

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

صفحات: ۲۴۰ - ۲۲۷

## نواحی همگن آلودگی هوای شهر مشهد

رضا اسماعیلی<sup>۱\*</sup>

### چکیده

آلودگی هوا تنها یک عامل تهدید کننده سلامت نیست، بلکه یک عامل عقب کشاندن کشورها است. آلودگی هوا با افزایش میزان مرگ و میر و بروز بیماری‌های متعدد منجر به کاهش کیفیت زندگی خواهد شد. در نتیجه آلودگی هوا کاهش نیروی کار، سطح درآمد، بازدهی و اقتصاد را در این کشورها کاهش می‌دهد. در تحقیق حاضر توزیع فضایی غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون به عنوان آلاینده اصلی شهر مشهد با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ۲۴ نقشه ماهانه مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ برای سطح شهر مشهد تهیه گردید. نقاط گره‌گاهی این نقشه‌ها با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استخراج و در ماتریسی با آرایش T تنظیم گردید. سپس جهت تعیین نواحی همگن یک تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد (WARD) بر روی ماتریس داده‌ها صورت گرفت. نتایج بدست آمده سه ناحیه مجزا از یکدیگر را برای سطح مشهد نشان می‌دهد. ناحیه اول که نواحی شمال غرب شهر مشهد را در بر گرفته است کمترین بار آلودگی هوا را داراست. این ناحیه ۱۸/۲ درصد مساحت شهر مشهد را شامل می‌شود. ناحیه دوم که ۵۶/۵ درصد مساحت شهر را در بر گرفته است نواحی مرکزی شهر را شامل می‌شود؛ و سومین ناحیه تعیین شده که آلوده‌ترین منطقه شهر مشهد می‌باشد مناطق شرقی شهر مشهد را در بر گرفته است این ناحیه ۲۵/۳ درصد از مساحت شهر مشهد را شامل می‌شود. متوسط غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون در این ناحیه ۳۲/۴ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد که در بین نواحی تعیین شده بالاترین است.

واژگان کلیدی: آلودگی هوای مشهد، ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون، تحلیل خوشه‌ای، نواحی همگن.

<sup>۱</sup> - دکتری اقلیم‌شناسی، مدیر اجرایی مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد، معاونت خدمات و محیط زیست شهری شهرداری مشهد (نویسنده مسئول)

Esmaili-r@mashhad.ir

## مقدمه

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی سالانه ۵/۵ میلیون مورد مرگ و میر زودرس ناشی از آلودگی هوا رخ می دهد که این میزان معادل یک مورد از هر ۱۰ مرگ و میر در جهان است. بر اساس این گزارش، آلودگی هوا پس از سیگار، رژیم غذایی و چاقی چهارمین علت مرگ و میر زودرس در جهان است (سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶). آلودگی هوا عوارض اقتصادی سهمگینی برای کشورهای در حال توسعه به همراه دارد و سالانه بیش از ۵ تریلیون دلار هزینه در سطح جهانی صرف تعطیلی روزهای کاری در اثر آلودگی هوا و هزینه های پیشگیری از مرگ و میر زودرس می شود. مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا و تبعات آن در ایران در دو دهه گذشته از رقم ۱۷ هزار نفر در سال ۱۹۹۰ به بیش از ۲۱ هزار نفر در سال ۲۰۱۳ رسیده است. تبعات اقتصادی این معضل نیز هر سال ۲۳ میلیارد دلار (بانک جهانی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶) معادل ۸۰ هزار میلیارد تومان به کشور خسارت وارد می کند.

در میان آلاینده های اصلی هوا ذرات معلق از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند. این ذرات دارای اندازه هایی متفاوت بین ۰/۰۰۰۰۰۲ تا ۵۰۰ میکرون می باشند (بوبل<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳) که در این میان ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون دارای اثرات بهداشتی و سلامتی چشمگیری هستند چرا که این ذرات قابلیت راه یابی به سیستم تنفسی بدن انسان را دارا می باشند (میری و همکاران، ۱۳۹۴). در همین ارتباط کولیمیجر<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی فضایی و زمانی تغییرات ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون (PM) و قطر نوری ذرات<sup>۵</sup> (AOT) در سطح اروپا پرداختند، نتایج حاکی از آن بود که تغییرات AOT و PM در فصول مختلف به طور مشخصی متفاوت است. در اکثر مناطق اروپا، میزان AOT اندازه گیری شده در فصل زمستان کمترین میزان خود را دارد. در حالی که تغییرات فصلی PM در سراسر اروپا و همچنین در مناطق دارای تغییرات فصلی آشکار، بسیار کمتر از AOT بود. کئورول<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تغییرات فضایی و زمانی ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ و ۱۰ میکرون (PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub>) موجود در هوا در کشور اسپانیا پرداختند. میانگین غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون و ترکیبات شیمیایی در اسپانیا تغییرات قابل توجهی در سراسر کشور نشان می دهد، به طوری که سطح ذرات با قطر ۱۰ میکرومتر در نواحی مهم ترافیکی و صنعتی، بیشتر از محدوده ای آلودگی گزارش شده است.

در زمینه استفاده از روشهای نوین آماری در بحث آلودگی هوا ساکسنا<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی الگوهای مکانی تغییر آلودگی هوا در دهلی نو با روش تحلیل خوشه ای پرداختند و نتیجه گرفتند که رابطه آماری معناداری بین غلظت آلاینده ها و نوع ایستگاه وجود ندارد و به همین خاطر توصیه کردند در دهلی از یک استاندارد یکنواخت در

- 
- 1- world health organization
  - 2- world bank
  - 3- Boubel
  - 4- Koelmeijer
  - 5- Aerosol Optical Thickness
  - 6- Querol
  - 7- Saksena

تمامی نقاط استفاده شود. اوجدا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) با الگوی الگوریتم خوشه‌بندی کاربردی PFCM به بررسی آلودگی هوا در شهر سالامانکای مکزیک پرداختند. در تحقیق دیگری از این محققان (اوجدا و همکاران، ۲۰۱۱) با به کارگیری الگوریتم خوشه‌بندی فازی و احتمالاتی به بررسی آلودگی هوای مکزیک پرداختند.

