Online ISSN: 3041-9255

Journal of Human Ecology

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

Data mining of particulate matter (PM2.5) using Principal Component Analysis (PCA) in Isfahan

Sohrab Hasheminejad [1] Samane Shahrabi* [2] Reza Peykanpour Fard [1]

[1] PhD candidate, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran
[2] MSc Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Keywords

Data mining PCA PM2.5 Isfahan

A B S T R A C T

Elevated concentrations of particulate matter (PMs), particularly PM2.5, are significantly influenced by various anthropogenic activities, including industrial processes, population growth, and fossil fuel combustion, especially during peak urban hours. The burgeoning volume of environmental data often leads to crucial decisions being made with inadequate information. Data mining techniques offer a powerful approach to extracting knowledge, compress data, and facilitate informed environmental decision-making. Regarding PM2.5 in Isfahan, understanding the characteristics and origins of each monitoring station is paramount. Specifically, determining the influence of various factors on each station and classifying them based on pollution sources is crucial. Principal Component Analysis (PCA) was employed for this purpose. This study suggests that the urban stations (Parvin, Kharazi, Rodki, Ahmadabad, and Ostandari) are likely heavily influenced by fossil fuel combustion from transportation and building heating. The Estandari station, located in the city center with high traffic density, requires special attention due to its relatively large green space, which may influence particulate deposition and accumulation. The Segzi plain, characterized by severe wind erosion, predominantly exhibits PMs of natural origin. Mitigation strategies, such as mulching or afforestation with drought-resistant plants, are necessary to reduce wind erosion and subsequent particulate dispersion. Finally, the Mubarakeh area, a significant industrial hub in Isfahan, displays PMs primarily originating from industrial activities.

سال سوم، شماره هفتم ، تابستان ۱۴۰۳، ۵۲۰-۵۲۹.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

داده‌کاوی ذرات معلق (PM2 . 5) با استفاده از PCA در اصفهان

سهراب هاشمی نژاد [۱] سمانه شهرابی فراهانی * [۲] رضا پیکان پور فرد [۲]

۱ دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲ کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

دلایل مختلفی مانند فعالیت‌های صنعتی، افزایش جمعیت انسانی و مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در ساعات شلوغی شهری و منابع طبیعی می‌تواند غلظت ذرات PMs را به میزان قابل توجهی افزایش دهد که عمدتاً از طریق سیستم تنفسی وارد بدن انسان می‌شود. با گسترش روز به روز داده و اطلاعات در این حوزه بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فقر اطلاعات مناسب انجام می‌شود. بهتر است با علم داده کاوی به استخراج دانش و فشرده سازی اطلاعات دست زد تا بتوان بهترین تصمیم‌گیری‌ها را در حوزه محیط زیست داشته باشیم. در رابطه با PM2.5 شهر اصفهان یکی از سودمندترین اطلاعات ماهیت و منشا هر ایستگاه سنجش PM2.5 است. به عبارتی بهتر اینکه ایستگاه‌های شهر اصفهان تا چه اندازه تحت تاثیر عوامل مختلف هستند و طبقه بندی ایستگاه‌ها از لحاظ منشا به چه صورت است. برای این منظور از ابزار آماری PCA کمک گرفته شد. در این مطالعه ایستگاه‌های شهری پروین، خرازی، رودکی، احمد آباد و استلنداری به احتمال زیاد احتراق سوخت فسیلی در بخش حمل و نقل و گرمایشی ساختمان‌ها حاصل می‌گردد. در خیابان استانداری به دلیل ترافیک سنگین در هسته مرکزی شهر، همچین مساحت نسبتا زیاد فضای سبز و نقش آن در ترسیب و انباشت ذرات در این نقطه نیازمند توجه زیادی است. دشت سگزی با توجه به فرسایش بادی شدید در این منطقه عمده ذرات مربوط به منشا طبیعی بوده و با راهکارهای مدیریتی در کاهش فرسایش بادی مانند مالچ‌پاشی یا اقدامات کاشت گیاهان مرتعی در این منطقه از پراکنش ذرات جلوگیری کرد. منطقه مبارکه که یکی از کانون‌های صنعتی اصفهان است عمده‌ی ذرات در این منطقه منشا فعالیت‌های صنعتی دارد.

