



## Journal of Environmental Research

Vol. 13, No. 25, Spring & Summer 2022

Journal Homepage: [www.iraneiap.ir](http://www.iraneiap.ir)

Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

### Spatial Analysis of Air Pollutants Carbon Monoxide in Mashhad

Document Type  
Research Paper

Reza Esmaili<sup>1\*</sup>, Farrokh Legha Amini<sup>2</sup>

Received  
2021/10/17

1 PhD in Climatology, Deputy of Environment and Urban Services of Mashhad Municipality  
Mashhad, Iran

Accepted  
2022/07/11

2 Master of Environmental Science, Department of the Environment Khorasan Razavi  
Province, Mashhad, Iran

DOI: [10.22034/eiap.2022.158590](https://doi.org/10.22034/eiap.2022.158590)

#### Abstract

In this study, carbon monoxide pollutants in the air of Mashhad in the 6 years (from 2014 to 2020) have been analyzed by spatial analysis. For this purpose, the monthly average for each station is calculated based on the daily concentration, and using the interpolation function, 72 monthly distribution maps with cells in the dimensions of 500 \* 500 meters (1247 cells in the city of Mashhad) were drawn. Finally, combination of monthly maps for each year, a six-year average map was obtained. To spatial analysis, geographical distribution, pattern analysis, and cluster analysis have been used. The results showed that the spatial distribution of CO in Mashhad has a cluster pattern. The results of local Moran index analysis showed two hot spots separately from each other in Mashhad, that both of them are located in the direction on the Vakilabad and Khayyam boulevards. The characteristics of statistical components of traffic and transportation in hot spots are significantly different from other parts of the city (cold spots). The total length of the transportation network is 53%, private cars 73%, motorcycles 83%, and buses and trucks 75% more in the identified hot spots, which can explain the reason for the formation of these hot spots.

**Keywords:** Mashhad, Air pollution, spatial analysis, Carbon Monoxide (CO), Hot Spot, Moran's Index

\* Corresponding author

Email: [r.esmaili.n@gmail.com](mailto:r.esmaili.n@gmail.com)

## Expanded Abstract

### Introduction

Air pollution is a multifaceted phenomenon that with the growth of population, increasing consumption of fossil fuels, urban sprawl, agricultural development, industrial development and increasing motor transportation, etc. in most parts of the world, especially metropolises in developing countries, is a major environmental problem. According to the World Health Organization (WHO) report, air pollution after smoking, diet and obesity is the fourth leading cause of premature death in the world (WHO, 2016). Among air pollutants, CO is one of the most dangerous pollutants. It is a toxic, colorless, odorless, and non-irritating gaseous pollutant that disrupts the supply of oxygen required by body tissues by reducing the ability of hemoglobin to carry oxygen, as well as the formation of carboxyhemoglobin, which affects the central nerves (Ana & Ogunseye, 2015). The results showed that there is a significant positive relationship between mortality and CO levels in the air and 4.7% of deaths are attributed to this pollutant (Burnett et al., 2011; Kermani et al., 2016). Recently, there has been a great deal of interest in the use of spatial analysis, especially in the distribution of environmental variables, including air pollutants, among environmental researchers (Ding et al., 2015). In this study, in addition to mapping the CO distribution map using a multi-year statistical period, for the first time, spatial analysis of this pollutant and also investigating the reasons for the formation of high CO concentration centers in Mashhad.

### Data and Methods

#### The City Under Study and Data Used

Mashhad city, the capital of Khorasan Razavi province, is located in the Northeastern of Iran, between the Binalood and Hezar-Masjed mountains. According to the latest population and housing census, it has a population of 2,987,323, to which should be added 20 to 30 million domestic and foreign pilgrims and tourists annually. This city has 23 air quality monitoring stations. Data from 1/1/1393 to 1/1/1399 for CO pollutants have been collected and analyzed by the Environmental Pollutants Monitoring Center of Mashhad.

### Spatial Analysis of Data

Spatial analysis is a complex of cartographic, mathematical and statistical methods used to process and analyze spatial data. The most important feature of spatial analysis is the emphasis on the spatial dimension of data (Alijani, 2015). In order to comprehend of CO pollutant distribution pattern were used software capabilities ArcMap software and some functions of the Spatial Statistics Toolbox including geographical distribution (central feature, directional distribution, central mean and median center), analyzing pattern (high/low clustering), multi-distance spatial cluster analysis (Ripley K function) and cluster / outlier analysis or Aselin local Moran (Gummer et al., 2004; Fischer & Getis, 2010; Asgari, 2012).

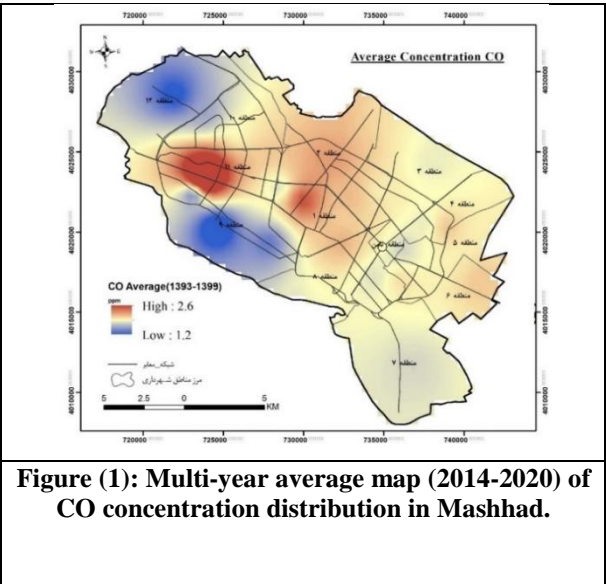
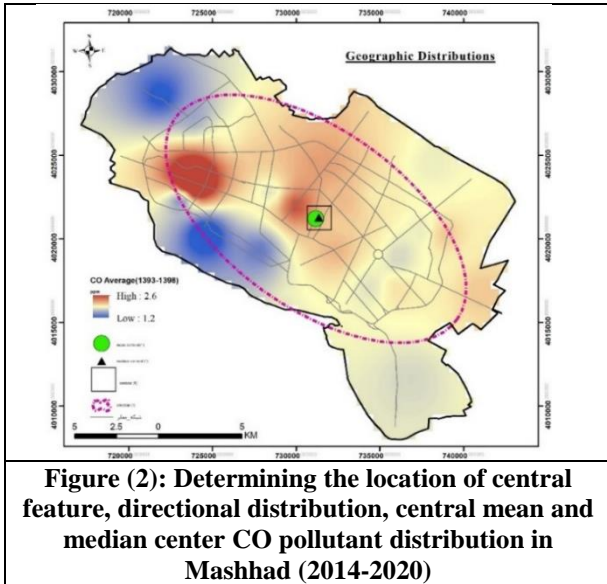
### Research Process

In this research, the capabilities of Geographic Information System (GIS), geostatistical functions, spatial analysis of geographical processes and subset tools of them to be used to identify the patterns of spatial and temporal distribution of carbon monoxide in the Mashhad city. CO pollutant data of Mashhad city were collected from air quality stations in a 6-year statistical period, invalid data were identified and the accuracy of the data were confirmed. Then, using the CO concentration daily, the average of each station was calculated monthly and using the interpolation function, 72 monthly distribution maps were drawn with cells in the dimensions of 500 \* 500 meters (1247 cells in Mashhad city). Finally, from the combination of monthly maps, the six-year average CO map of Mashhad was obtained and the desired spatial analysis was performed on 1247 cells. Finally, from the combination of monthly maps, the six-year average CO map of Mashhad was obtained and the desired spatial analysis was performed on 1247 cells.

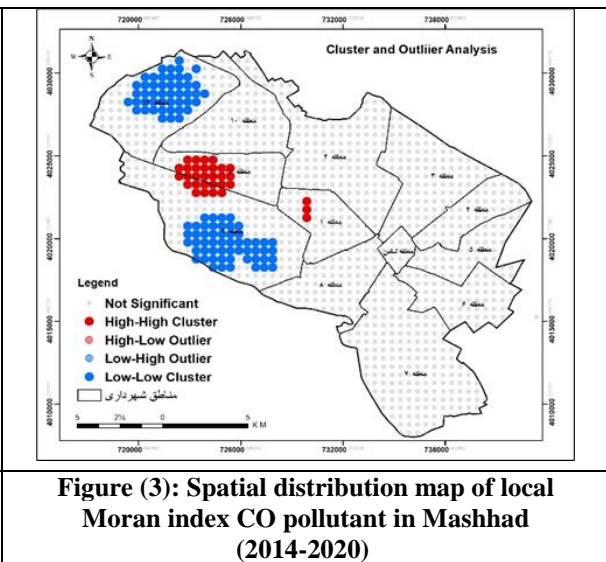
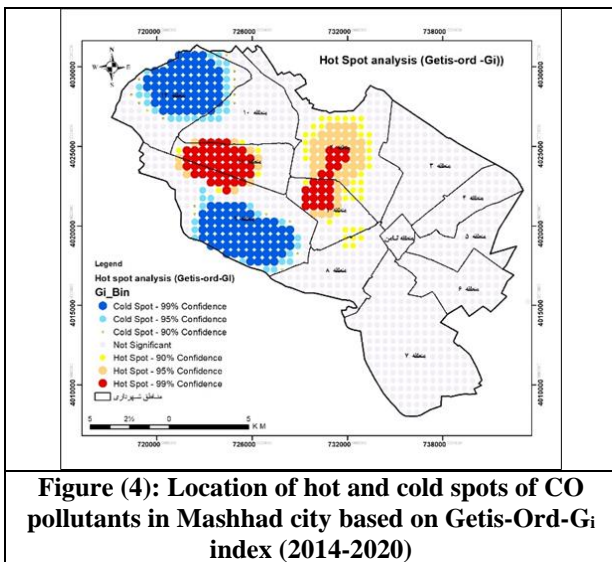
### Results

According to the 6-year average map (Figure 1), the areas located in the northwest (District 12 of the municipality) and west (District 9 of the municipality) of Mashhad with an average concentration of 1.19 ppm have the lowest CO concentration and areas of regions 11, 1 and 2 have the highest average concentration (2.65 ppm), respectively. In order to identify the pattern of geographical distribution of CO have been used

central feature, directional distribution, central mean and median center. Based on the directional distribution (Figure 2), the distribution of CO pollutants from the Northwest to the Southeast of Mashhad and its focus on the main urban routes (Malek-Abad and Vakil-Abad Boulevards) in districts 1 and 11 of the municipality. The overlap of the middle, mean, and central feature in district 1 of the municipality show the high concentration of CO pollutants in the arterial passages of the city (approximately down town).



