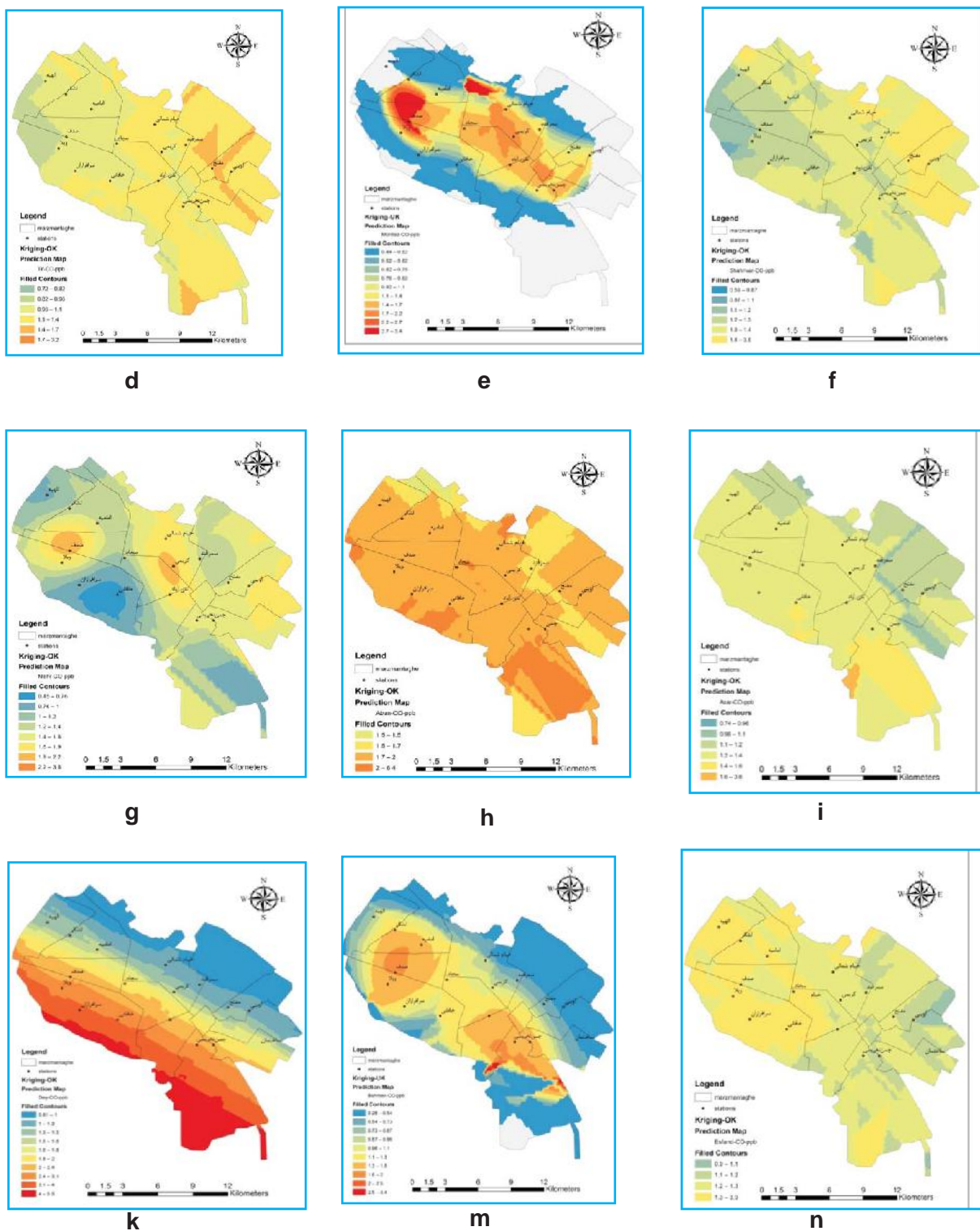
آنچه از بررسی نقشه مربوط به نحوه پراکندگی غلظت آلاینده منواکسیدکربن در کلانشهر مشهد در ماه بهمن ۱۳۹۶ به دست می‌آید (نقشه m)، می‌توان این‌گونه بیان نمود که بیشترین میزان آلودگی آلاینده منواکسیدکربن، مربوط به قسمت‌های غرب و کمربندی از جنوب شهر می‌باشد؛ به طوری که ایستگاه صدف در غرب شهر با محدوده غلظتی  $2/5-3/4$  پی پی بی دارای بیشترین بار آلودگی است و ایستگاه‌های ساختمان و آوینی با محدوده غلظت  $0/26-0/54$  پی پی بی دارای کمترین مقدار آلودگی می‌باشد.