واژگان کلیدی

داده‌کاوی PCA PM2.5
اصفهان

۱. مقدمه

یکی از خطرناک‌ترین و کشنده‌ترین آلاینده‌های جوی PMs هستند که مخلوط پیچیده‌ای از ذرات جامد کوچک و قطرات مایع پراکنده در جو هستند. پس از انتشار به دلیل فعالیت‌های مختلف، می توانند مسافت‌های طولانی (از طریق فاکتورهای آب و هوایی مثل باد) را طی کنند و اثرات مضر کوتاه مدت و بلندمدت ایجاد کنند. دلایل مختلفی مانند فعالیت‌های صنعتی، افزایش جمعیت انسانی و مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه در ساعات شلوغی شهری، می‌تواند غلظت ذرات PMs را به میزان قابل توجهی افزایش دهد که عمدتاً از طریق سیستم تنفسی وارد بدن انسان می‌شود. ایجاد بیماری در گروه های آسیب پذیر جامعه (یعنی کودکان، سالمندان، افراد مبتلا به بیماری های قلبی و ریوی و زنان باردار) از دیگر اثرات آن است. در سال‌های اخیر با تصویب قوانین و نظارت بر اجرای دقیق مقررات ملی و بین‌المللی، انتشار ذرات معلق در جو تا حدودی کاهش یافته و تحت کنترل قرار گرفته است، اما حذف کامل این مواد امکان‌پذیر نیست، زیرا این فرآیند از نظر فنی بسیار دشوار خواهد بود و از نظر مالی بسیار گران است (نایب یزدی و همکاران، ۲۰۱۵).

منبع گردوغبار

مک‌تانیش و همکاران، ۱۹۹۷ با بررسی توزیع اندازه ذرات معلق کشور مالی در غرب آفریقا سه منبع برای این ذرات معرفی کردند:

۱) ذرات منتقل‌شده از فواصل خیلی دور که عمدتاً ذرات کوچک‌تر از ۵ میکرومتر هستند،

۲) ذرات با منشأ ناحیه‌ای با اندازه ۴۰–۲۰ میکرومتر که بیشترین توزیع را در میان ذرات معلق به خود اختصاص داده است،

۳) ذراتی با منشأ محلی با اندازه ۷۰–۵۰ میکرومتر که عمدتاً ناشی از فعالیت انسان‌ها، حرکت دام و وسایل نقلیه هستند.

فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک منبع اصلی گردوغبار اتمسفری است. در برخی منابع سهم منابع انسانی از کل گردوغبار، ۵ تا ۷ درصد تخمین زده شده (کوز و همکاران، ۲۰۰۹). در برخی دیگر از منابع بیش از ۳۰ تا ۵۰ درصد از گردوغبار اتمسفر به فعالیت‌های انسانی نسبت داده شده است (بوسک و پوسفای، ۱۹۹۹). از عوامل انسانی تولید گردوغبار می‌توان به نیروگاه‌های برق، کارخانه‌های تولید سیمان، کارگاه‌های تولید کاشی و سرامیک، صنایع فلزی به‌ویژه آهن، کشاورزی، معادن، فعالیت‌های ساختمانی و تخریب و حمل‌ونقل اشاره نمود (ملاکو و همکاران، ۲۰۰۸). روش‌های شیمیایی، ایزوتوپی و کانی‌شناسی برای تعیین مناطق تولیدکننده گردوغبار اتمسفری استفاده می‌شود (آریموتو و همکاران، ۲۰۰۱). هم‌چنین اندازه ذرات معلق اطلاعاتی در مورد شیوه انتقال ذرات و اطلاعات ارزشمندی راجع به منشأ گردوغبار (گردوغبار محلی یا گردوغبار منشأ یافته از منابع دوردست) در اختیار قرار می‌دهد و برای بازسازی تغییرات در رژیم باد مورد استفاده قرار می‌گیرد (گوسنس، ۲۰۰۷).

روش‌های متفاوتی برای خاستگاه گردوغبار وجود دارد. ازجمله از این روش‌ها جمع‌آوری نمونه‌های خاک و تجزیه آن‌ها جهت تعیین منبع گردوغبار است که از روش‌های غیرمستقیم جهت تعیین منشأ گردوغبار استفاده می‌شود. از روش‌های دیگر، می‌توان به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تعیین شاخص آئروسل اشاره نمود. با توجه به تفاوت کنتراست اشعه UV مربوط به ماهواره و سنجنده روی زمین در دو کانال ۳۴۰ و ۳۸۰ نانومتر برای ماهواره و ۳۳۱ و ۳۶۰ نانومتر برای سنجنده روی زمین شاخص آئروسل یا شاخص آئروسل در طیف‌سنج نقشه ازن (TOMS)[1] تعیین و با نهایتاً منشأ تولید ذرات معلق مشخص می‌شود (انگستادتر و همکاران، ۲۰۰۶). تعیین خط سیر (مسیر عبور) گردوغبار که در مناطق پایین‌دست جهت باد انجام می‌شود (ژوآن، ۲۰۰۵) و تعیین خصوصیات شیمیایی گردوغبار با خاک‌های مناطق مختلف (اسکودرو و همکاران، ۲۰۰۷) را نام برد. هرکدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند.

روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری ذرات ریزشی اتمسفر وجود دارد که برخی از این روش‌ها گردوغبار را به‌صورت حجمی و برخی آن را به‌صورت میزان فرونشست گزارش می‌کنند (حجتی و همکاران، ۲۰۱۲).