در تحقیق دیگر با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به بررسی آلودگی هوا در شهر بانگوک تایلند پرداخته شد. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) آلودگی هوا در این منطقه مورد پهنه‌بندی قرار گرفت (پراپاسورنپیتایا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). سایتان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی آلودگی هوا و متغیرهای هواشناسی، آلودگی هوا را در منطقه‌ای صنعتی در شرق تایلند مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که متغیرهای هواشناسی را در چهار گروه مجزا قابل تفکیک می‌باشند. خوشه اول متغیرهای کیفی هوا، خوشه دوم فشار هوا خوشه سوم درجه حرارت تابش آفتاب و سرعت باد و خوشه چهارم باران، رطوبت نسبی و جهت باد. همچنین روزهایی با غلظت بالای ازن سطح زمین می‌تواند از لحاظ بازه زمانی در سه گروه مجزا قرار گیرد خوشه اول ظهر و بعد از ظهر خوشه دوم بازه زمانی غروب خورشید و خوشه‌بندی بازه زمانی شب قابل تفکیک است.

به منظور کاهش هزینه‌ها و مدیریت بهتر ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا در منطقه کانتو ژاپن، لیزوکا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۴) تحلیل خوشه‌ای را بر روی داده‌های آلودگی هوا انجام دادند، آنها دریافتند که آلاینده‌های NOX و O3 را می‌توان در هشت خوشه قرار داد که هر یک از خوشه‌ها از لحاظ ویژگی‌های مکانی و رفتار زمانی دارای همگنی درون گروهی هستند.

در همین ارتباط حسین زاده و همکاران (۱۳۸۹) با هدف شناسایی الگوهای جوی موثر بر آلودگی هوای شهر مشهد دوره آماری ۱۳۸۶-۱۳۸۹ را بررسی کردند و برای این منظور دو آلاینده مونواکسید کربن (CO) و مواد معلق (PM<sub>10</sub>) در نیمه سرد سال، داده‌های روزانه فشار سطح دریا<sup>۵</sup> (SLP) و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال را ارزیابی نمودند و در نهایت از روش‌های چند متغیره، تحلیل مولفه اصلی<sup>۶</sup> (PCA) و خوشه‌بندی روزهای شناسایی شده را در پنج گروه جای دادند و برای هر گروه، نقشه‌های مرکب از داده‌های سطح متوسط دریا (SLP) و ۵۰۰ هکتوپاسکال تهیه و تفسیر همدید گردید.

در تحقیقی دیگر حجازی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی مودیس به اندازه‌گیری ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون (PM<sub>2.5</sub>) در هوای شهر تهران پرداختند تا نقشه‌ی توزیع مکانی ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون را در شهر تهران برآورد کنند.

1- Ojeda

2- Prapassornpitaya

3- Saithan

4- Iizuka

5- Sea level pressure

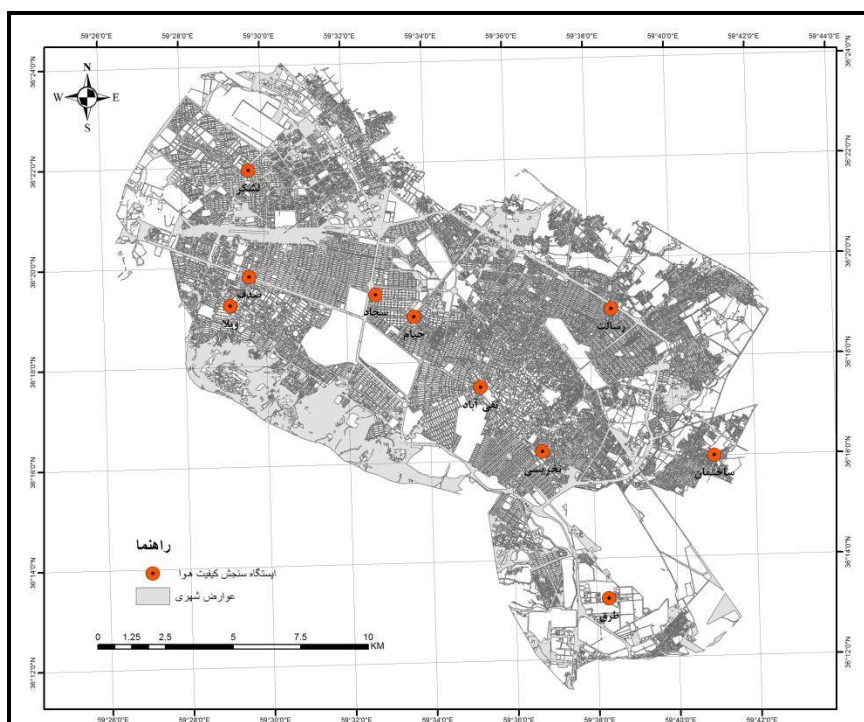
6- Principle component analysis

محو و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات ذرات معلق در هوای شهر تبریز و ارزیابی اثرات بهداشتی متناسب به این آلاینده را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیقی دیگر یونسین و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات غلظت ذرات معلق ۱۰ و ۲.۵ و ۱ میکرون را در هوای شهر تهران در زمان وقوع پدیده ریزگردها مورد بررسی قرار دادند. حاتمی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش خوشه‌بندی الگوهای همدید روزهای آلوده به ذرات معلق شهر شیراز را مورد بررسی قرار دادند آنها دریافتند که یک سامانه پرفشار در تراز دریا با ریزش هوای سرد به همراهی یک سامانه واچرخندی (پر ارتفاع) در تراز ۸۵۰ با حاکمیت جو فشارورد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دوره سرد عوامل اصلی الگوهای همدید روزهای آلوده به ذرات معلق می‌باشد. میری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به تحلیل و پهنه‌بندی آلودگی هوای مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی پرداختند. اگر چه کاربرد روش‌های آماری چند متغیره در مطالعات محیطی به خصوص اقلیمی مسبوق به سابقه است و تحقیقاتی در زمینه پهنه‌بندی اقلیمی ایران (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸) (مسعودیان، ۱۳۸۲) تعیین نواحی بارشی (مسعودیان، ۱۳۸۸) و دمایی ایران (منتظری، ۱۳۹۰) انجام شده است اما کاربرد این روش آماری در مطالعات آلودگی هوای شهرها بسیار محدود می‌باشد در همین ارتباط اسماعیلی (۱۳۹۲) در تحقیقی با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی، ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوای مشهد را از لحاظ دو آلاینده  $PM_{2.5}$  و CO مورد بررسی قرار داد. هدف از این مقاله استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای در تعیین نواحی همگن ذرات معلق کوچکتر از  $2/5$  میکرون به عنوان آلاینده اصلی هوای شهر مشهد می‌باشد. نتایج حاصل می‌تواند در بحث مدیریت آلودگی هوا به خصوص برنامه ریزی جهت مدیریت کنترل و کاهش آلودگی هوا مورد استفاده برنامه ریزان و تصمیم گیران شهری قرار گیرد.