The high / low clustering test on 1427 points matched with the numerical values of the average annual CO shows that the studied data have a cluster pattern. The Ripley function is a tool for spatial analysis of data scattered across points in a geographical area. The amount of K observed is greater than the amount of K expected for certain intervals. Therefore, it can be said that the variable studied in that distance (analysis scale) has a more clustered pattern than the random distribution. The results and output of the local Moran index analysis (Figure 3) show three separate clusters in the Western of the city. The middle cluster corresponding of the concentrated CO core in the annual average map is higher than other parts of the city significantly. In the hotspot analysis (Getis –Ord-Gi Index), two red cores represent hotspots, one of these cores, which is more statistically homogeneous, has been formed in the Vakilabad Boulevard and a smaller core is almost in the Khayyam Boulevard (Figure 4). The surrounding areas and especially the North of this spot are at the level of 95 and 90% statistical reliability.



### Conclusion

According to the six-year average map, the distribution of CO in Mashhad often follows the transportation network. So that the highest concentration of this pollutant is seen in the central and high-traffic areas of the central core route of Mashhad (Vakilabad Boulevard, Malekabad Boulevard, Sanabad, Piroozi, Gharani, Moalem, Sajad, Kalantari and ...) and the lowest amount is seen in the Northwest and West of Mashhad. The central core of city and Khayyam Boulevard can be introduced as the most polluted parts of the city to this pollutant. According to the results of the analysis of the geographical distribution pattern, the mean center, median center and central feature of this pollutant are located in district 1 of the municipality (high-traffic core of the city). Also, the elongation of the distribution of CO is oval from Northwest to Southeast of Mashhad, It seems to correspond to the direction of physical development, the main communication network of the city and also following the topography of Mashhad plain. The results of distribution pattern analysis done by two tests of high / low cluster (general G statistic) and Ripley distribution showed that the CO pollutant distribution in the city has a cluster pattern. Finally, clusters and hotspots of this contaminant were identified using local Moran test. The results of this analysis showed two separate hot spots, the first core is located in Vakilabad Boulevard and the second core is formed in Khayyam Boulevard, both of them are part of the busy arteries of city. According to that the main source of CO emissions is mobile sources( especially the transportation sector )some of transportation parameters were compared with cold point statistics to investigating of the formation of hot cores reasons. Based on these results, the average speed of vehicles in hot spots is 45 km / h and in cold spots is 31 km / h. In addition, the number of private cars 73%, motorcycles 83%, taxis 81%, vans 80% and buses and trucks 75% are more in hot spots.

## تحلیل فضایی آلاینده منواکسید کربن هوای شهر مشهد

رضا اسماعیلی<sup>۱\*</sup>، فرخ لقا امینی<sup>۲</sup>

۱ دکتری اقلیم‌شناسی، معاونت محیط زیست و خدمات شهری شهرداری مشهد، ایران

۲ کارشناس ارشد علوم محیط زیست، اداره کل محیط زیست خراسان رضوی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

### چکیده

در این پژوهش آلاینده منواکسید کربن هوای شهر مشهد در دوره آماری ۶ ساله (از ۱۳۹۳/۰۱/۱ الی ۱۳۹۹/۰۱/۱) مورد تحلیل فضایی قرار گرفته است بدین منظور بر اساس غلظت روزانه CO، میانگین ماهانه برای هر ایستگاه محاسبه و با استفاده از تابع درون یابی ۷۲ نقشه پراکنش ماهانه با یاخته‌هایی در ابعاد ۵۰۰\*۵۰۰ متر (تعداد ۱۲۴۷ یاخته در سطح شهر مشهد) ترسیم شد که در نهایت از ترکیب نقشه‌های ماهانه، نقشه میانگین شش ساله CO شهر مشهد به دست آورده شد. جهت تحلیل فضایی از توابع توزیع جغرافیایی، تحلیل الگوها و تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد توزیع مکانی آلاینده مورد مطالعه در شهر مشهد دارای الگوی خوشه‌ای است. نتایج تحلیل شاخص موران محلی دو هسته نقاط داغ به صورت مجزا از یکدیگر را در شهر مشهد نشان داد که هر دو در راستای مسیرهای پر ترافیک وکیل آباد و بلوار خیام قرار دارد. مشخصات مولفه‌های آماری ترافیک و حمل و نقل در نقاط داغ به‌طور چشمگیری با سایر نقاط شهر (نقاط سرد) متفاوت است. به‌طوری که مجموع طول شبکه حمل و نقل ۵۳ درصد، خودروهای شخصی ۷۳ درصد موتورسیکلت‌ها ۸۳ درصد و اتوبوس و کامیون‌ها ۷۵ درصد در نقاط داغ شناسایی شده بیشتر است که این برتری می‌تواند دلیل شکل‌گیری این نقاط را توجیه نماید.

**کلید واژه‌ها:** مشهد، آلودگی هوا، تحلیل فضایی، مونوکسید کربن (CO)، نقاط داغ، شاخص موران محلی

## سرآغاز

آلودگی هوا یک پدیده چند وجهی است که با رشد جمعیت، افزایش مصرف انرژی‌های فسیلی، گسترش شهرها، توسعه کشاورزی، پیشرفت صنعت و افزایش حمل و نقل موتوری و ... در اکثر نقاط جهان به ویژه کلان‌شهرهای کشورهای در حال توسعه به یک معضل بزرگ محیط‌زیستی تبدیل شده است. به نحوی که بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO)<sup>(۱)</sup> آلودگی هوا پس از مصرف دخانیات، رژیم غذایی و چاقی به عنوان چهارمین عامل مرگ و میر زودرس در جهان مطرح شده است (WHO, 2016). تخمین زده می‌شود در سراسر کره زمین، آلودگی هوا عامل ۲۵٪ از کل مرگ‌ها و بیماری‌های ناشی از سرطان ریه، ۱۷٪ از کل مرگ‌ها و بیماری‌های ناشی از عفونت حاد تنفسی تحتانی، ۱۶٪ از کل مرگ‌ها به علت سکته مغزی، ۱۵٪ از کل مرگ‌ها و بیماری‌های ناشی از بیماری ایسکمیک قلب، ۸٪ از کل مرگ‌ها و بیماری‌های ناشی از انسدادی مزمن ریوی است (Nanda et al., 2018). در بین آلاینده‌های هوا CO جز خطرناک‌ترین آلاینده‌ها است. این آلاینده گازی سمی، بی‌رنگ، بی‌بو و غیر تحریک‌کننده است که سبب ایجاد اختلال در تهیه اکسیژن مورد نیاز بافت‌های بدن به واسطه کاهش قدرت هموگلوبین در حمل اکسیژن و همچنین تشکیل کربوکسی هموگلوبین بر روی اعصاب مرکزی اثر می‌گذارد. این گاز به عنوان محصول جانبی احتراق ناقص مواد کربنی (مانند فرآورده‌های نفتی، زغال سنگ، گاز طبیعی، چوب و پلاستیک) تولید می‌شود و میزان تولید این آلاینده به طور مستقیم به میزان فعالیت‌های انسانی در اجتماعات بستگی دارد. بیشترین میزان انتشار این آلاینده سمی (۹۵-۹۸٪) مرتبط با فعالیت‌های انسانی شامل موتورهای احتراقی، آتش‌سوزی، عملیات صنعتی و تهویه نامناسب وسایل گرمایشی یا پخت‌وپز نادرست است (Ana & Ogunseye, 2015). نتایج تحقیقی که در تورونتو کانادا صورت گرفت نشان داد رابطه مثبت معناداری بین مرگ و میر و سطوح CO در هوا وجود دارد و ۴/۷٪ مرگ‌ها به این آلاینده منتسب شده است (Burnett et al., 2011; Kermani et al., 2016). اخیراً علاقه‌مندی زیادی به استفاده از تکنیک‌های زمین-آماری (تحلیل فضایی) به ویژه در مقوله پراکنش متغیرهای محیطی از جمله آلاینده‌های هوا بین پژوهشگران محیط‌زیستی ایجاد شده است. در همین راستا حوادث آلاینده محیط‌زیستی کشور چین طی

سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۲ با استفاده از آماره فضایی گتیس - اورد<sup>(۳)</sup> یا آماره G عمومی و شاخص درستی پیش‌بینی بهبود یافته (IAP)<sup>(۴)</sup> ورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در دوره مورد بررسی وقوع حوادث محیط‌زیستی یک الگوی رشد پویا داشته است و پس از سال ۲۰۰۶ کاهش ادامه‌دار حوادث محیط‌زیستی قابل نتیجه‌گیری بوده است. آماره G عمومی افزایش تشکیل خوشه‌های فضایی آلاینده‌ها را طی سال‌های مختلف نشان داد. (Ding et al., 2015). به منظور ارزیابی آلودگی هوا در شهر مادرید اسپانیا از ابزارهای آماری تحلیل همبستگی، تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)<sup>(۴)</sup> و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA)<sup>(۵)</sup> آلاینده‌های PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, NO و O<sub>3</sub> در ۲۲ ایستگاه طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد همبستگی قوی بین آلاینده‌های هوا با ساختارهای فضایی سطح شهر وجود دارد که در این زمینه اقدامات پیشنهادی و برنامه‌های تدوین شده به خصوص در حوزه ترافیک با هدف بهبود کیفیت هوا از طریق تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌ای صورت گرفت (Nunez-Alonso et al., 2019). در تحقیق دیگر ارتباط شاخص کیفیت هوا و شش آلاینده اصلی (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) با ویژگی‌های مورفولوژیکی (شاخص مورفولوژیکی ساختمان)، متغیرهای هواشناسی (سطح زمین، دما)، کاربری اراضی (پوشش گیاهی، طول جاده و موقعیت جغرافیایی پمپ بنزین و صنایع) و جمعیت با استفاده از مدل رگرسیون مکانی-مکان<sup>(۶)</sup> و مدل ناهمگون طبقه‌بندی شده فضایی (SSH)<sup>(۷)</sup> برای ۳۵ ایستگاه سنجش کیفیت هوا در پکن (سال ۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس یافته‌های این مطالعه مدل رگرسیون مکانی-مکانی، BMI<sup>(۸)</sup> دارای همبستگی قوی با پراکنندگی PM<sub>2.5</sub> و شاخص کیفیت هوا دارد. علاوه بر این تجزیه و تحلیلی SSH نشان داد، طول جاده‌ها و معابر در مجاورت مناطق آلوده سهم زیادی در آلودگی هوای آن مناطق به خصوص در مورد آلاینده ازن دارد (Tian & Chen, 2019). در تحقیقی که در کشور کره صورت گرفت نقش ساختارها و فضاهای زندگی شهری در آلودگی هوا بررسی شد و براساس نتایج به دست آمده از میان ۱۸۰ کشور مورد بررسی در سال ۲۰۱۸، کشور کره در رتبه ۱۱۹ به لحاظ کیفیت هوا (از نظر PM<sub>2.5</sub>) قرار گرفت. با این وجود در مناطق مختلف به دلیل ساختارهای متفاوت صنعتی و تراکم جمعیتی تفاوت‌هایی نیز در کیفیت هوا قابل

مشاهده است (Chel et al., 2019).