در ماه اسفند (نقشه n)، همانطور که مشخص می‌گردد، قسمت غرب شهر دارای بیشترین بار آلودگی است و نواحی شرق و شمال شرق، کمترین مقدار آلودگی را دارا بودند.

یک کمربند، غلظت بالای منواکسیدکربن در سطح شهر مشهد نیز مشاهده می‌شود. در این ماه در بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری سنجش آلودگی هوا، ایستگاه صدف با میزان غلظت  $2/7-3/4$  پی پی بی در غرب شهر، دارای بیشترین آلودگی است و ایستگاه الهیه با مقدار غلظت  $0/44-0/52$  پی پی بی کمترین میزان آلودگی را دارد. در ماه شهریور همانطور که در نقشه f مشاهده می‌شود، بیشترین میزان آلودگی در قسمت شرق شهر واقع شده است. ماه مهر (نقشه g)، هسته مرکزی شهر بیشترین بار منواکسیدکربن را داراست و همچنین یک هسته دیگر نیز در غرب شهر مشاهده می‌شود که شامل ایستگاه صدف و ویلا می‌باشد و در بین ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا ایستگاه کریمی و صدف با میزان غلظت  $2/2-3/6$  پی پی بی دارای بیشترین بار آلودگی و ایستگاه خاقانی با مقدار غلظت  $0/45-0/76$  پی پی بی دارای کمترین مقدار آلودگی می‌باشد. برای ماه آبان (نقشه h)، کل سطح شهر مشهد با مقدار غلظت  $1/7-2$  پی پی بی در معرض آلودگی قرار گرفته و بیشترین میزان آلودگی در جنوب شهر که قسمت ورودی شهر می‌باشد، واقع شده است. مقادیر کم آلودگی در قسمت‌های شمالی مشاهده می‌شود که به صورت یک کمربند از شمال به جنوب شرق کشیده شده است. در ماه آذر (نقشه i)، مشابه ماه آبان، بیشترین میزان آلودگی با مقدار غلظت  $1/4-3/6$  پی پی بی مربوط به قسمت جنوب که ورودی شهر می‌باشد،







شکل ۵. نقشه های پهنه بندی ماهانه منوکسیدکربن شهر مشهد به ترتیب از فروردین تا اسفند ۱۳۹۶ (a) فروردین (b) اردیبهشت (c) خرداد (d) تیر (e) مرداد (f) شهریور (g) مهر (h) آبان (i) آذر (k) دی (m) بهمن (n) اسفند

## بحث

مونواکسیدکربن، گازی بی‌رنگ، بی‌بو، بی‌مزه و غیرقابل اشتعال است که ممکن است از طریق منابع طبیعی و مصنوعی به داخل محیط زیست انتشار یابد (۱۵). در استانداردهای کیفیت هوای متداول برای محافظت افراد از اثرات بهداشتی نامطلوب مونواکسیدکربن در محیط‌های باز، غلظت ۹ پی پی ام برای ۸ ساعت و ۳۵ پی پی ام برای یک ساعت تماس در نظر گرفته شده است (۱۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه و طبق اشکال ۲ و ۳، مقدار غلظت مونواکسیدکربن در سال ۱۳۹۶ از حد استاندارد کمتر بوده است که نشان‌دهنده کیفیت مطلوب هوای محیط از لحاظ شاخص مونواکسیدکربن در شهر مشهد در فصل‌های گرم و سرد سال می‌باشد. به نظر می‌رسد به علت آن که در تولید آلاینده مونواکسیدکربن، منابع متحرک بیشترین سهم را دارا می‌باشند، اجرای راهکارهای کنترل آلودگی ناشی از احتراق ناقص و بدسوزی مانند تعمیر و نگهداری صحیح خودرو، جلوگیری از روغن‌سوزی، حذف خودروها و موتورسیکلت‌های کاربراتوری و استفاده خودرو از کاتالیست، تأثیر به‌سزایی در کاهش این آلاینده داشته است، اما از آنجایی که این آلاینده گاز سمی و خطرناکی می‌باشد و حتی گاهی مقادیر کم آن نیز می‌تواند باعث حملات قلبی و آسیب‌های جدی به انسان شود، اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی برای آلاینده مونواکسیدکربن گردید؛ چراکه این موضوع کمک می‌کند که مشخص شود در چه مناطقی از ماه و سال، تجمع آلاینده‌ها زیاد بوده و این امر خسارات جانی و مالی را کاهش خواهد داد. طبق نتایج به‌دست آمده، دی ماه بیشترین میانگین و تیر ماه کمترین میانگین غلظت را داشته است که بیشترین غلظت فصل سرد بر اثر عوامل مختلف از جمله افزایش پایداری جوی، وارونگی دمایی، کاهش سرعت باد سطحی و استفاده بیش‌تر از منابع گرمایی ایجاد می‌شود. همچنین وسایل نقلیه در شرایط سرد دارای احتراق ناقص‌تری می‌باشند (۱۷).