گوسنس، ۲۰۰۷ بیان داشت استفاده از نمونه‌گیر خشک در مواردی که هدف تعیین ترکیب شیمیایی فرونشست گردوغبار است بهتر است. در مطالعه‌ای که در اصفهان برای تعیین منشأ گردوغبار با استفاده از روش‌های ترکیبی کانی‌شناسی، ترکیب شیمیایی، اندازه ذرات و الگوی جریان باد انجام گرفت منطقه شرق اصفهان را به‌عنوان عمده‌ترین منبع تولید گردوغبار فرونشسته معرفی

[1] Total Ozone Mapping Spectrometer absorbing Aerosol Index (TOMS AI)

کرد (محمودی و خادمی، ۱۳۹۳). علاوه بر این، در این مطالعه به این اشاره‌شده که منابع محلی شامل عملیات ساخت‌وساز غیراصولی، صنایع و تخریب ساختمان‌ها و حمل‌ونقل غیراصولی نخاله‌های ساختمانی نیز می‌تواند بخشی از ذرات معلق اتمسفری را تأمین نمایند.

در تحقیق کریمیان و همکاران (۱۳۹۵) در اهواز نتایج نشان داد که در بین ماه‌های تیر تا آذر ۱۳۹۰ بیشترین ترسیب ذرات به دلیل سکون بیشتر جوی مربوط به زمان رخداد توفان‌های گردوغبار آبان ماه بود. همچنین اندازه ذرات معلق در این ماه با مقایسه سایر مواقع دوره موردمطالعه از توزیع ریزتری برخوردار بود. علاوه بر این به دلیل مجاورت این شهر با کشور عراق و با لحاظ کردن جهت غربی و شمال غربی باد طی دوره مطالعه احتمالاً منشأ این توفان‌ها از زمین‌های بدون پوشش و تالاب‌های خشک‌شده در مرز ایران و عراق (هورالعظیم) است. علاوه بر عوامل خارجی، عامل‌های داخلی مانند کمبود فضای سبز شهری، کثرت زمین‌های بدون پوشش در مرکز و اراضی واقع در حاشیه شهر اهواز، نخاله‌های ساختمانی رهاشده و فعالیت‌های عمرانی طولانی‌مدت رهاشده تشدیدکننده این چالش می‌باشند. همچنین غلظت فلزات سنگین در گردوغبار شهر اهواز نسبت به حد مجاز پیشنهادی برای خاک بیشتر است که به ریزتر بودن ذرات گردوغبار نسبت به نمونه‌های خاک و افزایش غلظت فلزات سنگین در طی مدت حضور آن‌ها در اتمسفر نسبت داده می‌شود.

در تحقیق دیگری که باهدف بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و تغییرات مقداری گردوغبار در مناطق شهری دشت سیستان انجام گرفت، بیشترین مقدار گردوغبار در شهرستان هیرمند و کمترین مقدار گردوغبار در شهرستان نیمروز به دست آمد. خصوصیات فیزیکوشیمایی نمونه‌های تالاب و گردوغبار نشان داد که نمونه‌ها دارای شوری و قلیائیت زیاد، کربن آلی کم و مقدار کربنات کلسیم معادل متوسط تا زیاد بودند که بیان‌کننده شرایط اقلیمی گرم و خشک و پوشش گیاهی ضعیف در یک محیط رسوبی بودند. همچنین نتایج کانی‌شناسی نشان داد که کانی‌های غالب در نمونه‌های تالاب هامون به ترتیب کلسیت، کوارتز و فلدسپارها و کانی‌های غالب در نمونه‌های گردوغبار به ترتیب کوارتز، کلسیت و فلدسپارها بودند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده تالاب‌های هامون به‌عنوان منشأ اصلی گردوغبار در منطقه سیستان گزارش شد اما در مواردی مانند شهرستان زهک علاوه بر این تالاب‌ها منابع دیگر نیز نقش داشتند (دانش شهرکی، ۱۳۹۵). روش دیگری که در منشایابی گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته است روش انگشت‌نگاری[1] است. سابقه این روش جهت تعیین سهم منابع رسوب، با اتکا بر خصوصیات رسوب رودخانه‌ها استوار است. این روش در تعیین منشأ و سهم رسوبات رودخانه‌ای به‌طور موفقیت‌آمیزی توسط محققان زیادی مورد استفاده واقع شد (وال و ویلدینگ، ۱۹۷۶؛ پیرت، ۱۹۸۶؛ کولینز و والینگ، ۲۰۰۷). یکی از روش‌های مهم که در بیشتر در دسته‌ی طبقه‌بندی نظارت نشده قرار دارد و می‌تواند در علم داده‌کاوی کاربرد داشته باشد آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA[2]) است. در این روش که به صورت نیمه خودکار انجام می‌شود می‌تواند در تعیین شباهت‌های ایستگاه‌های مختلف استفاده گردد.

۲. پیشینه پژوهش:

راشکی و همکاران، ۲۰۱۳ با جمع‌آوری خاک در منطقه سیستان در ایران طی بادهای ۱۲۰ روزه به روش SSDS[3] نتیجه گرفتند که ترکیبات معدنی غالب خاک‌های منطقه مورد مطالعه شامل کوارتز با ۴۰–۳۰ درصد، کلسیت با ۲۳–۱۸ درصد، موسکویت با ۱۷–۱۰ درصد، پلاژیوکلاز با ۱۲–۹ درصد، کلریت با ۶ درصد، انستاتیت با ۳ درصد، و مقداری ترکیبات دولومیت، میکروکلاین، هالیت و ژیپس بود. همچنین عمده ترکیبات اکسیدی ذرات معلق شامل SiO_2، CaO، Al_2O_3، Na_2O، MgO، Fe_2O_3 بودند. با محاسبه عامل غنی‌شدگی[4] مشخص شد که تمامی عناصر دارای منشأ طبیعی بودند.