از بین طیف وسیعی از مطالعات انجام شده با موضوع آلودگی هوا در کشور، تعداد محدودی تحلیل فضایی آلاینده CO را مورد توجه قرار داده اند. در همین ارتباط جهت تعیین مکان‌های پر خطر از لحاظ آلاینده CO استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های آمار فضایی نظیر کریجینگ نشانگر<sup>(۹)</sup>، مدل اتولجستیک و مدل اتولجستیک مرکزی نشان دادند مناطق شمالی، شرقی و مرکزی شهر تهران از سایر نواحی شهر به آلاینده CO آلوده‌تر هستند (Kavousi et al, 2016).

بررسی توزیع مکانی- زمانی آلاینده‌های هوا در شهر تهران در ماه‌های سرد سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نشان داد، طی دسامبر ۲۰۱۲ (که اغلب دوره حاد آلودگی هوا در تهران را در بر دارد) غلظت آلاینده‌های گازی از جنوب به شمال و غلظت آلاینده‌های ذرات معلق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می‌یابد. مقایسه نقشه‌های توزیع آلاینده CO به هنگام ظهر و شب نشان می‌دهد که گرادیان شدید بین شمال و جنوب تهران در ظهرها بر غلظت آلاینده CO نیز تاثیر می‌گذارد، ولی در شب این گرادیان کاهش یافته و توزیع یکنواخت‌تر می‌شود. عمق لایه مرزی (افزایشی به سوی جنوب) نیز روی این توزیع متاثر است (Sharipour & AkbariBidokhti, 2015).

حبیبی و همکاران (Habibi et al., 2017) الگوی توزیع مکانی و شاخص‌های همبستگی مکانی موران<sup>(۱۰)</sup> و گتیس- او رد غلظت CO و PM<sub>2.5</sub> در شهر تهران را مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد لکه‌های داغ CO بخش‌های از شمال شرق و جنوب غرب تهران را در بر می‌گیرد حال آن که نقاط داغ آلاینده PM<sub>2.5</sub> در بخش‌های جنوبی و لکه‌های سرد آن در نیمه شمالی تهران واقع شده است. در همین ارتباط جستجو در مستندات پایگاه اسناد علمی ایران (ایراندک)<sup>(۱۱)</sup> با کلید واژه «آلودگی هوای مشهد» منتج به فهرست ۵۹ پژوهش در این خصوص شد که از حیث روش تحقیق بیشترین فراوانی مربوط به تحلیل‌های آماری (ایستگاهی) و بعد از آن ترسیم نقشه و پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا است. بیشترین مطالعات در رشته‌های جغرافیا، مهندسی عمران، مهندسی محیط‌زیست و موارد بین رشته‌ای صورت گرفته است (<https://ganj.irandoc.ac.ir>).

در بین مطالعات رشته جغرافیا بیشتر ابعاد اقلیمی و هواشناسی آلاینده مورد مطالعه مدنظر قرار گرفته است. (Entezari 2020; Joulaei et al., 2017; Hosseinzadeh et al., 2013;

Najafpoor et al., 2015; Soltani Gerdfarmarzi et al., 2017) در رشته‌های مهندسی منابع طبیعی و محیط‌زیست فراوانی غالب در تحلیل‌های آماری آلاینده‌های هوا است (Esmaili 2019; Dehghan 2014; Ahmadi 2013) با این حال اگر چه استفاده از GIS و تکنیک‌های مختلف آن جهت ترسیم و پهنه بندی آلودگی هوای مشهد استفاده شده است (Akbari & Fakher 2015; Miri et al., 2015; Charmzan et al., 2018) با این حال مطالعاتی که به جنبه‌های تحلیل فضایی پرداخته شده است محدود است. در همین ارتباط اسماعیلی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به روش سلسله مراتبی نشان داد که آلاینده PM<sub>2.5</sub> از همگنی بیشتری نسبت به منواکسید کربن در سطح ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا برخوردار است. از آنجایی که حداکثر مقادیر این آلاینده در فصل گرم است، می‌توان عدم پایداری در سطح زمین و بعضاً جریانات هوا را باعث این مساله دانست (Esmaili, 2013) همچنین ایشان با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سه ناحیه همگن آلودگی هوای مشهد از لحاظ PM<sub>2.5</sub> را شناسایی و نقشه آن را ارائه کرد بر اساس نتایج این مطالعه مناطق شرقی مشهد با متوسط غلظت ۳۲/۴ میکروگرم بر متر مکعب بالاترین غلظت PM<sub>2.5</sub> دارا است (Esmaili, 2018) از این‌رو در این پژوهش سعی شده است علاوه بر ترسیم نقشه پراکنش CO با استفاده از دوره آماری چند ساله، برای اولین بار تحلیل فضایی این آلاینده و همچنین واكاوی دلایل شکل‌گیری کانون‌های غلظت بالای CO در دومین کلانشهر کشور صورت گیرد.

## داده‌ها و روش‌ها

### شهر مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در حوضه آبریز کشف‌رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزارمسجد واقع است. ارتفاع شهر از سطح دریا حدود ۱۰۵۰ متر (حداکثر ۱۱۵۰ متر و حداقل ۹۵۰ متر) است و بر اساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، دارای ۲/۹۸۷/۳۲۳ نفر جمعیت است که به این تعداد باید ۲۰ الی ۳۰ میلیون زائر و گردشگر داخلی و خارجی سالانه را نیز افزود. شهر مشهد دارای ۲۳ ایستگاه سنجش کیفیت هوا است که ۱۲

رضوی است. شبکه موجود تحت نظارت و مدیریت یکپارچه، مرکز پایش آلاینده‌های محیط‌زیستی مشهد فرایند پایش، تجمیع، پردازش و اطلاع‌رسانی را به صورت متمرکز صورت می‌دهد. در تحقیق حاضر از داده‌های روزانه غلظت CO در ایستگاه‌های فعال و دارای آمار موثق استفاده شده است که مشخصات و مختصات جغرافیایی هر یک در جدول شماره (۱) آورده شده است.

ایستگاه (صدف، تقی‌آباد، طرق، ماشین ابزار، ویلا، پارک وحدت، شهرک لشگر، رسالت، شهرک شهید رجایی (ساختمان)، نخریسی، سجاد، خیام) متعلق به اداره کل حفاظت محیط‌زیست خراسان رضوی و ۱۰ ایستگاه (شهید آوینی، خیام شمالی، چمن، مفتاح، سمزقند، سرافرازان، خاقانی، امامیه، شهید کریمی، الهیه متعلق به معاونت خدمات شهری شهرداری مشهد است و ایستگاه واقع در حرم مطهر امام رضا (ع) نیز متعلق به اداره کل هواشناسی خراسان

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای شهر مشهد

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (Y)	طول جغرافیایی (X)	نوع ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (Y)	طول جغرافیایی (X)	نوع ایستگاه
سمزقند	۴۰.۲۲۶۸۵	۷۳.۴۹۱۲	شهری	خیام	۴۰.۲۱۹۷۵	۷۲.۹۹۲۱	ترافیکی
خیام شمالی	۴۰.۲۴۵۶۱	۷۳.۲۰۲۹	ترافیکی	طرق	۴۰.۱۱۵۷۷	۷۳.۷۱۴۶	بالاباد
چمن	۴۰.۲۴۷۵۱	۷۳.۷۰۵۲۶	ترافیکی	سجاد	۴۰.۲۲۷۷۷	۷۲.۸۴۹۸	شهری
الهیه	۴۰.۲۸۷۰۷	۷۲.۱۹۹۱	شهری	صدف	۴۰.۲۳۴۳۳	۷۳.۲۸۲۰	ترافیکی
کریمی	۴۰.۲۲۰۲۲	۷۳.۳۹۶۰	ترافیکی	تقی‌آباد	۴۰.۱۹۳۶۴	۷۳.۳۳۸۴	ترافیکی
مفتاح	۴۰.۲۰۵۱۲	۷۳.۷۳۶۸	شهری	وحدت	۴۰.۱۸۹۰۰	۷۳.۶۰۷۵	ترافیکی
آوینی	۴۰.۲۰۲۲۸	۷۳.۹۱۴۹	ترافیکی	نخریسی	۴۰.۱۶۹۹۱	۷۳.۴۶۸۲	شهری
خاقانی	۴۰.۱۹۳۷۱	۷۲.۷۸۹۷	شهری	ساختمان	۴۰.۱۶۸۸۰	۷۴.۱۰۲۷	شهری
سرافرازان	۴۰.۲۰۰۸۵	۷۳.۴۹۴۰	شهری	رسالت	۴۰.۲۲۲۷۶	۷۳.۷۲۱۰	ترافیکی
امامیه	۴۰.۲۵۹۵۶	۷۳.۶۱۳۵	ترافیکی	لشگر	۴۰.۲۷۳۶۶	۷۳.۳۷۸۸	شهری
حرم مطهر	۴۰.۱۹۰۶۱	۷۳.۴۹۰۹	ترافیکی	ویلا	۴۰.۲۲۳۶۱	۷۳.۳۱۱۸	شهری

#### توزیع جغرافیایی<sup>(۱۴)</sup>، در بخش توزیع جغرافیایی از چهار

تحلیل استفاده شده است.

عارضه مرکزی<sup>(۱۵)</sup>، این ابزار مشخص‌ترین مرکز را در یک لایه با ویژگی نقطه‌ای، خطی یا چند ضلعی شناسایی می‌کند.

توزیع جهت دار<sup>(۱۶)</sup>، این ابزار بیضی انحراف استاندارد را جهت نمایش خلاصه ویژگی‌های فضایی و جغرافیایی ترسیم می‌کند.

میانگین مرکزی<sup>(۱۷)</sup>، این روش شبیه به میانگین در آمار کلاسیک است. این شاخص مرکز جغرافیایی یا مرکز ثقل مجموعه‌ای از عوارض را نشان می‌دهد.