در همین راستا مطالعه جولایی و همکاران که به بررسی تغییرات غلظت مونواکسیدکربن و ذرات معلق با قطر  $12/5$  میکرون در شهر

1.  $PM_{2/5}$ 

مشهد پرداختند، نشان داد که دو فصل پاییز و زمستان بیشترین میزان آلودگی را داشته و در بیشتر موارد غلظت‌ها بالاتر از مقادیر استاندارد بوده است (۱۸). شکوهمیان و همکاران، ارزیابی ارتباط بین توزیع مکانی مونواکسیدکربن را در فصول مختلف سال با پراکندگی کاربری اراضی در سطح شهر مشهد با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد نواحی مرکزی و شلوغ شهر بیشترین آلودگی را دارند (۱۹). مطالعه صفوی و همکاران که در خصوص پهنه‌بندی فصلی و مکانی شاخص کیفیت هوا و آلاینده‌های هوای محیطی شهر تبریز با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد، نشان داد که دو عامل مهم آلودگی هوای شهر تبریز ذرات معلق به قطر  $10$  میکرون<sup>۳</sup> و مونواکسیدکربن هستند و بیشترین وقایع آلودگی مربوط به فصل‌های سرد سال می‌باشد (۲۰) که نتایج آن با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. بالاترین غلظت‌های مونواکسیدکربن در مناطق شهری در محل‌هایی مشاهده می‌شود که بار سنگین ترافیک دارد و اغلب در ماه‌های سرد سال و یا طی شرایط وارونگی است. با توجه به اهمیت بهداشتی مونواکسیدکربن در جو، بررسی عوامل توپوگرافی، بررسی شیب و جهت باد در توزیع مکانی این آلاینده و مطالعه در زمینه الگوی ترافیکی و ارتباط آن با آلاینده مونواکسیدکربن در سطح شهر مشهد پیشنهاد می‌گردد.

## نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در مقایسه روش‌های درون‌یابی فاصله معکوس وزندار<sup>۴</sup>، کریجینگ معمولی<sup>۵</sup> و کریجینگ جهانی<sup>۶</sup>، تکنیک درون‌یابی کریجینگ معمولی، روش بهینه‌ای نسبت به کریجینگ جهانی و فاصله معکوس وزندار است، زیرا همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، برای تمام ماه‌های سال ۱۳۹۶ به جز مرداد و

2. Geographic Information Systems

3.  $PM_{10}$ 

4. Inverse Distance Weighted (IDW)

5. Ordinary Kriging

6. Universal Kriging

منطقه غربی به کوه‌ها باشد که در فصل زمستان به جهت سردی هوا و رخ دادن بیشتر پدیده وارونگی دما در این منطقه، به تبع آلودگی بیشتری در این قسمت شهر حاکم می‌شود.

#### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی شهر مشهد در ثبت اطلاعات و تهیه و تدوین گزارش سالانه کیفیت هوا، تشکر و قدردانی می‌شود.

این مقاله منتج از پایان نامه کارشناسی ارشد، با عنوان تحلیل مکانی آلاینده منواکسیدکربن در سطح شهر مشهد با استفاده از تکنیک GIS در سال ۱۳۹۶، نگارش سارا غلامحسین قوچانی رشته مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست گرایش آلودگی های محیط زیست از موسسه آموزش عالی خردگرایان مطهر می‌باشد.

بهمین روش کریجینگ معمولی مقدار میانگین خطا<sup>۱</sup> و میانگین خطا استاندارد<sup>۲</sup> کمتری داشت که نشان‌دهنده خطای کمتر و دقت بالاتر مدل می‌باشد. برای ماه‌های مرداد و بهمن مدل کریجینگ جهانی مناسب بود.

با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آلاینده منواکسیدکربن برای هر یک از ماه‌ها مشخص شد در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد در واقع فصل بهار، کمربند میانی شهر از شمال غربی تا جنوب شرقی دارای آلودگی بیشتری می‌باشند. در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور در واقع فصل تابستان، مناطق شرقی شهر شامل ایستگاه‌های آوینی و مفتح نسبت به سایر مناطق آلوده‌تر بودند که می‌تواند به علت حجم زیاد زائرین و مسافری در تابستان و ازدیاد خودروها و نزدیک بودن این منطقه به حرم مطهر باشد. در ماه‌های مهر، آبان و آذر بیشترین بار آلودگی مربوط به قسمت‌های مرکزی شهر بود و در ماه‌های دی، بهمن و اسفند قسمت غرب و جنوب غربی شهر شامل ایستگاه‌های صدف، ویلا و سرافرازان دارای بیشترین میزان آلودگی بود که به نظر می‌رسد می‌تواند به دلیل کوهستانی بودن قسمت‌های غربی و نزدیکی

