Vol. 9, No. 3, Ser (34) 2019

Investigation of the Effect of Less-Than-2.5-Microns Dust Particles on Human Health in Isfahan City

Abbasali Arvin [1 *]

Associated Professor, Social Science Faculty, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

Background: Air pollution with suspended particles of less than 2.5 microns –due to the special combination and particles' dimension- is one of the most important hazards, threatening human health in large cities such as Isfahan.

Aim: The purpose of this study is monitoring and investigation of contamination incidences due to less-than-2.5-microns dust particles in thy city, with the aim of providing proper grounds for opposing its effects in Isfahan.

Method: Autocorrelation and Dorbin-Watson's tests were used to examine time alterations and behavior of less-than-2.5-microns dust particles. For this purpose, the daily statistics of less-than-2.5-microns dust particles of 7 pollutant stations in Isfahan, during the statistical period of 2012-2016 (1391-95) , were used.

Findings: findings of this study show that due to the dust particles' densities affectability of various factors with different trends; there is no time concomitance of dust particles during the year. Data-fitting with the model also manifests un absence of time autocorrelation of dust particles, also approved its being completely random. Investigation of frequency of pollutant days from years 2015 to 2016 showed that the number of days with unhealthy conditions for sensitive groups, and days with very unhealthy conditions; had decreased by about 7.7% and 2.7% respectively, indicating improvement of air quality in Isfahan.

Innovation: Considering that one of the main causes of mortality in polluted cities is less-than-2.5-microns dust particles, the investigation of this phenomenon, based on long-term documented information and statistics, based on the pollution standards; is assumed as the innovational aspect of this research. However, the number of days with severe contamination in Isfahan has been reduced, but the days with more pollution level, have been driven to the east and northeast areas of Isfahan.

Keywords: Dust Particles, Isfahan, Autocorrelation, Human Health.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)
سال نهم، شماره دوم، (پیاپی ۳٤)، پاییز ۱۳۹۸
تاریخ وصول: ۹۷/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۷
صص: ۱۲٤ -۱۱۱

بررسی اثر ذرات گردوغبار کمتر از ۲/۵ میکرون بر سلامتی در شهر اصفهان

عباسعلی آروین *

دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

طرح مسئله: آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون به دلیل ترکیب ویژه و ابعاد ذرات، یکی از مهم ترین مخاطراتی است که سلامتی انسان را در شهرهای بزرگ ازجمله اصفهان تهدید می‌کند.

هدف: هدف این پژوهش، پایش و بررسی رخداد آلودگی منتسب به ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون در شهر اصفهان به‌منظور ایجاد زمینهٔ مناسب برای مقابله با آثار آن در این شهر است.

روش: در پژوهش حاضر روش های آماری خودهمبستگی و آزمون دوربین واتسون برای بررسی رفتار و تغییرات زمانی ذرات گردوغبار کمتر از ۲/۵ میکرون به کار رفته است. برای این منظور از آمار روزانهٔ ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ۷ ایستگاه آلوده‌سنجی اصفهان در دورهٔ آماری ۹۵-۱۳۹۱ استفاده شده است.

نتایج: براساس یافته‌های پژوهش به علت تأثیرپذیری غلظت ذرات معلق از عوامل متعدد که روند متفاوتی دارند، پیوستگی زمانی در ذرات معلق در طول سال وجود ندارد و برازش داده ها با مدل نیز نبود خودهمبستگی زمانی ذرات معلق و تصادفی‌بودن کامل آن را تأیید می‌کند. بررسی فراوانی روزهای آلوده در سال ۹٤ و ۹۵ نشان داد روزهایی با شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس و شرایط بسیار ناسالم به ترتیب حدود ۸/۷ و ۲/۷درصد کاهش داشته که حاکی از بهبود کیفیت هوای اصفهان است.