میان مرکز<sup>(۱۸)</sup>، در حقیقت موقعیتی را مشخص می‌کند که مجموع فاصله اقلیدسی با ویژگی‌های یک مجموعه داده را به حداقل می‌رساند (Asgari, 2012).

تحلیل الگو<sup>(۱۹)</sup> تحلیل خوشه‌بندی بالا/ پایین یا آماره G عمومی<sup>(۲۰)</sup>، این شاخص به اندازه‌گیری میزان تراکم و خوشه‌بندی مقادیر زیاد و یا کم یک متغیر در محدوده مورد مطالعه می‌پردازد که

#### روش تحلیل فضایی داده‌ها

ظهور و توسعه فناوری‌ها و مدل‌های آماری و تحلیلی جدید سبب توسعه توانمندی‌های پژوهشگران در واکاوی‌های علمی از جمله آلودگی هوا شده است. از این‌رو به کارگیری روش‌های تحلیل توان آماری- فضایی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. تحلیل فضایی داده‌ها می‌کوشد دانش نهفته در پراکندگی داده‌های جغرافیایی یعنی قوانین، نظام و الگوهای فضایی را کشف کند به عبارت دیگر تحلیل فضایی مجموعه‌ای از مهارت‌های کارتوگرافی و روش‌های ریاضی و آماری را معرفی می‌کند که برای پردازش و تحلیل داده‌های فضایی به کار می‌رود. مهم‌ترین ویژگی تحلیل فضایی تاکید بر بعد فضایی داده هاست (Alijani, 2015). از این‌رو جهت شناخت بهتر الگوی توزیع آلاینده CO از قابلیت‌های نرم افزار آرک‌مپ<sup>(۲۱)</sup> استفاده شده است که در ادامه به اختصار برخی از توابع جعبه ابزار آمار فضایی<sup>(۲۲)</sup> که در این تحقیق به کار گرفته شده است تشریح می‌شود:



باشد به معنای آن است که عارضه موردنظر توسط عوارضی که اصلاً مشابهتی به آن ندارند محاصره شده است. این نوع عارضه در حقیقت ناخوشه نامیده می‌شود. خروجی ایجاد شده توسط این ابزار به چهار حالت خواهند بود که عبارتند از: خوشه‌های مقادیر زیاد- زیاد (H-H)، خوشه‌های مقادیر کم- کم (L-L)، ناخوشه‌های زیاد- کم (H-L) و ناخوشه‌های کم- زیاد (L-H) (Asgari, 2012).

تحلیل نقاط (لکه‌های) داغ- از آماره گتیس ارد جی، جهت بررسی دقیق‌تر توزیع فضایی لکه‌های داغ<sup>(۳۵)</sup> یا خوشه مکانی با مقادیر زیاد و لکه‌های سرد<sup>(۳۶)</sup> یا خوشه مکانی با مقادیر کم استفاده می‌شود. این آماره در سه کلاس  $\pm 3$ ،  $\pm 2$ ،  $\pm 1$  و در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد محاسبه می‌شود و با استفاده از رابطه شماره (۱) محاسبه می‌شود:

$$G_i^* = \frac{\sum_j W_{ij} X_j \bar{X}}{\sqrt{\frac{\sum_j W_{ij}^2 (\sum_j W_{ij})^2}{n(n-1)}}} \quad (1)$$

مقادیر بالای G به دست آمده نشان‌دهنده خوشه‌های مکانی با مقادیر زیاد (لکه‌های داغ) و مقادیر پایین G نشان‌دهنده خوشه‌های مکانی با مقادیر کم (لکه‌های سرد) است (Gummer et al., 2004).

### فرآیند انجام تحقیق

در تحقیق حاضر سعی شده است از تابع‌های زمین آماری<sup>(۳۷)</sup> سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>(۳۸)</sup> در شناخت الگوهای فضایی و آماری آلاینده CO برای شهر مشهد استفاده شد. بدین منظور داده‌های غلظت روزانه آلاینده مدنظر برای ایستگاه‌های فعال در دوره آماری ۶ ساله (از ۱۳۹۳/۱/۱ الی ۱۳۹۹/۰۱/۰۱) از مرکز پایش آلاینده‌های محیط‌زیستی مشهد گردآوری شد. در گام نخست داده‌های پرت شناسایی و صحت و صقم داده‌ها بررسی و مورد تایید قرار گرفت. سپس میانگین غلظت آلاینده برای هر ماه در هر ایستگاه محاسبه شد. جهت ترسیم نقشه‌ها، داده‌ها به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی منتقل شد و با استفاده از تابع درون‌یابی، مقادیر عددی غلظت CO ایستگاه‌ها بر روی توری با یاخته‌های ۵۰۰ در ۵۰۰ متر گسترانیده و تعمیم داده شد. بر این اساس در سطح شهر مشهد ۱۲۴۷ یاخته یکسان دارای مقادیر عددی اختصاصی ایجاد شد که مبنای محاسبات آماری و فضایی بعدی قرار گرفت. در ادامه ۷۲

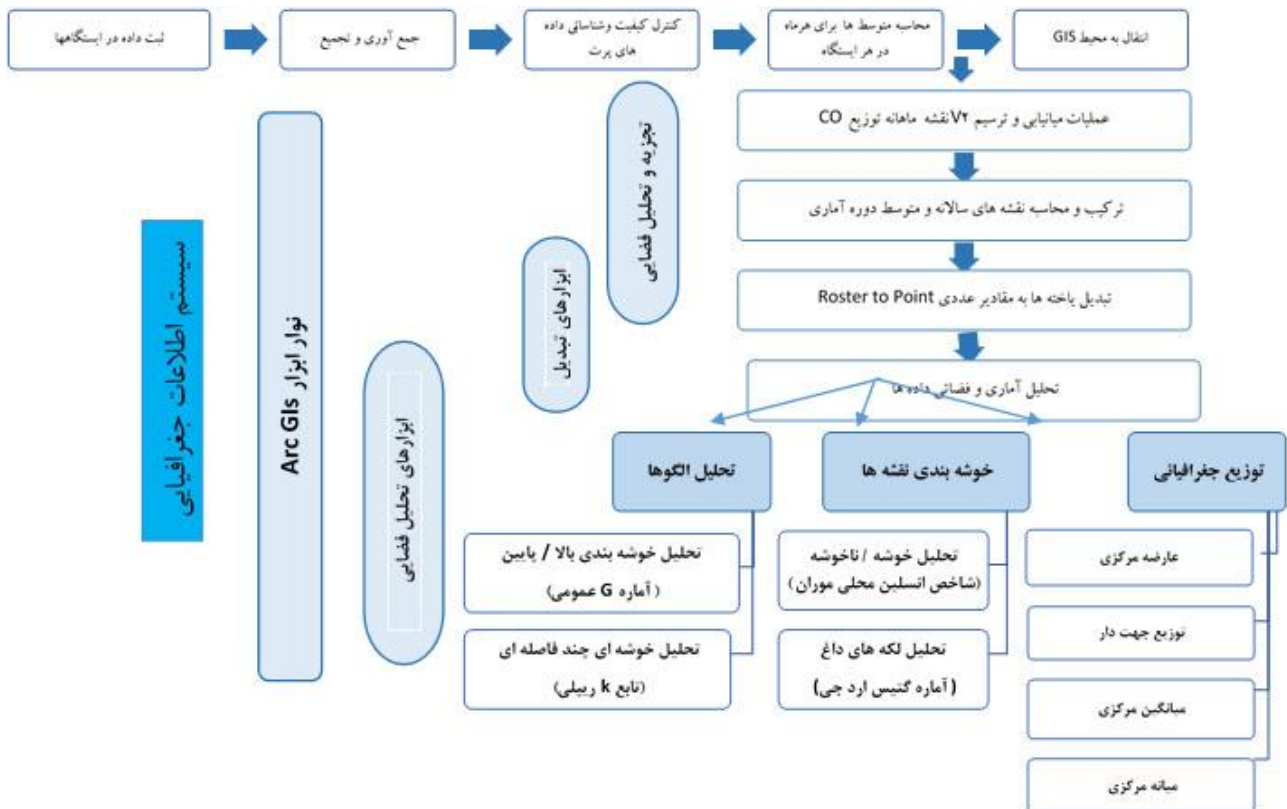
به آماره جی عمومی نیز معروف است. این آماره وجود و یا عدم وجود خوشه‌بندی زیاد و یا کم داده‌های فضایی را بررسی می‌کند. فرضیه صفر برای آماره جی عمومی آن است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی چه زیاد و چه کم بین داده‌ها وجود ندارد. شرط رد فرض صفر برای این آماره، این است که مقدار استاندارد Z بسیار بزرگ و مقدار P-Value بسیار کوچک و نزدیک به صفر باشد. آنگاه اگر مقدار Z مثبت باشد، نتیجه می‌گیریم که مقادیر زیاد یا بالای خصیصه موردنظر در منطقه مورد مطالعه خوشه‌بندی شده اند. (Fischer & Getis, 2010; Asgari, 2012).

– **تحلیل خوشه‌ای چند فاصله‌ای** یا تابع K رایلی<sup>(۳۹)</sup>، ابزاری بسیار مهم برای بررسی آماری الگوهای فضایی پدیده‌ها در فضا و مکان است که نشان می‌دهد وضعیت خوشه‌بندی پدیده‌ها در فواصل مختلف جغرافیایی چگونه است. وقتی به بررسی الگوهای پراکنش فضایی در فواصل و مقیاس‌های فضایی چندگانه می‌پردازیم، الگوها معمولاً از فاصله‌ای به فاصله دیگر و از مقیاسی دیگر تغییر می‌کنند که در حقیقت منعکس‌کننده وجود فرایندهای فضایی خاص در فواصل و مقیاس‌های مختلف می‌باشند. این تابع نشان می‌دهد که چگونه خوشه‌بندی فضایی یا پراکنندگی مرکزیت عوارض همراه با تغییر اندازه واحد همسایگی تغییر می‌کند. تابع K رایلی ابزاری قدرتمند برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل الگوی مکانی نقاط در مقیاس‌های مختلف فاصله است. هرچه منحنی نتایج مشاهده شده بالاتر از منحنی نتایج مورد انتظار باشد به معنای آن است که مشاهدات در این فاصله خوشه‌بندی شده‌اند. برعکس هرچه منحنی نتایج مشاهده شده پایین‌تر از منحنی نتایج مورد انتظار باشند در آن صورت داده‌ها در آن فاصله از هم پراکنده‌تر هستند (Fischer & Getis, 2010; Asgari, 2012).