1. Root Mean Squared Error (RMSE)  
2. Standardized RMSE

## References

1. Air Quality and Health, world-health-organization :<https://fa.euronews.com> Accessed May 2, 2018
2. HamzaLo M. Ghoroghosloo AS. Sadeghian S. Bik Pour Sh. Management of Air Pollution in Large Cities Using Satellite Images and Spatial Information System (Case Study: Tehran City). The First World Summit of Councils and Mayors. Tehran : Institute for Developmental Datas ;2016.(Persian)
3. Allah Hosseini A. Hashemi H. Nicravan M. Analysis and statistical analysis of Tehran Air Pollution Index data from 1381 to 1387. 5th National Congress of Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad 2010. (Persian)
4. Bahari R. Abaspour R. Pahlavani P. Zoning of suspended particles pollution using local statistical models in Tehran. Scientific and Research Journal of Mapping Science and Technologies 2016; 5(3):165-173(Persian)
5. Metakan A. Pourali S.H. Baharloo A. Mohammadian V. Evaluation of In-line Methods of Direction In Tehran, "Geomechanical Conferences PM and 10 CO Estimates of Pollutants 2008. (Persian)
6. Ghahroodi M. Babaei Feizi A. In: Income on Geographic Information Systems.ed Tehran: Payame Noor Publications.2011.
7. Miri M. Ghaneian M. Gholizadeh A. Yazdani M. Nikonehad A. Analysis of air pollution zonation in Mashhad using different spatial models. Journal of Environmental Health Engineering. 2016; 3(2):143-154.(Persian)
8. Esmaili R. Homogeneous Areas of Air Pollution in Mashhad. Natural hazards magazine2018; 7(16):227-240 (Persian)
9. Wang J. Ogawa S. Effects of Meteorological Conditions on PM2.5 Concentrations in Nagasaki, Japan. International Journal of Environmental Research an Public Health2015; 1660-4601
10. Akbari A. Fakheri M. Pourgholam Hassan AS. Akbari Z. Monthly zoning of air pollution and its relationship with climate factors in Mashhad. Journal of Natural Environment, Natural Resources of Iran 2015 ; 68(4):533-547.(Persian)
11. Kavousi A. Sefidkar R. Alavi Majd h. Rashidi u. Imanzad M. Normoradi H. Spatial Analysis of Air Pollution in Tehran Using Atoll Jettic, Centered Autodesk and Kriging Indicator Method. Journal of Ilam University of Medical Sciences 2013;21(7) :206-214.(Persian)
12. Family A. Jalali Yazdi AS. Hassanpour M. Shad R. Earth-Statistic Analysis of Air Pollutants with the Purpose of Blue Sky for Mashhad Metropolis. Eleventh International Conference on Transport and Traffic Engineering ;2015.(Persian)
13. Taghavi H. Distribution of time and location of pollutants of air pollution in Mashhad city and its effective factors [ Master Thesis]. Iran. Civil Engineering Faculty of Ferdowsi University of Mashhad :2012.
14. Akhavan R. Karami Khorramabadi M. Soosani J. Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (casestudy: Kakareza region, Khorramabad). Iran J Forest 2012;3(4): 305-16.(Persian)
15. Langston JW. Widner H. Brooks D. Carbon Monoxide Poisoning. Encyclopedia of Movement Disorders. 2010;187(1)
16. Erfanbakhsh M. Afuoni M. Environmental Pollution (Water, Soil, and Air). Tenth Edition. ed Esfahan: Arcan Danesh Publication 2014; p178(Persian)
17. Naderi M. Rushani M. Abasiyan M. Turbatiyan S. SHahbazi H. Tehran Air Quality Report 2016. City Publishing Center: Leila nazari; 2017. p.42
18. Joulaei F. Peirovi R. Esmaili H. Ketabi D. Motealemi A. Study of changes in carbon monoxide and PM2 / 5 concentrations in Mashhad. Journal of Health Research in Society2017;3(3):34-45. (Persian)
19. SHokohiyani M. Shad R. Hosseini h. Evaluation of the relationship between spatial distribution of CO in different seasons of the year with the distribution of land use in the city of Mashhad using GIS. The 15th National Students Conference;2011 (Persian)
20. Safavi N. Mousavi M. Dehghanzadeh Reyhani R. Shakeri M. Seasonal and spatial zonation of air quality index and environmental pollutants in Tabriz city using GIS software and evaluation of existing performance problems. Health Journal 2016;7(2):159-177 (Persian)