### داده‌ها و روش‌ها

شهر مشهد با جمعیتی بالغ سه میلیون نفر و مساحت ۳۲۸ کیلومتر مربع دومین کلان شهر ایران می‌باشد؛ که وجود بارگاه ثامن الحجج و آثار تاریخی و فرهنگی فراوان هر ساله باعث می‌شود ۲۰ الی ۳۰ میلیون نفر زائر و گردشگر این شهر را جهت مقصد سفر برگزینند. بدلیل تراکم بالای جمعیتی و توسعه فیزیکی سریع شهر، آلودگی هوا به یکی از معضلات اصلی زیست محیطی این شهر تبدیل شده است. بر اساس گزارشات مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد در سال ۱۳۹۴ تنها ۴۲ روز هوای شهر مشهد در وضعیت پاک و مطلوب قرار داشته است. در تحقیق حاضر جهت شناخت علمی و دقیق وضعیت کیفیت هوا از آمار ۱۰ ایستگاه سنجش کیفیت هوا که در سطح شهر مستقراند استفاده شده است. بدین منظور داده‌های ذرات معلق کوچکتر از  $2/5$  میکرون ( $pm_{2.5}$ ) که آلاینده اصلی شهر مشهد می‌باشد برای ایستگاه‌های مورد مطالعه که در شکل یک موقعیت و توزیع آنها در سطح شهر نشان داده شده است از تاریخ ۱۳۹۳/۱/۱ الی ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ از مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد جمع‌آوری شد. همچنین داده-

های توزیع فضایی تراکم تعداد خودروها، مدل دیجیتالی ارتفاع<sup>۱</sup>، توزیع فضایی تراکم جمعیت شهر مشهد از سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری مشهد اخذ گردید.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه های سنجش کیفیت هوا در سطح شهر مشهد

داده های جمع آوری شده از ایستگاه های مورد مطالعه جهت ترسیم نقشه به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ( Arc gis10.3) منتقل گردید. سپس با استفاده از تکنیک میانابایی برای هر ماه یک نقشه پهنه بندی غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون ترسیم گردید. عبارتی ۲۴ نقشه توزیع فضایی ذرات معلق ترسیم گردید. سپس با استفاده از تابع ArcToolbox اکستنشن Spatial Analyst Tools نقاط گرهگاهی این نقشه ها در فواصل ۲۰۰ متر استخراج و به محیط نرم افزار اکسل انتقال داده شد.

چگونگی آرایش داده ها در بدست آمدن ترکیب زمانی یا مکانی داده ها بسیار حائز اهمیت است. به طوری که در اعمال تحلیل خوشه ای بر روی ماتریس داده ها با آرایش T (مکان بر روی سطرها و زمان بر روی ستون ها) منجر به تفکیک مکانی شده لیکن در آرایش S که زمان ها بر روی سطرها و مکان ها بر روی ستون ها است تفکیک زمانی حاصل می گردد (منتظری، ۱۳۹۰). با توجه به هدف این تحقیق که تعیین نواحی همگن و تحلیل مکانی می باشد ماتریس داده ها

1- Digital Elevation Model

به حالت T آرایش داده شد (جدول ۱) و جهت انجام تحلیل خوشه‌بندی به محیط نرم افزار XL STAT 2015.1 منتقل گردید.

جدول ۱: الگوی ماتریس آرایش داده‌ها جهت تحلیل خوشه‌ای

نقشه ماه ۲۴	..	..	..	نقشه ماه دوم	نقشه ماه اول	سلول
						۱
						۲
						۳
						..
						..
						..
						..
						۸۱۵۸

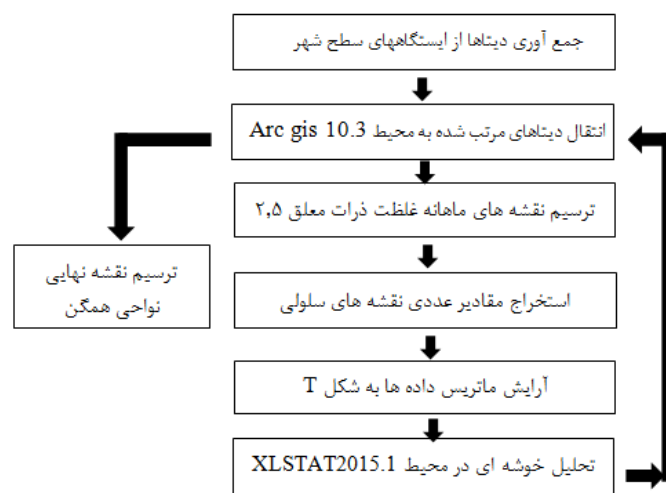
اعمال تحلیل خوشه‌ای در دو مرحله اساسی صورت می‌پذیرد: مرحله اول محاسبه درجه همانندی اعضا با یکدیگر و مرحله دوم چگونگی ادغام اعضا برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر است. بسته به روشی که برای محاسبه درجه همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می‌کنیم، یک تحلیل خوشه‌ای را می‌توان به شیوه‌های گوناگونی اجرا کرد. برای محاسبه درجه همانندی روشهای مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آنها فاصله اقلیدسی است. اگر  $X_i$  بردار مشاهدات بر روی  $X_S$  و  $I$  بردار مشاهدات بر روی  $S$  باشد، در این صورت فواصل یاد شده در بالامطابق معادله ۱ به صورت زیر محاسبه می‌شوند (مومنی، ۱۳۹۰):

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)' \quad (1)$$

در مطالعات محیطی غالباً برای محاسبه درجه همانندی از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود. پس از اندازه‌گیری درجه همانندی باید شیوه‌ای برای ادغام مقادیری که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند، به کار برد. در مطالعه حاضر از روش ادغام وارد<sup>۱</sup> استفاده شده است، زیرا در این صورت میزان واریانس درون گروهی به حداقل و در صورتی  $s$  و  $r$  همگنی گروه‌های حاصله به حداکثر می‌رسد. در روش وارد گروه‌هایی ادغام می‌شوند که افزایش واریانس ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هر یک از آنها با دیگر گروه‌ها حداقل باشد (معادله ۲):