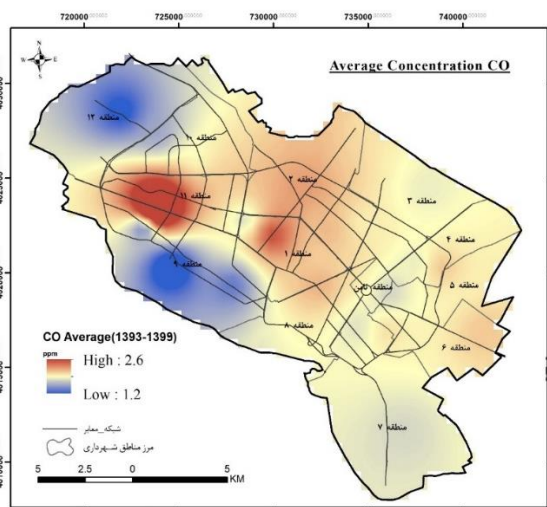
– **خوشه‌بندی<sup>(۴۰)</sup>** تحلیل خوشه/ ناخوشه<sup>(۴۱)</sup>، این تحلیل که به شاخص انسلین محلی موران<sup>(۴۲)</sup> نیز شناخته می‌شود از ابزارهای مفید برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا است. این ابزار همچنین محل مقادیر زیاد و کم خوشه‌ها و ناخوشه‌ها را در فضای مورد مطالعه نشان می‌دهد. اگر مقدار I یا همان مقدار شاخص موران مثبت باشد به معنای آن است که عارضه مورد نظر توسط عوارض مشابه خود محاصره شده است. بنابراین عارضه موردنظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی

مرکزی)، خوشه‌بندی نقشه‌ها (شامل تحلیل خوشه/ ناخوشه و تحلیل نقاط داغ) و روش‌های تحلیل الگوها (شامل تحلیل خوشه بندی بالا/ پایین یا زیاد/ کم و تحلیل خوشه‌ای چند فاصله‌ای) بر روی داده‌ها صورت گرفت. در شکل (۱) مراحل انجام این پژوهش نشان داده شده است.

نقشه در مقیاس ماهانه (دوره آماری ۶ ساله) ترسیم شد که از ترکیب و عملیات جبری ابتدا به میانگین سالانه و سپس میانگین چند ساله تبدیل شد. در مرحله بعد با استفاده از قابلیت‌های ابزار تجزیه و تحلیل مکانی (فضایی)، تحلیل‌های توزیع جغرافیایی (شامل عارضه مرکزی، توزیع جهت دار، میانگین مرکزی، میانه



شکل (۱): مدل مفهومی مراحل تحلیل فضایی آلاینده CO شهر مشهد



شکل (۲): نقشه میانگین چند ساله (۱۳۹۳ - ۱۳۹۹) پراکنش غلظت CO در سطح مشهد

## نتایج یا یافته‌ها

از طریق عملیات میان‌یابی ۷۲ نقشه ماهانه غلظت آلاینده مونوکسیدکربن در محیط Arc GIS برای مشهد ترسیم شد که با استفاده از تابع جبری، ترکیب و نقشه میانگین چند ساله (۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹) به دست آمد (شکل ۲). در بین مطالعات انجام شده بر روی این آلاینده در مشهد، این نقشه دارای طولانی‌ترین دوره آماری است که مسلماً شناخت بهتر و کامل‌تری از چگونگی توزیع و پراکنش CO در سطح شهر را ارائه می‌کند.

براساس این نقشه مناطق واقع در شمال غرب (منطقه ۱۲) غرب (منطقه ۹) مشهد با میانگین غلظت ۱/۱۹ ppm دارای پایین‌ترین غلظت CO و نواحی از مناطق ۱، ۱۱ و ۲ بترتیب دارای بالاترین

شده است. بر اساس استاندارد سالانه ارایه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>(۳)</sup> (US.EPA, 2014) سطح مجاز میانگین سالانه CO، ppm تعریف شده است که مقادیر ثبت شده این آلاینده خوشبختانه از این سطح کمتر است. نکته قابل توجه دیگر روند افزایشی این آلاینده طی سال‌های اخیر است که می‌تواند هشدار برای شهروندان محسوب شود.

میانگین غلظت (۲/۶۵ ppm) می‌باشند. به طور مشخص مناطق مرکزی بلوار وکیل‌آباد که شریان اصلی تردد مشهد محسوب می‌شود از بار آلودگی بیشتری برخوردار است. سایر مناطق شهری (عموماً مناطق جنوب شرق و شمال شرق) تقریباً به شکل یکسان با میانگین غلظت ۱/۶۵ ppm شرایط مشابهی را دارند. در جدول (۲) مولفه‌های آماری احصاء شده از نقشه‌های سالانه CO آورده

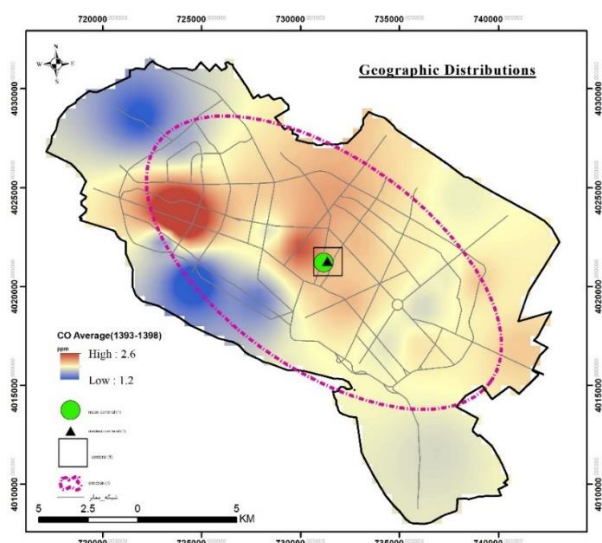
جدول (۲): مولفه‌های آماری نقشه‌های سالانه غلظت CO (دوره آماری ۱۳۹۳ - ۱۳۹۹)

سال	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف از معیار
۹۳	۱/۴۹	۲/۶۲	۱/۷۸	۰/۱۷
۹۴	۰/۸۳	۲/۲۶	۱/۶۲	۰/۲۱
۹۵	۰/۷۹	۳/۴۵	۱/۵۹	۰/۲۷
۹۶	۰/۶۷	۳/۴	۱/۴۶	۰/۲۶
۹۷	۰/۸۴	۲/۷۳	۱/۵۱	۰/۲۱
۹۸	۱/۲۰	۳/۵۲	۱/۹۵	۰/۳۶
میانگین	۱/۱۹	۲/۶	۱/۶۵	۰/۱۳

بر روی ۱۴۲۷ نقطه همسان با مقادیر عددی میانگین سالانه CO صورت پذیرفت. در نتایج خروجی این تحلیل مقدار آماره Z (۱۰/۹۸) و مقدار آماره P-value معادل صفر و کوچک‌تر از مقدار Z است که نشان می‌دهد داده‌های مورد مطالعه از الگوی خوشه‌بندی برخوردارند (شکل ۴- راست).

در ادامه به منظور شناخت الگوی توزیع جغرافیایی CO از شاخص‌های میانه مرکزی، میانگین مرکزی، عارضه مرکزی و توزیع جهت دار استفاده شده است. با توجه به شکل شماره (۳) که نتایج خروجی این تحلیل را نشان می‌دهد، توزیع جهت‌دار پراکنش آلاینده منواکسید کربن از سمت شمال غرب به جنوب شرق شهر مشهد و محل تمرکز آن منطبق بر مسیرها و شریان‌های اصلی شهری (بلوار ملک‌آباد و وکیل‌آباد) در مناطق ۱ و ۱۱ است. این مسیر به خصوص بلوار وکیل‌آباد به دلیل منتهی شدن به مکان‌های تفرجگاهی شاندیز و طرقله و ... در اواخر هفته بسیار پر ترافیک است که می‌تواند سبب افزایش غلظت این آلاینده در این مسیر شد.

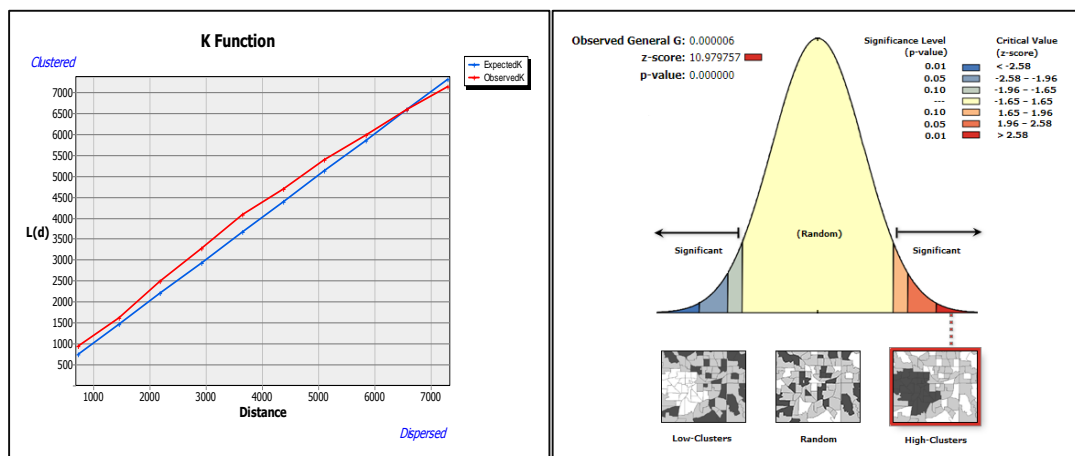
انطباق میانه، میانگین و عارضه مرکزی در منطقه ۱ شهرداری بر یکدیگر بیانگر تمرکز بالای آلاینده CO در معابر پر تردد و شریانی شهر (تقریباً مرکز شهر) است. به نظر می‌رسد الگوی جهت توزیع که در جهت شمال غرب- جنوب شرق، ترسیم شده است به موازات توسعه فیزیکی شهر و شریان‌های اصلی تردد (ملک‌آباد، سناباد، وکیل‌آباد، کلانتری، پیروزی، قرنی، معلم، سجاد و ...) است که وزش باد غالب از جهت جنوب شرق نیز سبب انتقال و توزیع این آلاینده در جهت شمال غرب می‌شود. در ادامه از تابع تحلیل الگوها کمک گرفته شده است در ابتدا آزمون خوشه‌بندی زیاد/ کم



شکل (۳): تعیین موقعیت مکانی نقطه میانگین، میانه، عارضه مرکزی و جهت توزیع آلاینده CO در سطح شهر مشهد (۱۳۹۳ - ۱۳۹۹)

تابع ریپلی برای یک توزیع تصادفی از پدیده‌ها، به شکل یک خط تعادلی و تابع همانی در می‌آید. با توجه به شکل (۴-چپ) مقدار کا مشاهده شده بزرگ‌تر از مقدار کا مورد انتظار برای فواصل معینی است بنابراین می‌توان گفت، متغیر مورد مطالعه در آن فاصله (مقیاسی تحلیل) دارای الگوی خوشه‌بندی‌تر از توزیع تصادفی است.