نوآوری: با توجه به اینکه یکی از علل اصلی مرگ‌ومیر در شهرهای آلوده ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون است، بررسی این پدیده با آمار و اطلاعات مستند و بلندمدت مبتنی بر استانداردهای آلودگی، نوآوری پژوهش حاضر محسوب می‌شود. بر این اساس اگرچه از تعداد روزهای با آلودگی شدید در اصفهان کاسته شده است، ولی روزهای با آلودگی شدیدتر به شرق و شمال شرق اصفهان تغییر مکان داده‌اند که برنامه‌ریزی برای مقابله را می‌طلبد.

واژه‌های کلیدی: ذرات گردوغبار، اصفهان، خودهمبستگی، سلامتی.

* نویسنده مسؤول a_arvin@pnu.ac.ir

مقدمه

ذرات گردوغبار کمتر از ۲/۵ میکرون که گاه با نام «کربن سیاه» نیز شناخته می‌شود، یکی از مهم ترین عوامل آلودگی هوا در شهرهای بزرگ ازجمله اصفهان در سال‌های اخیر محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که وجود این ماده در نواحی شهری، علت بسیاری از بیماری‌های تنفسی است. پژوهش های علمی دو دهۀ اخیر نشان داده است از دیدگاه مخاطرات بهداشت عمومی و سلامتی ذرات معلق هوا ازجمله آلاینده های اصلی است. سازمان جهانی بهداشت[1] (۲۰۱۳) برآورد کرده است سالیانه پانصد هزار نفر بر اثر مواجهه با ذرات معلق هوا دچار مرگ زودرس می‌شوند؛ همچنین این سازمان برآورد کرده است هزینۀ سالیانۀ صرف‌شده برای بخش سلامتی و بهداشت متأثر از آلودگی هوا در اتریش، فرانسه و سوئیس حدود ۳۰ میلیارد پوند و معادل ٦درصد از کل مرگ ومیرها مربوط به آلودگی هوا بوده است. علت حدود نیمی از این رقم ناشی از دودزایی وسایل نقلیه است (لیلی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۸۰). حدود ٤٤/۳ درصد کل مرگ سالانه در اصفهان ناشی از بیماری‌های قلبی‌عروقی و ۹۵/۵درصد از آن به بیماری‌های تنفسی مرتبط با ذرات PM_{10} مربوط می‌شود؛ به بیان دیگر قرارگرفتن در معرض PM2.5 و PM10 موجب افزایش چشمگیر میزان مرگ‌ومیر شده است (Abdolahnejad et al, 2017: 78).

اعتقاد عامیانه بر این است که ذرات معلق گردوغبار فیزیکی ناشی از تعلیق ذرات بسیار ریز کانی‌های مختلف سنگ در هواست؛ ولی بررسی ماهیت میکروسکوپی ذرات نشان داده دوده و ذرات معلق ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در کارخانه‌ها، اتومبیل‌ها به‌ویژه اتومبیل‌های گازوئیل‌سوز، منشأ اصلی ذرات معلق در شهرهاست؛ برای نمونه بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون های موجود در هوای تهران نشان داد سولفات و نیترات و پس از آن کلسیم، بیشترین غلظت‌ها را در گردوغبار به خود اختصاص داده‌اند. بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها همبستگی زیادی دیده شد. ماتریس همبستگی بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها نشان داد ترکیبات محتمل موجود در ذرات ۲/۵ میکرون ممکن است $(NH4)_2SO_4$، $CaSO_4$، $CaCl_2$، K_2SO_4،KCl ، NaCl باشد (ارفعی‌نیا و همکاران، ۱۳۹٦: ۱۸).

دیگر بررسی‌ها نشان داد بیشترین غلظت فلزات در روزهای پرگردوغبار و بدون آن در کردستان مربوط به فلز آهن و در تیرماه بوده است. خطر ابتلا به سرطان برای تمام فلزات و هر سه گروه در روزهای پرگردوغبار بیشتر از روزهای بدون گردوغبار و مقدار آن کمتر از دو نفر در هر یک میلیون نفر است (Hosseini et al, 2015: 143).