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (2)$$

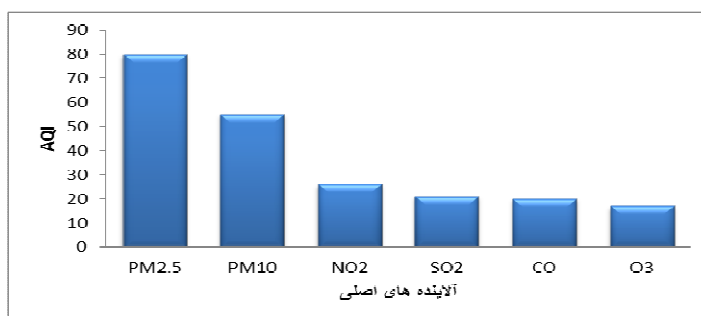
در اینجا  $d_{rs}^2$  فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است که به روش پیوند وارد به دست آمده باشد (مسعودیان، ۱۳۸۴). پس از اینکه داده‌ها برحسب فاصله‌شان در هم ادغام شدند، گروه‌بندی می‌شوند. سپس گروه‌های حاصل مجدداً به محیط Arcgis منتقل گردید و در نهایت به شکل نقشه نهایی نمایش داده شد (شکل ۲).



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام تحقیق

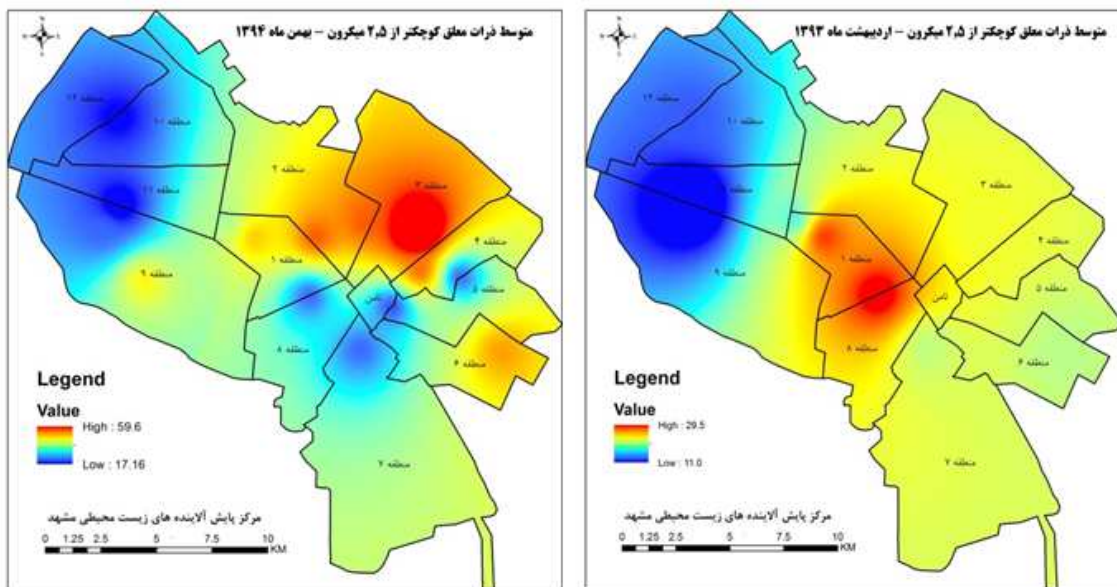
## نتایج و بحث

آمار و ارقام غلظت آلاینده‌های اصلی ذرات معلق ۱۰ و ۲/۵ میکرون، منواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید گوگرد و ازن به صورت لحظه‌ای در ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا ثبت می‌شود. هر کدام از این آلاینده‌ها در واحد مختلفی بیان می‌شوند بنابراین تبدیل به شاخص کیفیت هوا AQI می‌گردد که بدون بعد بوده و قابل فهم‌تر می‌باشد. شاخص کیفیت هوا برای هر یک از آلاینده‌های اصلی در هر ایستگاه محاسبه می‌گردد و بالاترین AQI که مربوط به هر آلاینده باشد به عنوان آلاینده اصلی و مسئول در هر ایستگاه و سپس در سطح ایستگاه‌های مختلف در سطح شهر معرفی می‌گردد. مطابق گزارشات مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد، آلاینده مسئول و اصلی شهر مشهد در سال‌های مورد مطالعه، ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون بوده است (مرکز پایش آلاینده‌های زیست محیطی مشهد، ۱۳۹۴) که به همین دلیل این آلاینده جهت بررسی و تحلیل در این تحقیق انتخاب شده است. مطابق شکل ۳ که برای آلاینده‌های هوا در سال ۱۳۹۴ شهر مشهد ترسیم شده است آلاینده‌ای که بالاترین شاخص کیفیت هوا را در طول سال داراست، ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون و بعد از آن ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون بوده است.



شکل ۳: آلاینده های اصلی شهر مشهد در سال ۱۳۹۴ (مرکز پایش آلاینده های زیست محیطی مشهد، ۱۳۹۴)

جهت دستیابی به نقشه نواحی همگن زیست اقلیمی شهر مشهد نقشه‌های ماهانه کیفیت هوا ترسیم گردید در شکل ۴ دو نمونه نقشه مربوط به نیمه اول (اردیبهشت) سال ۱۳۹۳ و نیمه دوم (بهمن ماه) ۱۳۹۴ انتخاب شده‌اند همانطور که در نقشه اردیبهشت ماه دیده می‌شود کمترین غلظت ذرات معلق کوچکتر از  $2/5$  میکرون در شمال غرب شهر مشهد قرار دارد این مناطق منطقه پایکوهی و مرتفع شهر محسوب می‌شود و از تراکم کمتر جمعیت و تردد وسایل نقلیه برخوردار است این الگو در نیمه دوم سال نیز دیده می‌شود اما بالاترین بار غلظت ذرات معلق در نقشه اردیبهشت ماه در هسته مرکزی شهر دیده می‌شود که دارای بار ترفیکی بالاست اما در نقشه بهمن‌ماه این هسته در ایستگاه‌های شرقی شهر ثبت شده است. ماحصل فراینده ترسیم شده در شکل ۲، نقشه پهنه‌بندی آلودگی هوا از منظر ذرات معلق کوچکتر از  $2/5$  میکرون می‌باشد که هر یک از مناطق شناسایی شده یک پهنه مجزا را تشکیل می‌دهد؛ و در هر پهنه شباهت درون گروهی حداکثر و شباهت بین گروهی حداقل می‌باشد. شکل ۵ نواحی همگن آلودگی هوای شهر مشهد را نشان می‌دهد؛ که ۸۱۵۲ پیکسل سطح شهر مشهد در سه دسته گروه‌بندی شده است.