تابع ریپلی ابزاری برای تحلیل فضایی داده‌هایی است که به صورت نقاطی روی پهنه جغرافیایی پراکنده شده‌اند. به کمک این تابع می‌توان وضعیت پراکنش هر پدیده در فضا را از لحاظ میزان تمرکز، تصادفی یا پراکنده بودن بررسی کرد بر این اساس میزان تمرکز یا پراکنده‌گی پدیده مورد مطالعه به صورت کمی مشخص می‌شود روشن است که به طور کلی با افزایش فاصله میان پدیده‌ها یا نقاط موردنظر، توزیع به سمت پراکنده‌گی بیشتر می‌رود. نمودار



Observed General G: 0.000006

z-score: 10.979757

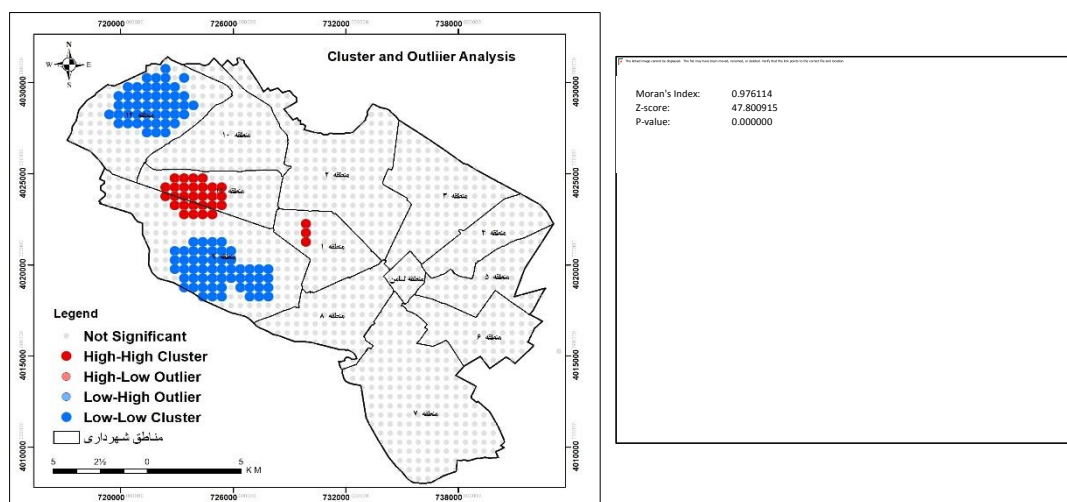
p-value: 0.000000

شکل (۴): نتایج خروجی آماره G عمومی (سمت راست) و نمودار توزیع شاخص ریپلی (سمت چپ) آلاینده CO دوره آماری (۱۳۹۳ - ۱۳۹۹)

محسوب می‌شود به عبارتی مقادیر CO در این خوشه به طور معناداری فراتر از سایر نقاط شهر است.

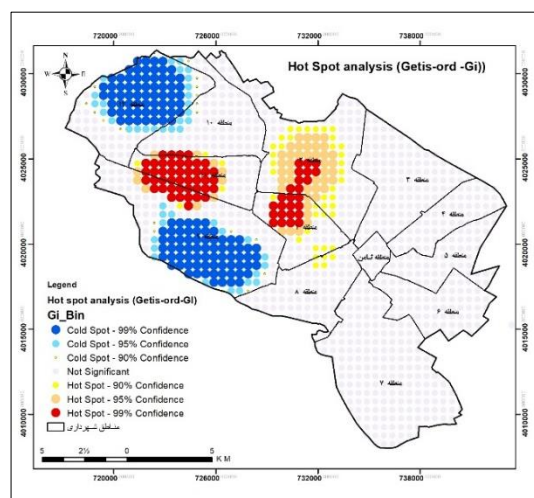
در تحلیل نقاط داغ (آماره گتیس ارد جی) مقادیر بالای G نشان دهنده خوشه‌های مکانی با مقادیر زیاد (لکه‌های داغ) و مقادیر پایین G نشان دهنده خوشه‌های مکانی با مقادیر کم (لکه‌های سرد) است. بر اساس نتایج خروجی این تحلیل که در شکل (۶) نشان داده شده است. به طور مشخص و مجزا چهار لکه یا هسته شناسایی شده است دو هسته که با رنگ قرمز نشان داده شده است بیانگر نقاط داغ است یکی از این هسته‌ها که همگنی بیشتری از لحاظ آماری دارد در راستای بلوار وکیل آباد و هسته کوچک‌تر بین منطقه ۱ و ۲ شهرداری تقریباً منطبق بر بلوار خیام شکل گرفته است که البته نقاط پیرامونی و به خصوص شمالی این لکه در سطح ۹۵ و ۹۰ درصد اطمینان آماری قرار دارد.

برای تکمیل بحث به بررسی نتایج و خروجی تحلیل شاخص موران محلی پرداخته شده است. در خروجی این شاخص ارزش‌های نزدیک به ۱ به معنای توزیع خوشه‌ای و ارزش نزدیک به ۰- بیانگر توزیع تصادفی است. شکل (۵-راست) نتایج خروجی GIS برای این تحلیل را نشان می‌دهد با توجه به این که عدد شاخص موران ۰/۹۸ و مقدار امتیاز Z (۴۷/۸۰) بزرگ‌تر از یک است و مقدار آماره P-value صفر است می‌توان گفت که توزیع آلاینده مدنظر از الگوی خوشه‌ای با تمرکز بالا برخوردار است. موقعیت مکانی خوشه‌های (بالا/پایین) آلاینده CO در شکل (۵-چپ) نشان داده شده است. به طور مشخص سه خوشه مجزا در نیمه غربی شهر تشکیل شده است خوشه میانی که با رنگ قرمز مشخص شده است منطبق بر هسته پرغلظت CO در نقشه میانگین سالانه است این خوشه با علامت HH جز خوشه بالا



شکل (۵): نتایج خروجی شاخص موران محلی (سمت راست) و نقشه توزیع مکانی این شاخص (سمت چپ) آلاینده CO مشهد در دوره آماری (۱۳۹۳-۱۳۹۹)

درصد مساحت شهر مشهد تحت سیطره نقاط داغ این آلاینده می‌باشند. دو هسته سرد نیز به صورت مجزا در منطقه ۹ و ۱۲ شهرداری قرار گرفته اند. هسته سرد (کم غلظت CO) منطقه ۹ مشرف به ارتفاعات غربی شهر است که احتمالاً به دلیل تراکم کمتر جمعیت و خودرو در این گروه قرار گرفته است. البته این استدلال برای منطقه الهیه که هسته سرد دوم در آن واقع شده است را نیز می‌توان عنوان کرد. بر اساس محاسبات انجام شده میانگین غلظت CO در محدوده نقاط سرد ۱/۴۵ ppm است که ۱۵/۶۳ درصد مساحت شهر مشهد (۴۸۵۰ هکتار) را فرا گرفته است. نکته قابل توجه این که نقاط داغ و سرد مشخص شده در نیمه غربی شهر قرار دارند به عبارتی در نیمه شرقی شهر غلظت و توزیع آلاینده CO از تجانس و همگنی بیشتری نسبت به نیمه غربی برخوردار است. از بین ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای مستقر در شهر مشهد، ایستگاه‌های صدف، سجاده، خیام، خیام شمالی در پهنه نقاط داغ و ایستگاه‌های الهیه، سرافرازان، شهرک لشگر، خاقانی و ویلا در محدوده نقاط سرد قرار دارند.



شکل (۶): موقعیت مکانی نقاط داغ و سرد آلاینده CO شهر مشهد براساس شاخص Getis-Ord-G<sub>i</sub> (۱۳۹۳-۱۳۹۹)

براساس آماره‌های نقاط داغ و سرد (جدول ۳) میانگین غلظت CO در هسته‌های داغ ۱/۸۵ ppm است که با ۴۱۲۵ هکتار مساحت ۱۳/۳

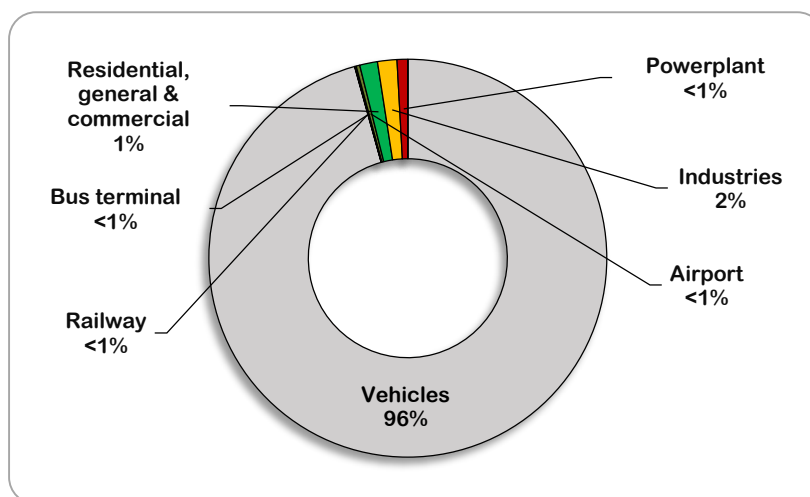
جدول (۳): آماره‌های نقاط داغ و سرد آلاینده CO شهر مشهد (۱۳۹۳-۱۳۹۹)

لکه‌ها	میانگین غلظت (ppm)	انحراف از معیار	P-value	Giz-score	مساحت (هکتار)	درصد از کل مساحت شهر
متوسط نقاط داغ	۱/۸۵	۰/۱۵۵	۰/۰۲۹	۳/۲۷	۴/۱۲۵	۱۳/۲۹
متوسط نقاط سرد	۱/۴۵	۰/۰۷۶	۰/۰۱۴	-۳/۳۲	۴/۸۵۰	۱۵/۶۳



۲۴۵ هزار تن برآورد شده است که از این مقدار ۱۲۷ هزار تن مربوط به انتشار CO است. که سهم بخش منابع متحرک در تولید این آلاینده ۹۶ درصد و سهم منابع ساکن ۴ درصد ذکر شده است (Shahbazi et al., 2019).