بر اساس برآورد سازمان بهداشت جهانی سالانه ۵۰۰ هزار نفر بر اثر استنشاق ذرات معلق هوا دچار مرگ زودرس می‌شوند. بین غلظت گردوغبار در هوا و تعداد پذیرش افراد با مشکل تنفسی در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود دارد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۰؛ الهوربان و الاستاد، ۲۰۱۰). در اثر افزایش هر ۱۰ میکروگرم در مترمکعب ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون در هوا میزان مرگ‌ومیر ۱ درصد افزایش می‌یابد (شاهسوندی و همکاران ۱۳۹۰). وجود فلزات سنگین در ذرات

[1] Fingerprinting
[2] Principal component analysis
[3] Siphon Sand and Dust Sampler
[4] Enrichment Factor (EF)

معلق نیز خطرآفرینی زیادی را به همراه دارد به عنوان مثال عنصر سرب در این ذرات باعث به هم ریختگی سیستم عصبی و مشکلات رفتاری، وجود آهن عاملی برای بیماری سیدروزیس، وجود کروم باعث ایجاد سرطان مجاری تنفسی، وجود نیکل باعث سرطان ریه و التهاب پوستی، وجود آرسینک موجب ضعف عصبی و عضلانی، وجود نقره و مس باعث ایجاد بیماری‌های چشمی مثل التهاب یا ناخنک چشم می‌شود (الهوربان و الاستاد، ۲۰۱۰).

ندافی، ۲۰۱۰ و الهوربان و الاستاد، ۲۰۱۰ طی تحقیقات خود مشخص کردند که ذرات معلق بر تولیدات کشاورزی (محصولات زراعی باغی، محصولات دامی، و بیماری‌های گیاهی) نیز تأثیرات متفاوتی از خود نشان می‌دهد به‌طوری‌که بر اساس برآوردهای انجام‌گرفته ذرات معلق می‌تواند به تولید محصولات کشاورزی از ۴۱ تا ۵۱ درصد خسارت وارد نماید.

تحقیقی در خصوص غلظت فلزات سنگین در ذرات موجود در هوای تهران بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ میلادی صورت پذیرفت. در این بررسی ۲۱ عنصر با دو روش نوترون فعال و روش اسپکتومتری جذب اتمی مورد تجزیه واقع شد. نتایج نشان داد که غلظت عناصر در سطوح کمتری نسبت به استانداردهای سازمان بهداشت جهانی قرار داشت به جز سرب، که دلیل آن نیز به خاطر استفاده از بنزین سرب‌دار در این دوره عنوان شد (سهراب‌پور، ۱۹۹۹).

در یک بررسی به مدت یک سال و با فاصله نمونه‌برداری ۱۰ روزه بر روی فلزات قلیایی و قلیایی خاک و برخی از فلزات سنگین در ذرات معلق در غرب ایران انجام شد مشخص شد که منشأ این ذرات بیابانی بوده و ترکیبات شیمیایی آنها به‌شدت تحت تأثیر الگوی فرسایشی خاک و تغییرات عوامل مؤثر در هواشناسی است (خوزستانی و سوری، ۱۳۹۲). اسماعیل‌زاد حسینی و همکاران (۱۳۹۲) طی مدت سه ماه با استفاده از ۳۳ تله رسوب‌گیر تیله‌ای در فصل زمستان بر روی غبار ریزشی و تحلیل مکانی سرب موجود در آن در شهر یزد نتیجه گرفتند که میزان آلودگی به سرب در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری کم بوده به‌طوری که بیشترین غلظت در محدوده جنوب شهر و کمترین مقدار در محدوده غرب شهر یزد مشاهده شد. این محققین زیاد بودن غلظت سرب در غبار ریزشی در جنوب شهر را به تردد زیاد خودرویی نسبت دادند.

طی بررسی و تحقیق بر روی سنجش و ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در هوای شهر تهران در بهمن ۱۳۹۱ و خرداد ۱۳۹۲ که عناصر مورد تجزیه شامل آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس، منگنز و نیکل بودند، و ارزیابی ریسک سلامت ساکنان دائم و موقت منطقه مورد مطالعه و همچنین تخمین میزان ابتلا به بیماری‌های خاص مثل سرطان به دلیل استنشاق هوای آلوده به فلزات سنگین برای سه گروه از ساکنان دائمی، فروشندگان و کارمندان و دانشجویان مورد بررسی واقع شد، نتایج حاکی از وجود تمامی ریسک به ۴ آلاینده کروم، آرسنیک، کادمیم و نیکل محدود شد (نورپور و صدری، ۱۳۹۳).