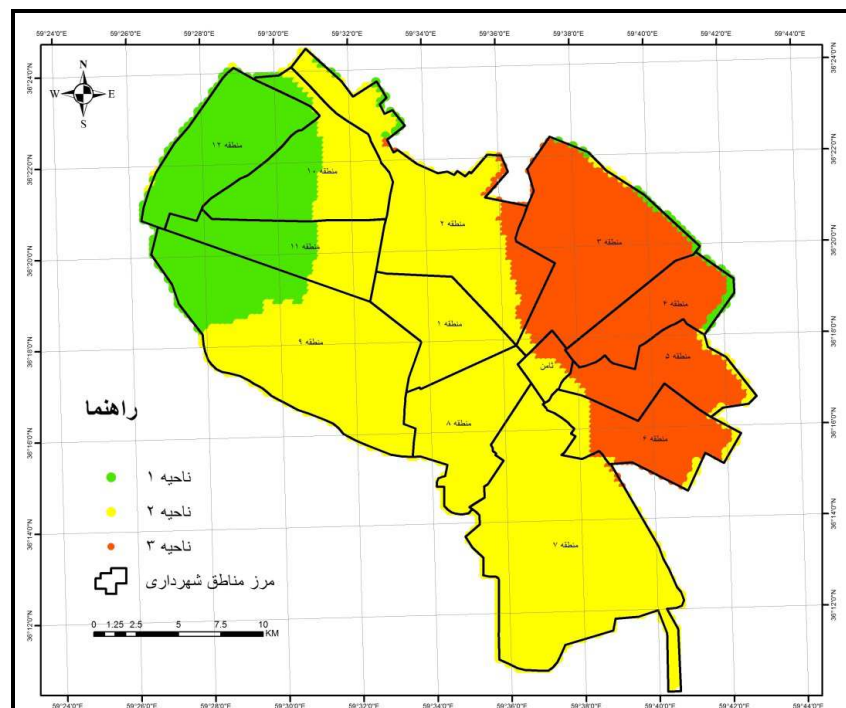


شکل ۴: نقشه توزیع فضایی غلظت ذرات معلق کوچکتر از  $2/5$  میکرون در اردیبهشت ۱۳۹۳ (سمت راست) و بهمن ۱۳۹۴ (سمت چپ)

ناحیه اول با ۱۴۸۴ پیکسل  $18/2$  درصد مساحت شهر مشهد را در بر گرفته است و در شکل ۵ با رنگ سبز نشان داده شده است. این منطقه بهترین کیفیت هوای شهر مشهد را داراست و متوسط غلظت ذرات معلق در این ناحیه  $20/8$  میکروگرم در متر مکعب می‌باشد. این ناحیه کل منطقه ۱۲ و قسمتهایی از مناطق ۹، ۱۰ و ۱۱ شهرداری را در بر گرفته است. شاید بتوان دلیل این مساله را تراکم کمتر وسایل نقلیه و جمعیت در این منطقه دانست علاوه بر اینکه این ناحیه به مناطق بیلاقی طرقله و شاندریز که ریه‌های شهر مشهد محسوب می‌شوند نزدیک می‌باشد. ناحیه دوم شناسایی شده قسمت اعظم شهر را در بر گرفته است مساحت این ناحیه مطابق جدول (۲)  $56/5$  درصد می‌باشد. متوسط غلظت ذرات معلق برای این ناحیه  $27/9$  میکروگرم در متر مکعب می‌باشد حداکثر غلظت ذرات معلق



در این ناحیه به ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب نیز می‌رسد. بیشترین انحراف معیار و واریانس داده‌ها در این ناحیه محاسبه شده است. مطابق شکل ۵ مناطق ۱، ۲، ۷، ۸ و قسمت‌هایی از مناطق ۹، ۱۰، ۱۱ و ثامن شهرداری مشهد در این ناحیه قرار گرفته‌اند.



شکل ۵: نواحی همگن آلودگی هوای مشهد (از نظر ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون)

اما سومین ناحیه تعیین شده که بیشترین بار غلظت ذرات معلق را داراست و به عبارتی آلوده‌ترین منطقه شهر مشهد می‌باشد مناطق شرقی شهر مشهد می‌باشد و در نقشه با رنگ نارنجی نشان داده شده است و ۲۵/۳ درصد از مساحت شهر مشهد را در بر گرفته است. متوسط غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون در این ناحیه ۳۲/۴ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد که در بین نواحی تعیین شده بالاترین است. مقادیر حداکثر ذرات مورد مطالعه نیز در این ناحیه از همه بیشتر می‌باشد مقادیر پایین انحراف معیار و واریانس داده‌ها در این ناحیه حاکی از سطح متجانس ذرات معلق در آن می‌باشد (جدول ۲).

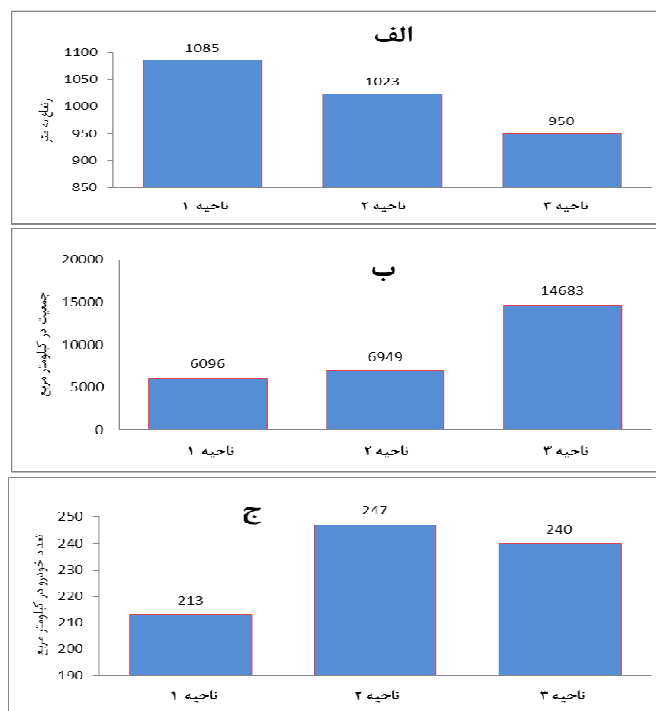
جدول ۲: مقادیر عددی استخراج شده توسط GIS برای هر یک از نواحی همگن شناسایی شده