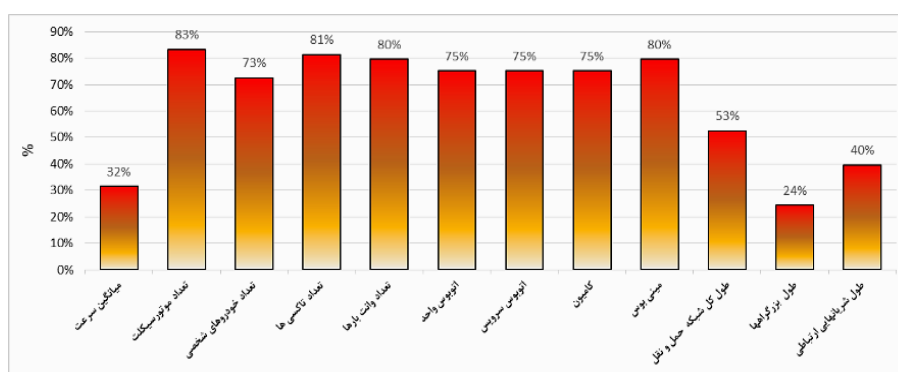
مهم‌ترین منبع انتشار آلاینده CO در محیط‌های شهری منابع متحرک (به خصوص خودروها) است (شکل ۷). براساس نتایج طرح سیاهه انتشار آلودگی هوای شهر مشهد، کل انتشار آلاینده‌های هوای شهر مشهد در سال مبنای محاسبات (۱۳۹۶)



شکل (۷): درصد سهم هر یک از منابع انتشار آلاینده CO شهر مشهد در سال ۱۳۹۶ (Shahbazi et al., 2019)

نقاط داغ ۱۰۴۶۹۰۳ دستگاه و در نقاط سرد ۲۸۷۱۰۳/۵ دستگاه محاسبه شده است این برتری در سایر مولفه‌ها با شدت و ضعف کمتری نیز وجود دارد. در شکل (۸) به طور خلاصه مقدار تفاوت پارامترهای بررسی شده نسبت به نقاط سرد به درصد بیان شده است. بیشترین درصد تفاوت‌ها در تعداد موتورسیکلت‌ها، وانت بارها، تاکسی‌ها و مینی‌بوس‌ها دیده می‌شود از موارد مهم و تاثیرگذار دیگر می‌توان به تفاوت طول شریان‌های اصلی و میانگین سرعت وسایل نقلیه بین این دو محدوده اشاره کرد که به ترتیب ۴۰ و ۳۲ درصد در نقاط داغ بیشتر است. بنابراین، می‌توان دلیل شکل‌گیری و تمرکز بالای نقاط داغ در این مناطق را به تفاوت‌های معنادار بخش حمل و نقل نسبت داد.

در بخش منابع متحرک انتشار CO، خودروهای شخصی با سهم ۶۱/۱ درصد، وانت بارها ۱۶/۷ درصد و موتورسیکلت ۱۱/۶ درصد بیشترین نقش را در انتشار این آلاینده خود اختصاص داده‌اند (Shahbazi et al., 2019). بنابراین با توجه به نقش اصلی بخش حمل و نقل در انتشار این آلاینده در مشهد، تعدادی از مولفه‌های کمی بخش حمل و نقل و منابع سیار انتشار CO در محدوده نقاط داغ و سرد شناسایی شده استخراج و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج مقایسه تطبیقی مولفه‌های مورد مطالعه حاکی از تفاوت‌های چشمگیر و معناداری بین این دو محدوده است. به طوری که مقادیر عددی تمامی آماره‌های مدنظر در نقاط داغ نسبت به نقاط سرد بیشتر است به طور مثال تعداد خودروهای شخصی در محدوده



شکل (۸): تفاوت (به درصد) تعدادی از پارامترهای حمل و نقل در نقاط داغ نسبت به نقاط سرد شناسایی شده

## بحث و نتیجه گیری

وجه تمایز تحقیق حاضر را می‌توان در سه جنبه برشمرد، نخست استفاده از حداکثر تعداد ایستگاه‌های سنجش CO به لحاظ پوشش مکانی و زمانی (دوره ۶ ساله) دوم: ترسیم نقشه میانگین چند ساله پراکنش CO شهر مشهد با بکارگیری ۷۲ نقشه ماهانه و سوم اجرای تحلیل‌های فضایی بر روی نقشه میانگین و واکاوی دلایل شکل‌گیری نقاط داغ. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق میانگین سالانه CO شهر مشهد ppm ۱/۶۵ است. اگر چه این مقدار از سطح استاندارد ملی سالانه کمتر است با این حال در سال‌های اخیر بر مقدار آن افزوده شده است. بر اساس نقشه میانگین شش سالانه، پراکنش CO مشهد غالباً از شبکه حمل و نقل تبعیت می‌کند به طوری که بیشترین غلظت این آلاینده در مناطق مرکزی و پر ترافیک شریان هسته مرکزی مشهد (بلوار وکیل‌آباد، ملک‌آباد، سناباد، پیروزی، قرنی، معلم، سجاد، کلانتری و ...) و کمترین مقدار آن در مناطق شمال غرب و غرب مشهد دیده می‌شود که با یافته‌های مطالعه گلریزیایی و همکاران (Golriz Ziaee et al., 2011) که هسته مرکزی و بلوار خیام را به عنوان آلوده‌ترین نقاط شهر به CO معرفی کردند مطابقت دارد. در گزارش‌های سالانه مرکز پایش آلاینده‌های محیط‌زیستی مشهد مربوط به سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ نیز بالاترین غلظت CO با هسته‌های نقاط داغ شناسایی شده در این مطالعه همخوانی دارد. (Mashhad Environmental Pollution Monitoring Center, 2020, 2018). طبق نتایج تحلیل الگوی توزیع جغرافیایی نقطه میانگین، میانه و عارضه مرکزی این آلاینده منطبق بر همدیگر در منطقه یک شهرداری (هسته پرترافیک شهر) واقع شده است. همچنین جهت (کشیدگی) توزیع این آلاینده به صورت بیضی از شمال غرب به جنوب شرق مشهد است که به نظر می‌رسد منطبق بر جهت توسعه فیزیکی شهر و شبکه اصلی ارتباطی مشهد و همچنین طبیعت از توپوگرافی دشت مشهد است. در مطالعه غلامحسین قوچانی و همکاران (Gholamhossain, 2019). نیز بالاترین غلظت CO شهر مشهد از ایستگاه‌های خیام جنوبی و صدف و الگوی پراکنش این آلاینده نیز در محور شمال غرب به جنوب شرق مشهد معرفی کرده‌اند که با نتایج این تحقیق کاملاً مطابقت دارد. نتایج تحلیل الگوی پراکنش که توسط دو آزمون خوشه بالا/پایین (آماره G عمومی) و توزیع رایلی صورت گرفت نشان داد توزیع آلاینده CO در سطح

شهر از الگوی خوشه‌ای برخوردار است. در نهایت با استفاده از آزمون موران محلی، خوشه‌ها و نقاط داغ این آلاینده شناسایی شد. نتایج این تحلیل دو هسته نقاط داغ مجزا از یکدیگر را نشان داد، هسته اول منطبق بر بلوار وکیل‌آباد و هسته دوم در راستای بلوار خیام شکل گرفته است که هر دو جز شریان‌های پرترافیک شهر هستند. نتایج تحقیق اسماعیلی (Esmaili, 2018) موقعیت نقاط داغ ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون مشهد را در شرق و جنوب شرق مشهد تعیین کرده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت ندارد (البته آلاینده مورد بررسی PM<sub>2.5</sub> و CO در این دو مطالعه متفاوت بوده است) با این حال نقاط سرد شناسایی شده، با نتایج به دست آمده از این مطالعه مطابقت دارد. مجموع مساحت این نقاط ۴۱۲۵ هکتار معادل ۱۳/۳ درصد از کل مساحت شهر و میانگین غلظت CO در آن ppm ۱/۸۵ محاسبه شده است. با توجه به این که منبع اصلی انتشار گاز CO منابع متحرک و به خصوص بخش حمل و نقل است جهت واکاوی دلایل شکل‌گیری هسته‌های داغ تعدادی از مولفه‌های حمل و نقل با آماره‌های نقاط سرد مورد مقایسه تطبیقی قرار گرفت. نتایج حاکی از شرایط کاملاً متفاوت بین دو منطقه است به طوری که در نقاط داغ مجموع طول شبکه حمل و نقل ۵۳ درصد، طول بزرگراه ۲۴ درصد و طول شریان ارتباطی ۴۰ درصد نسبت به نقاط سرد بیشتر است. بر اساس این نتایج سرعت متوسط در نقاط داغ ۴۵ کیلومتر بر ساعت و در نقاط سرد ۳۱ کیلومتر بر ساعت محاسبه شده است. این برتری در تعداد وسایل حمل و نقل موتوری نیز صادق است به طوری که تعداد خودروهای شخصی ۷۳ درصد، موتورسیکلت‌ها ۸۳، تاکسی‌ها ۸۱ درصد، وانت بارها ۸۰ درصد و اتوبوس و کامیون‌ها ۷۵ درصد در نقاط داغ بیشتر است. که این میزان از تفاوت خود گویای دلایل شکل‌گیری نقاط داغ CO است.