برای کنترل و مدیریت آلودگی در شهرها، تصمیم‌گیران و سیاست‌گزاران محیط زیست نیازمند اطلاعات مفید و کاربردی از وضعیت آلاینده‌ها در شهرها هستند. اطلاعاتی همچون نوع آلاینده و غلظت و منشا که می‌توان از روش‌های مختلف به دست آورد. از این رو، با گسترش روز به روز داده و اطلاعات در این حوزه بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فقر اطلاعات مناسب انجام می‌شود. بهتر است با علم داده کاوی به استخراج دانش و فشرده سازی اطلاعات دست زد تا بتوان بهترین تصمیم‌گیری‌ها را در حوزه محیط زیست داشته باشیم. در رابطه با $PM_{2.5}$ شهر اصفهان یکی از سودمندترین اطلاعات ماهیت و منشا هر ایستگاه سنجش $PM_{2.5}$ است. به عبارتی بهتر اینکه ایستگاه‌های شهر اصفهان تا چه اندازه تحت تاثیر عوامل مختلف هستند و طبقه بندی ایستگاه‌ها از لحاظ منشا به چه صورت است. در این پژوهش با کمک روش آماری PCA در تعیین منشا ایستگاه‌های مختلف شهر اصفهان بپردازد.

۳. منطقه مورد پژوهش:

شهر اصفهان در فلات مرکزی ایران در دشتی وسیع بین کوهستان زاگرس و کوه‌های داخلی کشور در موقعیت ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد حدود ۱۵۸۰ متر می‌باشد. این شهر در قسمت شمالی و شرقی به کویر محدود و قسمت غربی و جنوبی آن به ارتفاعات زاگرس منتهی می‌شود. متوسط بارش سالانه آن حدود ۱۲۰ میلی‌متر و تنوع رژیم حرارتی آن تحت تأثیر مناطق کوهستانی، کویری و وزش بادهای غربی است. این شهر با جمعیتی حدود ۲ میلیون نفر سومین کلان‌شهر ایران بعد از تهران و مشهد به‌شمار می‌رود (مرکز آمار ایران سرشماری سال ۹۵).

کلان‌شـهر اصـفهان به‌دلیل دارا بودن اقلیم خشـک و نیمه‌خشـک، وقوع خشـک‌سـالی در سـال‌های اخیر، سـکون هوا در نیمی از روزهای سال، تقاضای فزاینده سکونت و فعالیت، گردشگرپذیری، توسعه شتابان فیزیکی، وجود صنایع سنگین و معادن در حریم شـهر با معضـلات محیط‌زیسـتی متعددی نظیر آلودگی هوا، افت سـطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب‌های سـطحی و زیرسطحی، فرسایش خاک و نظایر آن‌ها روبروست.

اصفهان با دارا بودن سهم ۷۰ درصدی در تولید فولاد کشور، سهم ۲۵ درصدی در صنعت نساجی و دارا بودن بزرگ‌ترین صنایع پتروشیمی و نیروگاهی، یکی از صنعتی‌ترین کلان‌شهرهای ایران به‌شمار می‌رود (ضرابی و همکاران ۱۳۸۹).

این شـهر به‌دلیل تراکم جمعیت بالا، تعداد زیاد وسـایل نقلیه موتوری و ترافیک سـنگین، وجود کارخانجات مختلف ذوب آهن، سیمان، پالایشگاه و غیره و همچنین شرایط اقلیمی کویری دارای میزان قابل توجهی از ذرات معلق هوا می‌باشد. وجود کارخانه تولید سیمان و نیز مجتمع ذوب آهن اصفهان در جنوب، بیابان‌ها در شرق و شمال‌شرق، نیروگاه برق و صنایع شیمیایی نظیر پالایشگاه و پتروشیمی در شمال و کوره‌های آجرپزی که ۷۰ درصد سهم تولید آجر کشور را برعهده دارند در شرق، این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شـهرهای کشـور تبدیل کرده اسـت (ثقفیان و سـهراب‌پور ۱۳۹۱). علاوه بر مسـائل ذکرشـده، موقعیت خاص جغرافیایی شهر اصفهان و قرارگیری آن در یک گودال باعث تجمع آلاینده‌ها در هوای شهر شده و مشکل آلودگی هوا را تشدید کرده است (گراوندی و همکاران ۱۳۹۴).

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۴. مواد و روش‌ها

۱.۴. جمع‌آوری اطلاعات $PM_{2.5}$

داده‌های $PM_{2.5}$ شهر اصفهان در ۷ ایستگاه (احمداباد، استانداری، پروین، خرازی، رودکی، سگزی و مبارکه) پایش آلودگی سازمان محیط زیست به صورت ساعتی از بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۱ جمع آوری شد. در بعضی از مواقع سال به دلایل مختلف داده‌هایی ثبت نشـده و به عنوان داده‌ی گمشـده[۱] شـناسـایی شـدند. برای رفع این محدودیت از روش میانگین وزن‌دار متحرک (weighted moving average) با استفاده از پکیج ImputeTS در نرم افزار R استفاده شد.