ناحیه	تعداد سلول	درصد مساحت	میانگین pm2.5	حداکثر pm2.5	حداقل pm2.5	انحراف معیار	واریانس
۱	۱۴۸۴	۱۸/۲	۲۰/۸۹	۳۲/۱	۱۷	۱/۸۳	۳/۳
۲	۴۶۱۰	۵۶/۵	۲۷/۹	۳۵	۲۱/۴	۲/۶۸	۷/۱۷
۳	۲۰۶۳	۲۵/۳	۳۲/۴	۳۵/۸	۲۵/۲	۱/۱۸	۱/۳۹

در واکاوی علل نواحی همگن شناسایی شده و با در نظر گرفتن داده‌های موجود و قابل دسترس گستره شهر مشهد از منظر ارتفاع، بار ترافیکی و تراکم جمعیت مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۷ (الف) نقشه DEM شهر مشهد

نشان داده شده است. طبق محاسبات انجام شده بر روی این نقشه مقدار متوسط ارتفاع مشهد ۱۰۱۸ متر از سطح دریا است که بلندترین نقطه آن با ارتفاع ۱۳۳۶ متر در غرب شهر مشهد و پست‌ترین نقطه در نواحی شرقی با ارتفاع ۹۱۳ متر قرار دارد. با توجه به این نقشه ناحیه ۳ شناسایی شده که دارای بالاترین بار آلودگی هوا است منطبق بر ناحیه کم ارتفاع شرق مشهد می‌باشد که ارتفاع متوسط آن مطابق شکل ۶(الف)، ۹۵۰ متر می‌باشد.

ارتفاع ناحیه دوم ۱۰۲۳ و در ناحیه سوم به ۱۰۸۵ متر می‌رسد بنظر می‌رسد شیب ارتفاعی از غرب به شرق موجود باعث انباشت آلاینده‌ها به خصوص تاثیر نیروی ثقل بر ذرات معلق و انباشت آنها در منطقه کم ارتفاع شهر مشهد می‌گردد. دومین فاکتور بررسی شده تراکم جمعیت می‌باشد مطابق شکل ۷ (ب) هسته پر تراکم شهر مشهد نیز در منطقه شرق و جنوب شرق شهر مشهد واقع شده است که دقیقاً منطبق بر ناحیه سه شناسایی شده با بار آلودگی زیاد می‌باشد مسلماً افزایش جمعیت باعث افزایش میزان مصرف انرژی و تولید آلاینده‌ها به خصوص آلودگی هوا می‌گردد.

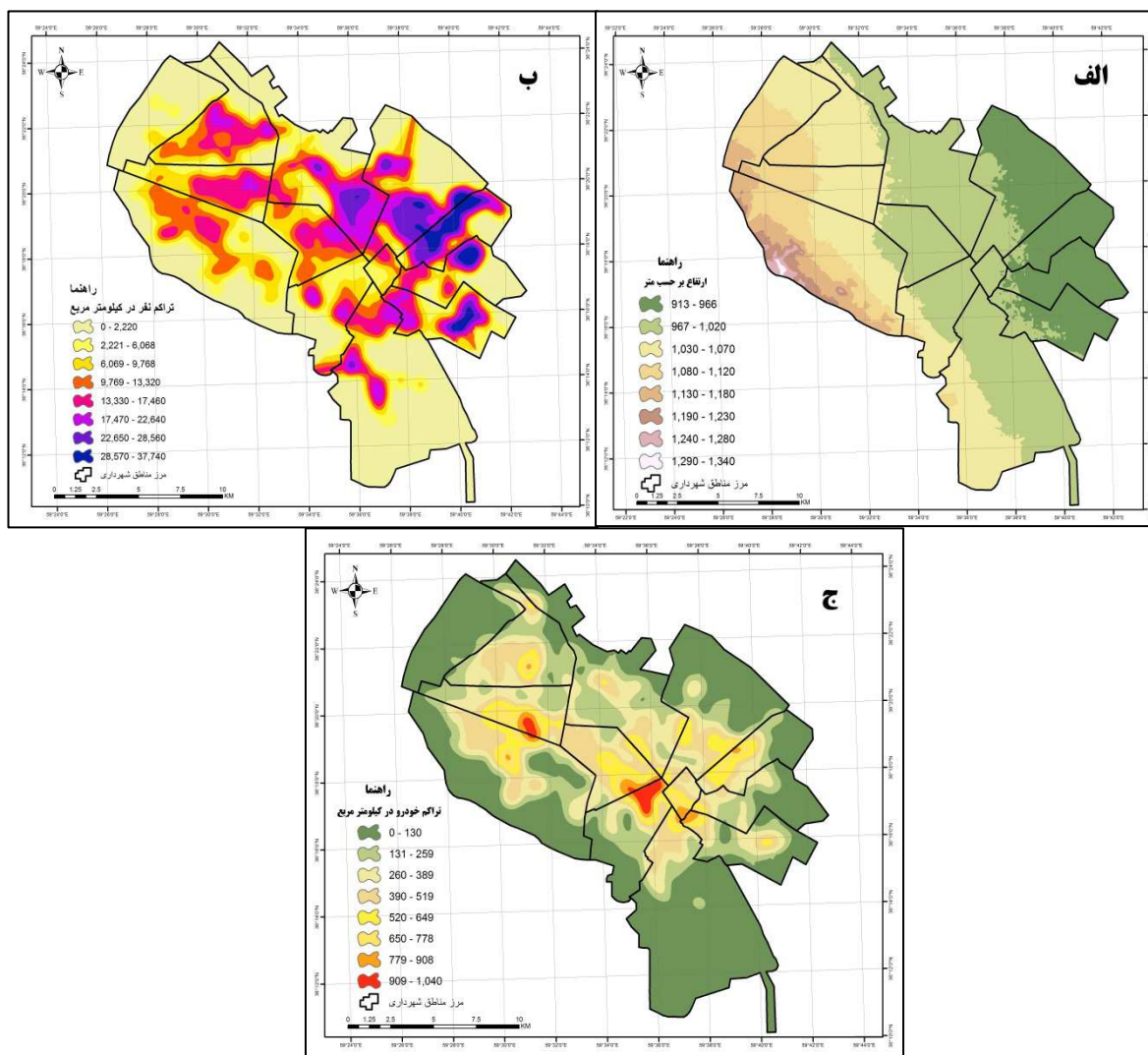


شکل ۶: نمودار مقادیر آماری (الف) ارتفاع از سطح دریا (ب) تراکم جمعیت در هر کیلومتر مربع و (ج) تراکم خودرو در هر کیلومتر