## یادداشت‌ها

1. World Health Organization
2. Getis-Orod
3. Improved Prediction Accuracy Index (IAPI)
4. Principal Component Analysis (PCA)
5. Cluster Analysis (CA)
6. Spatiotemporal Regression Model
7. Spatial Stratified Heterogeneity (SSH)
8. Morphological building index (BMI)
9. Kriging model
10. Moran's Index
11. Irandoc

- |                              |                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 12. Arc Map                  | 21. Multi-Distance Spatial Cluster Analysis (Ripley's K Function) |
| 13. Spatial Statistic Tools  | 22. Mapping Clusters                                              |
| 14. Geographic Distribution  | 23. Cluster and Outlier Analysis                                  |
| 15. Central Feature          | 24. Anselin Local Moran                                           |
| 16. Directional Distribution | 25. Hot Spot                                                      |
| 17. Mean Center              | 26. Cold Spot                                                     |
| 18. Median Center            | 27. Geostatistical                                                |
| 19. Analyzing Pattern        | 28. Geographic Information System (GIS)                           |
| 20. High/Low Clustering      | 29. U.S. Environmental Protection Agency(EPA)                     |

### فهرست منابع

- Ahmadi, H. 2014. Prediction and modeling of air pollutants using artificial neural network (Case Study: Mashhad). MSc Thesis. Faculty of Natural Resources, Birjand University (In Persian)
- Akbari, E.; Fakheri, M.; Pourgholamhasan, E. & Akbari, Z. 2015. Monthly Zoning of the Air Pollution and Surveying its Relationship with Climatic Factors (Case Study: Mashhad City). *Journal of Natural Environment*. 4: 533-547 (In Persian)
- Alijani, B. 2015. Spatial Analysis, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. (3):1-14 (In Persian)
- Ana, G. R. & Ogunseye, O. O. 2015. Spatio-Temporal Variations in Carbon Monoxide and Carbon Dioxide Levels in Three Motor Parks in Ibadan, Nigeria. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. 3(6): 411-419
- Asgari, A. 2012. Spatial statistics analysis with ArcGIS, Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization. Tehran (In Persian)
- Bahri, A. & Khosravi, Y. 2018. Application of ArcGIS Spatial Statistical Tools in Environmental Sciences. *Geospatial Engineering Journal*. 9(3); 39-50 (In Persian)
- Burnett, R.T.; Cakmak, S.; Raizenne, M.E.; Stieb, D.; Vincent, R.; Krewski, D.; Brook, JR.; Philips, O. & Ozkaynak, H. 2011. The association between ambient carbon monoxide levels and daily mortality in Toronto, Canada. *J Air Waste manag Assoc*. 27. 48:689-700
- Charmzan M., Esmaili R., Mohammadi M. 2018, Evaluation of the best interpolation algorithm in spatial distribution of air pollutants, First National Conference on Modern Studies and Research in Environmental and Management Sciences, Motahar Institute of Higher Education, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Chel Jung, M.; Park, J. & Kim, S. 2019. Spatial Relationships between Urban Structures and Air Pollution in Korea. *Sustainability*. 11. 476. 1-17
- Chen, T.; He, J.; Lu, X.W.; She, J. & Guan, Z. 2016. Spatial and Temporal Variations of PM<sub>2.5</sub> and Its Relation to Meteorological Factors in the Urban Area of Nanjing, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 13. 921 [CrossRef].
- Dehghan, M. 2019. Monitoring of air quality parameters in Mashhad using artificial neural network. MSc Thesis. Faculty of Civil Engineering. Shahrood University of Technology (In Persian)
- Ding, L.; Chen, K.L.; Liu, T.; Cheng, S.G. & Wang, X. 2015. Spatial-Temporal Hotspot Pattern Analysis of Provincial Environmental Pollution Incidents and Related Regional Sustainable Management in China in the Period 1995–2012. *Sustainability*. 7;14385-14407
- Entezari, A. 2010. Statistical and synoptic study of air pollution in Mashhad. MSc Thesis. Faculty of Geography. Teacher Training University (In Persian)
- Esmaili, R. 2018. Determination of pollution's homogenous areas in mashhad. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 7(16); 227-240 (In Persian)
- Esmaili, R. 2013. Application of Cluster Analysis in Grouping of Air Pollution Measuring Stations Case Study: Mashhad City. Second National Conference on Air and Sound Pollution Management. Sharif University of Technology. Tehran (In Persian)
- Fischer, M.M. & Getis, A. 2010. *Handbook of Applied Spatial Analysis*. Springer. Verlag Berlin Heidelberg



- Gemmer, M.; Becker S. & Jiang T. 2004. Observed monthly precipitation trends in China 1951–2002. *Theor Appl Climatol.* 77(1):39-45
- Gholamhossein Ghouchani, S.; Hoshdar Tehrani, Sh. & Esmaili ,R. 2019. Spatial study of carbon monoxide pollutants in mashhad using interpolation mothed in 1396. *Research in Environmental Health.* 5(1): 53-64 (In Persian)
- Golriz Ziaee, Z.; sadeghi Hesar, Z.; Moatamedi, M. & Rajabi, M.J. 2011. Prediction, evaluation and mapping of air pollution in Mashhad: a case study of carbon monoxide. *The first conference on urban economics in Iran, Mashhad* (in Persian)
- Habibi, R.; Alesheikh A.A.; Mohammadian A. & Sharif M. 2017. An Assessment of Spatial Pattern Characterization of Air Pollution: A Case Study of CO and PM<sub>2.5</sub> in Tehran. *Iran. International Journal of Geo-Information.* 7. 270: 2-14.
- He, J.Q.; Yu, X.N.; Zhu, B.; Yuan, L.; Ma, J.; Shen, L. & Zhu, J. 2016. Characteristics of aerosol extinction and low visibility in haze weather in winter of Nanjing. *China Environ. Sci.* 36: 1645–1653
- Hosseinzadeh, S.R.; Doostan, R.; Haghghat Ziaberi, S. M. & Haghghat Ziaberi, S. M. 2013. Investigation of synoptic patterns affecting air pollution in Mashhad metropolis. *Journal of Geography and Regional Development.* 21: 81-101 (In Persian)
- Joulaei, F.; Peiravi, R.; Esmaili, H.; Ketabi, D. & Motealemi, A. 2017. Variations of Carbon Monoxide and Particulate Matter Concentration in Mashhad. Iran. during 2016. *Jouranl of Health Research in Community.* 3(3): 34-45 (In Persian)
- Kavousi, A.; Sefidkar, R., ;Alavimajd, H.; Rashidi, Y.; Imanzad, M. & Nourmoradi, H. 2013. Spatial Analysis of Air Pollution in Tehran City by Using of Autologistic and Centered Autologistic Models and Indicator Kriging Method. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences.* 21(7):206-214 (In Persian)
- Kermani, M.; Aghaee, M., Bahramiasl, F.; Karimzade, S.; Fallah Jokandan, S. & Dolati, M. 2016. Estimation of mortality attributed to PM<sub>2.5</sub> and CO exposure in eight industrialized cities of Iran during 2011. *Iran Occupational Health.* 13(4): 49-61 (In Persian)
- Li, F.; Liu, Y.; Lü, J.J.; Liang, L. & Harmer, P. 2015. Ambient air pollution in China poses a multifaceted health threat to outdoor physical activity. *J. Epidemiol. Community Health.* 69: 201–204
- Liu, W.; Xu, Z. & Yang, T. 2018. Health effects of air pollution in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 15. 1471: 1-15.
- Mashhad Environmental Pollution Monitoring Center, Extensive Report on Environmental Pollutants of Mashhad in 2020. [WWW.epmc.mashhad.ir](http://WWW.epmc.mashhad.ir) (in Persian)
- Mashhad Environmental Pollution Monitoring Center, Extensive Report on Environmental Pollutants of Mashhad in 2018. [WWW.epmc.mashhad.ir](http://WWW.epmc.mashhad.ir) (in Persian)
- Miri, M.; Ghaneian, M.T., Gholizade, A.M., Yazdani, M. & Nikonahad, A. 2015. Analysis and zoning of air pollution in Mashhad using different models of spatial analysis. *Journal of Environmental Health Engineering.* 3(2): 143-154 (In Persian)
- Najafpoor, A.A.; Joneidi Jafari, A. & Dousti, S. 2015. Trend analysis of Air Quality Index criteria pollutants (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub>) concentration changes in Tehran metropolis and its relationship with meteorological data, 2001-2009. *Journal of Health in the Field.* 3(2): 17-26 (In Persian)
- Nanda, Ch.; Kant, Y.; Gupta, A. & Mitra, D. 2018. Spatio-temporal distribution of pollutant trace gases during Diwali over India. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* Volume IV-5.
- Noori, S. & Mohammadi, A. 2019. The Analysis of Spatial Distribution Pattern of Ardabil Province Industries by Using Spatial Statistics in GIS Environment. *Geographical Researches.* 34 (1): 97-108
- Nunez-Alonso, D.; Vicente Perez-Arribas, L.; Manzoor, S. & O.Caceres, J. 2019. Statistical Tools for Air Pollution Assessment: Multivariate and Spatial Analysis Studies in the Madrid Degion. *Journal of Analytical in Chemistry:* 1-9.

- Rahnama, M.R.; Khakpour, B. A. & Abbaszadeh, G. 2015. Investigating the Impact of the Law On Definitions of Area and Privacy on the Future Physical-Spatial Structure of Cities (Case Study: Mashhad). *Journal of Urban Management*. 40: 365-382 (In Persian)
- Shahbazi, H.; Salavati, H.; Mostafazade, A.; Alizade, H.; Zakaee, H.R.; Zandvi, R.; Ebrahimira, V.; Yaziji, D.; Hoseini, M. & Hoseini, V. 2019. Emission inventory of Mashhad City base year of 2017. Technical Report Fuel, Combustion and Pollution Center. NO. EI/MSH/01/01 (In Persian)
- Sharipour, Z. & AkbariBidokhti, A. 2015. Investigation of spatial and temporal distribution of air pollutants over Tehran in cold months of 2011-2013. *Journal of Environmental Science and Technology*. 16 (1): 149-166 (In Persian)
- Soltani GerdFaramarzi, T.; Gandomkar, A.; Hooshmand, A. & Mofidi, A. 2017. Synoptic analysis of air pollution in Mashhad. Sixth National Conference on Air and Noise Pollution Management. Tehran (In Persian)
- Statistics Center of Iran. 2017, National Statistical Yearbook 1395, First Edition. (In Persian)
- Tian, Y.; Yao, X. & Chen, L. 2019. Analysis of spatial and seasonal distributions of air pollutants by Incorporating urban morphological characteristics. *Computers, Environment and Urban Systems*. 75: 35-48
- US EPA. 2014. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS):1-2 <http://epa.gov/air/criteria.html>.
- Wang, Y.; Duan, X. & Wang, L. 2019. Spatial-Temporal Evolution of PM<sub>2.5</sub> Concentration and its Socioeconomic Influence Factors in Chinese Cities in 2014–2017. *Int. J. Environ. Res. and Public Health*. 16. 985: 1-18
- World Health Organization (WHO). 2016. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease: 1-130.
- Zhan, D.S.; Kwan, M.P.; Zhang, W.Z.; Yu, X.; Meng, B. & Liu, Q. 2018. The driving factors of air quality index in China. *J. Cleaner Production*. 197: 1342–1351.
- <https://ganj.irandoc.ac.ir>