۲/۴.آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)

تحلیل مولفه اساسی به بیان ساده، روشی برای استخراج متغیرهای مهم (به شکل مولفه) از مجموعه بزرگی متغیرهای موجود در یک مجموعه داده اسـت. تحلیل مولفه اسـاسـی در واقع یک مجموعه با بُعد پایین از ویژگی‌ها را از یک مجموعه دارای بُعد بالا استخراج می‌کند تا به ثبت اطلاعات بیشتر با تعداد کمتری از متغیرها کمک کند. بدین شکل، بصری‌سازی داده‌ها نیز معنادارتر می‌شود. تحلیل مولفه اساسی هنگامی که با داده‌های دارای سه یا تعداد بیشتری بُعد سروکار داشته باشید، کاربردپذیرتر است.

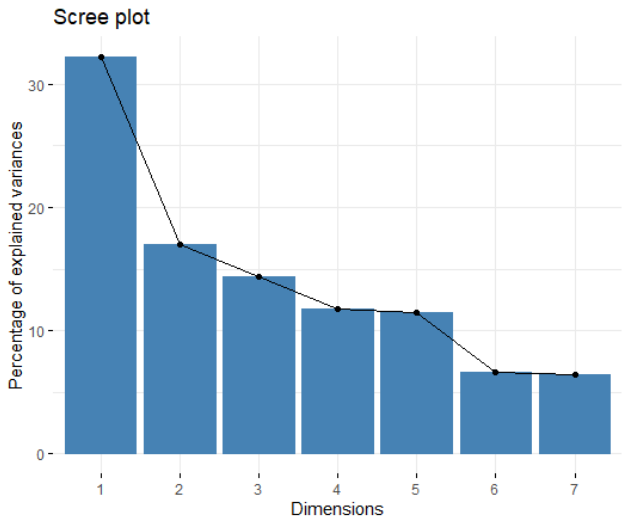
[۱] Missing value

تحلیل مولفه اساسی همیشه روی ماتریس کوواریانس یا همبستگی اعمال می‌شود. داده‌ها باید عددی و استاندارد شده باشند. در این مطالعه از پکیج factoextra در نرم افزار R ورژن ۴/۳/۰ استفاده گردید تا همبستگی سایت‌ها را به بهترین شکل در غالب مولفه شناسایی شوند (هاشمی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۱).

۵. یافته‌های پژوهش

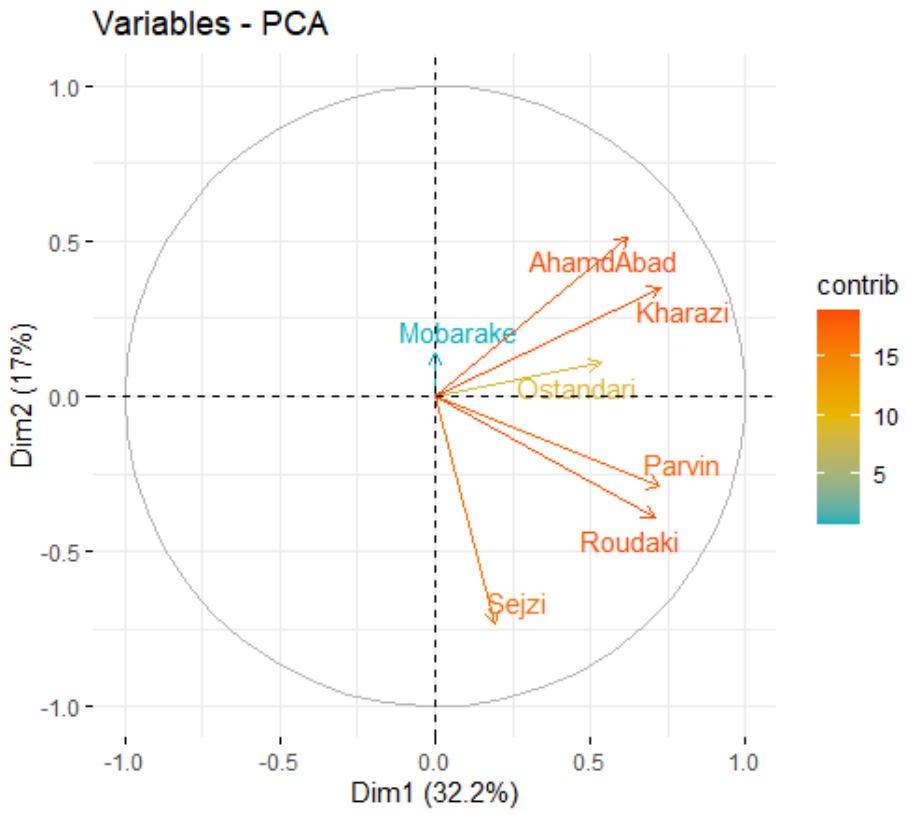
به طور کلی نتایج نشان می‌دهد غلظت میانگین $PM_{2.5}$ در زمستان ۲۹۳ میکروگرم بر متر مکعب بیشتر از تابستان ۱۳۶ میکروگرم بر متر مکعب است. با این وجود بر اساس نتایج حاصل از PCA مولفه‌ی اول و دوم در مجموع ۴۹.۲ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داده است. در مولفه‌ی اول چهار سایت پروین، خرازی، رودکی و احمد آباد بیشترین همبستگی را نشان می‌دهند و به احتمال زیاد منشا $PM_{2.5}$ در مولفه‌ی اول بیشتر حمل و نقل وسایل نقلیه موتوری است. این چهار ایستگاه تقریبا در تمامی روزهای سال با حجم سنگینی از ترافیک روبرو هستند.