مربع محاسبه شده برای نواحی همگن شناسایی شده

مطابق شکل ۶ (ب) بیشترین تراکم جمعیت با ۱۴۶۸۳ نفر در ناحیه سه محاسبه شده است و بعد از آن مناطق دو و یک می‌باشند که منطبق با ناحیه‌های همگن شناسایی شده است؛ اما در مورد فاکتور سوم شرایط کمی متفاوت است در شکل ۷ (ج) توزیع فضایی تراکم خودروهای شناسایی شده در سطح شهر مشهد نشان داده شده است. مطابق این شکل هسته پرتراکم تردد خودرو در نواحی مرکزی شهر می‌باشد که با تطابق با نقشه همگن (شکل ۵) این هسته در ناحیه دو واقع شده است. مطابق محاسبات انجام شده (شکل ۶ ج) بیشترین تراکم خودروها در ناحیه دو می‌باشد و

ناحیه سوم در مرحله بعدی قرار دارد کمترین بار ترافیکی محاسبه شده نیز در ناحیه یک و در شمال غرب شهر مشهد می باشد دقیقاً منطقه یک که دارای کمترین بار آلودگی هوا نیز می باشد.



شکل ۷: الف) نقشه ارتفاعی شهر مشهد بر حسب متر (ب) نقشه تراکم نفر در کیلومتر مربع و (ج) نقشه تراکم خودرو در کیلومتر مربع

### نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شده است پهنه بندی دقیقی از کیفیت هوای شهر مشهد بر مبنای غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون به عنوان آلاینده اصلی هوای شهر صورت گیرد با توجه به اینکه میانگین ها هیچ گونه معنای حقیقی در دنیای واقعی ندارند، جهت درک و شناخت بهتر توزیع فضایی کیفیت هوا از تحلیل خوشه ای استفاده شده است در

حقیقت با استفاده از این روش ۲۴ نقشه ماهانه کیفیت هوا با یکدیگر ترکیب شده و در نهایت نواحی مشابه و همگن سطح شهر در قالب نقشه پهنه‌بندی ارائه شده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق سه ناحیه مجزا از یکدیگر را برای سطح مشهد نشان می‌دهد، ناحیه اول که نواحی شمال غرب شهر مشهد را شامل می‌شود، کمترین بار آلودگی هوا را داراست. این ناحیه ۱۸/۲ درصد مساحت شهر مشهد را در بر گرفته است و دارای بهترین کیفیت است. متوسط غلظت ذرات معلق در این ناحیه ۲۰/۸ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد. شاید بتوان غلظت کم ذرات معلق این ناحیه را حاصل تراکم کمتر وسایل نقلیه و جمعیت در این منطقه دانست علاوه بر اینکه این ناحیه به مناطق ییلاقی طرقله و شاندیز که ریه‌های شهر محسوب می‌شوند نزدیک است و در مقایسه با دو ناحیه دیگر شناسایی شده ارتفاع متوسط آن از سطح دریا بیشتر می‌باشد. ناحیه دوم شناسایی شده با ۵۶/۵ درصد مساحت قسمت عمده شهر را در بر گرفته است. متوسط غلظت ذرات معلق برای این ناحیه ۲۷/۹ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد. مطابق شکل ۵ مناطق ۱، ۷، ۲، ۸ و قسمت‌هایی از مناطق ۹، ۱۰، ۱۱ و ثامن شهرداری مشهد در این ناحیه قرار گرفته است. سومین ناحیه تعیین شده که بیشترین بار غلظت ذرات معلق را داراست و به عبارتی آلوده‌ترین منطقه شهر مشهد می‌باشد مناطق شرقی شهر مشهد را در بر گرفته است این ناحیه ۲۵/۳ درصد از مساحت شهر مشهد را شامل می‌شود. متوسط غلظت ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون در این ناحیه ۳۲/۴ میکروگرم در متر مکعب می‌باشد که در بین نواحی تعیین شده بالاترین است. نتایج حاصل از بررسی علل نواحی شناسایی شده نشان می‌دهد نواحی شرقی شهر مشهد که دارای بیشترین بار آلودگی هوا است (ناحیه سه) به طور متوسط دارای بالاترین تراکم جمعیت و کمترین ارتفاع از سطح دریا نسبت به سایر ناحیه‌های می‌باشد. همچنین ناحیه یک پهنه‌بندی انجام شده که کمترین بار آلودگی هوا را داراست دارای کمترین تراکم جمعیت و بار ترافیکی است. همچنین ارتفاع این ناحیه از سایر نواحی بیشتر می‌باشد بنظر می‌رسد شیب ارتفاعی از غرب به شرق شهر مشهد باعث انباشت آلاینده‌ها به خصوص تاثیر نیروی ثقل بر ذرات معلق و انباشت آنها در منطقه کم ارتفاع شهر (نواحی شرقی) می‌گردد.

## منابع

- اسماعیلی، رضا (۱۳۹۲)، کاربرد تحلیل خوشه‌ای در گروه‌بندی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا مطالعه موردی شهر مشهد، دومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما.
- حاتمی، خداکرم؛ بهمن بیگلر؛ مهدی نارنگی فرد؛ کمال امیدوار (۱۳۹۳)، شناسایی الگوهای همدید روزهای آلوده به ذرات معلق به روش واکاوی خوشه‌ای شهر شیراز، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال سوم، شماره چهارم، صص ۸۱ - ۹۴.
- حجازی، عباس؛ محمدرضا مباشری؛ ابوالفضل احمدیان مرج (۱۳۹۱)، تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات معلق کوچکتر از ۲٫۵ میکرون با قطر کمتر از دو نیم میکرومتر در هوای شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، شماره ۲۶، صص ۱۶۱-۱۷۸.
- حسین زاده، رضا؛ رضا دوستان؛ مرضیه حقیقت ضیا بری؛ مریم حقیقت ضیا بری (۱۳۹۲)، بررسی الگوهای همدید موثر بر آلودگی هوا در کلان شهر مشهد، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲۱، صص ۸۱-۱۰۱.
- حیدری، حسن؛ بهلول علیجانی (۱۳۷۸)، طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از روش آماری چند متغیره. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۵۷-۷۴.