در مولفه‌ی دوم با واریانس کل ۱۷ درصد ایستگاه سگزی قرار گرفته است. با توجه به موقعیت این ایستگاه می‌توان نتیجه گرفت بیشترین سهم تاثیر گذار در این ایستگاه می‌توان به منشا طبیعی اشاره کرد. دشت سگزی یکی از کانون‌های اصلی گرد و غبار منطقه است که حاصل از فرسایش بادی می‌باشد.



شکل ۲. درصد واریانس هر مولفه

مولفه‌ی سوم ایستگاه مبارکه (۱۴.۹ درصد واریانس کل) ایستگاه مبارکه احتمالا منشا صنعتی را نشان می‌دهد. شهرستان مبارکه با صنایع مختلفی از جمله فولاد مبارکه، ذوب آهن، سیمان سپاهان، پلی اکریل ایران، فرآورده های نسوز، دی. ام. تی، شهرک های صنعتی و غیره احاطه شده است. و در آخر مولفه‌ی چهارم خیابان استانداری قرار گرفته است. با توجه به اینکه منشا اصلی ذرات در این ایستگاه حمل و نقل وسایل نقلیه موتوری و خانگی است اما تفاوت اصلی این ایستگاه با سایر ایستگاه در شهر شاید به دلیل داشتن غلظت بالای $PM_{2.5}$ در این ایستگاه است. خیابان استانداری با توجه به اینکه در هسته‌ی مرکزی شهر اصفهان قرار گرفته است یکی از مکان‌های پرتردد در شهر می‌باشد (هاشمی نژاد و همکاران، ۱۴۰۱).



شکل ۳. نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی $PM_{2.5}$ در شهر اصفهان

۶. بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به مزیت‌های داده‌کاوی می‌توان آن را یک روش معقول در فشرده‌سازی داده‌ها و استخراج دانش مناسب برای تصمیم‌گیران محیط زیست دانست. در این راستا یکی از آلاینده‌های خطرناک موجود $PM_{2.5}$ می‌باشد و دانستن منشا احتمالی آن در مدیریت شهری مهم است. در این مطالعه ایستگاه‌های شهری پروین، خرازی، رودکی، احمد آباد و استانداری به احتمال زیاد احتراق سوخت فسیلی در بخش حمل و نقل و گرمایشی ساختمان‌ها حاصل می‌گردد. در خیابان استانداری به دلیل ترافیک سنگین در هسته مرکزی شهر، همچین مساحت نسبتا زیاد فضای سبز و نقش آن در ترسیب و انباشت ذرات در این نقطه نیازمند توجه زیادی است. دشت سگزی با توجه به فرسایش بادی شدید در این منطقه عمده ذرات مربوط به منشا طبیعی بوده و با راهکارهای مدیریتی در کاهش فرسایش بادی مانند مالچ‌پاشی یا اقدامات کاشت گیاهان مرتعی در این منطقه از پراکنش ذرات جلوگیری کرد. منطقه مبارکه که یکی از کانون‌های صنعتی اصفهان است عمده‌ی ذرات در این منطقه منشا فعالیت‌های صنعتی دارد. به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و زمانی در این مطالعه به ذرات پرداخته شد در نتیجه توصیه می‌گردد در مطالعات بعدی در جهت جمع آوری اطلاعات دقیق‌تر و با بررسی خواص فیزیکی–شیمیایی ذرات بتوان دقیق‌تر و جزئی‌تر سهم هر منشا را مشخص کرد. قطعا با دانش استخراج شده، تصمیم‌گیری در جهت کاهش آلودگی هوا بهتر انجام خواهد شد.

۷. منابع

۱. اداره کل هواشناسی استان اصفهان. ۱۳۹۷. گزارش کیفیت هوای ایستگاه سنجش آلاینده‌ها در هواشناسی اصفهان در سال ۱۳۹۶. مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی اصفهان.

۲. بشیری خوزستانی، ر.؛ سوری، ب.؛ بابایی فر، ل. و ماجدی، س.۱۳۹۲. ارزیابی سطح خطر آلودگی به آرسنیک در گردوغبار غرب ایران با استفاده از شاخص . Geo_Accumulation پنجمین همایش ملی مهندسی محیطزیست .تهران .ایران.

۳. دنیایی، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی فلزات سنگین(Pb,Fe,Cu) در ریزگردهای شرق ایران (مطالعه موردی: شهر بیرجند، استان خراسان جنوبی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. ۱۰۲ ص.

۴. کریمیان، ب.؛ لندی، ا.؛ حجتی، س. و احدیان، ج. ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار شهر اهواز. تحقیقات آب و خاک ایران. ۷۴ : ۱۷۳-۱۵۹.

۵. هاشمی نژاد، س.؛ سلیمانی، م. و مرادی، ح. ۱۴۰۱. پایش زیستی و منشایابی هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای هوای شهر اصفهان با استفاده از پوسته درخت کاج تهران (*Pinus eldarica*)، دهمین همایش مدیریت آلودگی هوا و صدا،تهران، https://civilica.com/doc/1638118

6. Al-Hurban, A. E. & Al-Ostad, A. N. 2010. Textural characteristics of dust fallout and potential effect on public health in Kuwait City and suburbs. Environmental Earth Sciences. 60(1):169-181.
7. Arimoto, R. 2001. Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. Earth-Science Reviews. 54(1-3):29-42.
8. Collins, A. L. & Walling, D. E. 2004. Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects. Progress in Physical Geography. 28(2):159-196.
9. Coz, E.; Gómez-Moreno, F. J.; Pujadas, M.; Casuccio, G. S.; Lersch, T. L. & Artíñano, B. 2009. Individual particle characteristics of North African dust under different long-range transport scenarios. Atmospheric Environment. 43(11):1850-1863.
10. Engelstaedter, S.; Tegen, I. & Washington, R. 2006. North African dust emissions and transport. Earth-Science Reviews. 79(1-2):73–
11. Escudero, M.; Querol, X.; Pey, J.; Alastuey, A.; Pérez, N.; Ferreira, F.; Alonso, S.; Rodríguez, S. & Cuevas, E. 2007. A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks. Atmospheric Environment. 41(26):5516-5524.
12. Fang, L.; Xu, C.; Li, J.; Borggaard, O. K. & Wang, D. 2017. The importance of environmental factors and matrices in the adsorption, desorption, and toxicity of butyltins: a review. Environmental Science and Pollution Research. 24(10):9159-9173.
13. Goossens, D. 2007. Bias in grain size distribution of deposited atmospheric dust due to the collection of particles in sediment catchers. Catena. 70(1):16-24.
14. Hojati, S.; Khademi, H.; Faz Cano, A. & Landi, A. 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and the Zagros Mountains. Catena. 88(1):27-36.
15. Mctainsh, G.; Nickling, W. & Lynch, A. 1997. Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. Catena. 29(3-4):307-322.
16. Melaku, S.; Morris, V.; Raghavan, D. & Hosten, C. 2008. Seasonal variation of heavy metals in ambient air and precipitation at a single site in Washington, DC. Environmental Pollution. 155(1):88-98.
17. Nayeb Yazdi M, Delavarrafiee M, Arhami M. 2015. Evaluating near highway air pollutant levels and estimating emission factors: Case study of Tehran, Iran. Sci Total

Environ. 2015; 538:375–84.

18. Rashki, A.; Eriksson, P. G.; Rautenbach, C. J.; Kaskaoutis, D. G.; Grote, W. & Dykstra, J. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. Chemosphere. 90(2):227-236.
19. Sohrabpour, M.; Mirzaee, H.; Rostami, S. & Athari, M. 1999. Elemental concentration of the suspended particulate matter in the air of Tehran. Environment International. 25(1):75-81.
20. Soleimani, M.; Amini, N.; Sadeghian, B.; Wang, D. & Fang, L. 2018. Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM2.5) in Isfahan City, Iran. Journal of Environmental Sciences. 72:166-175.
21. Tagliani, S. M.; Carnevale, M.; Armiento, G.; Montereali, M. R.; Nardi, E.; Inglessis, M.; Sacco, F.; Palleschi, S.; Rossi, B. & Silvestroni, L. 2017. Content, mineral allocation and leaching behavior of heavy metals in urban PM2. 5. Atmospheric Environment. 153:47-60.
22. Tomadin, L.; Lenaz, R.; Landuzzi, V.; Mazzucotelli, A. & Vannucci, R. 1984. Wind-blown dusts over the central Mediterranean. Oceanologica Acta. 7(1):13-23.
23. Wall, G. & Wilding, L. 1976. Mineralogy and related parameters of fluvial suspended sediments in northwestern Ohio. Wiley Online Library.
24. Walling, D. & Collins, A. 2000. Integrated assessment of catchment sediment budgets: A technical manual, School of Geography and Archaeology, University of Exeter.
25. Walling, D. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. Science of the Total Environment. 344(1-3):159-184.
26. Wilke, B.; Duke, B. & Jimoh, W. 1984. Mineralogy and chemistry of Harmattan dust in northern Nigeria. Catena. 11(1):91-96.
27. World Health Organization .2022. Air pollution. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. (Last accessed on 6 Januery 2022) .
28. Xuan, J. 2005. Emission inventory of eight elements, Fe, Al, K, Mg, Mn, Na, Ca and Ti, in dust source region of East Asia. Atmospheric Environment. 39(5):813-821.