محو، امیرحسین؛ رامین نبی زاده؛ محمد صادق حسنونند؛ حسن تقی پور؛ ساسان فریدی؛ اکبر غلامپور (۱۳۹۳)، بررسی تغییرات ذرات معلق هوای آزاد شهر تبریز طی سال های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۲ و ارزیابی اثرات بهداشتی منتسب به آنها، سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، مرکز همایش های بین المللی صدا.

مرکز پایش آلاینده های زیست محیطی مشهد (۱۳۹۴)، گزارش کیفیت هوای سال ۱۳۹۴ " <https://epmc.mashhad.ir> مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۴)، شناسایی رژیم های بارش ایران به روش تحلیل خوشه ای، پژوهش های جغرافیایی شماره ۵۲، صص ۴۷-۵۹

مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۲)، نواحی اقلیمی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان ۱۳۸۲، صص ۱۷۱-۱۸۴. منتظری، مجید (۱۳۹۰)، شناسایی فصول دمایی ایران به روش تحلیل خوشه ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره دوم، شماره پیاپی ۱۰۱، صص ۱۷۳-۱۹۸.

مومنی، منصور (۱۳۹۰)، خوشه بندی داده ها (تحلیل خوشه ای)، تهران، منصور مومنی، چاپ اول، صص ۲۹۶. میری، محمد؛ محمد تقی قانعیان؛ عبدالمجید قلیزاده؛ محسن یزدانی اول؛ علی نیکونهاد (۱۳۹۴)، تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل های مختلف تحلیل فضایی، مجله مهندسی بهداشت محیط، شماره ۲، صص ۱۴۳-۱۵۴.

یونسیان، محمود؛ سعید پرمی؛ عطا الله رفیعی تبریزی؛ کاظم ندافی؛ محمد ارحامی؛ محمد صادق حسنونند (۱۳۹۳)، بررسی غلظت ذرات معلق (pm10, pm2.5, pm1) هوای آزاد و داخل در زمان وقوع پدیده ریز گردها در شهر تهران، سومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، مرکز همایش های بین المللی صدا و سیما.

Boubel, R.W., Vallero D., Fox, D.L., Turner, B., Stern, A.C., (2013), Fundamentals of air pollution, Elsevier.

Koelemeijer, R.B.A., C.D. Homan, and J. Matthijsen, (2006), Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe Atmos, Environ, No.40, PP. 5315-5304.

Iizuka, Atsushi, Shintaro Shirato, Atsushi Mizukoshi, Miyuki Noguchi, Akihiro Yamasaki, Yukio Yanagisawa, (2014), A Cluster Analysis of Constant Ambient Air Monitoring Data from the Kanto Region of Japan, International Journal of Environmental Research and Public Health, No. 11, PP. 6844-6855.

Ojeda-Magaña, B., Cortina-Januchs, M. G., Barrón-Adame, J. M., Quintanilla-Domínguez J., Hernandez, W. Vega-Corona A., Ruelas, R. and D. Andina, (2010), Air pollution Analysis with a PFCM Clustering Algorithm Applied in a Real Database of Salamanca (Mexico), International Conference on Industrial Technology (ICIT), Vina del Mar, PP. 1297 - 1302

Ojeda-Magana, B., Ruelas, R., Gomez-Barba, L., Corona-Nakamura, M.A., Barron-Adame, J.M., Cortina-Januchs, M.G. Quintanilla-Dominguez, J. and A.Vega-Corona, (2011), Air pollution analysis with a possibility and fuzzy clustering algorithm applied in a real database of Salamanca (Mexico), Chapter 4.

Prapassornpitaya, S., Jinsart, W. and S. Sanguansintukul, (2011), Mapping of Urban Air Quality by Clustering Analysis and Geographic Information System, CASANZ 2011, July 31.

Querol, X., Alastuey, A., Moreno, T., Viana, M. M., Castillo, S., Pey, J., Rodriguez, S., Artíñano, B., Salvador, P., Sánchez, M., Garcia, S., Herce, M. D., Fernandez, R., Moreno, S., Negral, L., Minguillón, M., Monfort, E., Sanz, M., Palomo, R., Pinilla, E., Cuevas, E., de la Rosa, J., and Sanchez A., (2008), Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM10 and PM2.5) across Spain 1999-2005, Atmos, Environ, No, 42, PP. 3964-3979.

Saithan, K. and J. Mekpariyup, (2012), Clustering Of Air Quality and Meteorological Variables Associated With High Ground Ozone Concentration in the Industrial Areas, At the East of Thailand, International Journal of Pure and Applied Mathematics, vol. 81, No. 3, PP. 505-515.

Saksena, S., Joshi, V. and R.S. Patil, (2002), Determining spatial patterns in Dehli ambient air quality data using cluster analysis, Environmental Change, Vulnerability and Governance, Series, No.53.28PP.

World Bank Group, (2016), The Cost of Air Pollution Strengthening the Economic Case for Action, <https://creativecommons.org>.

World Health Organization (WHO), (2016), Air Quality and Health, Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>.

## Determination of air pollution's homogenous areas in Mashhad

Reza Esmaili<sup>1\*</sup>

Received: 11-02-2017

Accepted: 08-05-2017

### Abstract

Air pollution is not only a threat to human health but also is a factor of a country under developing. Air pollution leads to decrease of life quality because of increase in death and some diseases. So, it decreases levels of incomes, efficiency, and economics due to the decrease in effective employees. In this article, the spatial distribution of Particulate Matter 2.5 (PM2.5), as the major pollutant of Mashhad, was investigated with cluster analysis. So, 24 monthly maps related to the years of 1393 and 1394 of Mashhad were derivate. Angle points of maps were determined in Arc GIS software and were used in T matrices. Cluster analysis with Ward method was used to determine homogenous areas. Results showed that there is three separate area with the different amount of air pollution. Minimum air pollution belongs to the first region, which is in the northwest of Mashhad with 18.2% of Mashhad's area. The second region, which has 56.5% of the area, is in the central zone and the third region with maximum air pollution, is in the east zone of Mashhad with the 25.3% of the area. Mean concentration of PM2.5 in the third region was 32.4 micrograms per cubic meter which were the maximum density in all regions.

**Keywords:** Air pollution of Mashhad, PM2.5, cluster analysis, homogenous area.

---

<sup>1\*</sup>- Administration Manager of environmental pollution monitoring center Mashhad, Deputy of Services and the urban environment, municipality of Mashhad, Iran  
Email: Esmaili-r@mashhad.ir