بخشی از ذرات معلق را نیز به گردوغبار ناشی از غبار فیزیکی نسبت می‌دهند؛ برای نمونه بیشترین غلظت ذرات معلق در شهر تبریز ناشی از انتشار منابع احتراقی و وجود کارخانه‌های آسفالت، شن و ماسه و نبود فضای مناسب در کمربند جنوبی شهر تبریز، حد فاصل محدودۀ استقرار صنایع و محدودۀ شهر است (Gholampour et al, 2015: 552).

بررسی‌ها نشان داده است غلظت بیوآئروسل‌ها در مکان‌ها و موقعیت‌های مختلف در شهر اهواز با هم متفاوت است. میزان آلودگی در مکان‌های مختلف از عواملی نظیر فعالیت‌های انسانی، تراکم وسایط نقلیه، تراکم جمعیت و شرایط محیط نظیر دما و رطوبت پیروی می کند. خطرات ناشی از میکروارگانیسم های هوا، یکی از تهدیدکنندگان سلامتی انسان‌هاست که در این بین، ذرات معلق موجود در هوا نقش ویژه‌ای دارند (خدارحمی و همکاران، ۱۳۹٤: ٦۹).

[1] WHO

در سال‌های اخیر در شهرهای بزرگ میزان و تراکم ذرات معلق افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که براساس مطالعه صورت گرفته میانگین غلظت روزانهٔ ذرات PM2.5 در محوطهٔ بیمارستان سینای تهران بیشتر از استانداردهای هوای پاک ایران و سازمان جهانی بهداشت (۲۵ میکروگرم بر مترمکعب) و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۳۵ میکروگرم بر مترمکعب) بوده است(کرمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۱).

ادارهٔ اروپایی سازمان بهداشت جهانی آثار بهداشتی آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق هوا را بررسی کرده و توصیهٔ لازم را برای سیاست‌گذاران با هدف تسریع توسعهٔ راهبردهای مؤثرتر برای کاهش آلودگی هوا و آثار بهداشتی آن در کشورهای اروپای شرقی، قفقاز و آسیای مرکزی ارائه داده است (World Health Organization Europe, 2009). غلظت متوسط سالیانهٔ ذرات ۲/۵ میکرون شهر تهران ۷٦ میکروگرم بر مترمکعب و ۳/۸۱ برابر استاندارد ایران و WHO است. تعداد مرگ ومیر منتسب به این ذرات ۱۹۰٤ نفر با جزء منتسب ۳/۷۵درصد است (Kermani et al, 2017: 301)؛ با این حال تهیهٔ نقشهٔ توزیع آلودگی با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر در هوای شهر تهران با استفاده از روابط تجربی موجود بین بازتابندگی در طول موج مرئی و ۲/۱۲ میکرومتر نشان داد آلودگی مناطق مرکزی و جنوب غربی تهران بیش از سایر قسمت‌های شهر است (حجازی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱٦۱). بررسی کیفیت هوا در ایران نشان می‌دهد در بیشتر شهرها ازجمله تهران مقادیر آلایندگی بیش از حد مجاز WHO است و باید مداخلات دولت به‌طور مؤثر برای کاهش سطح زیادی از آثار نامطلوب سلامتی در ایران اجرا شود (Hopke et al, 2018: 497).

افزایش میزان ذرات ۲/۵ میکرون با افزایش میزان مرگ ومیر پیوند می‌خورد. تخمین زده می‌شود با افزایش ۱۰ نانوگرم در مترمکعب ذرات ۲/۵ میکرون در دورهٔ کوتاه‌مدت دو روزه، ۲/۱٤درصد و در دورهٔ بلندمدت یک‌ساله، ۷/۵۲درصد بر میزان مرگ‌ومیر افزوده شود. مدل اسپلاین نشان می‌دهد در معرض ذرات ۲/۵ میکرون به میزان ٦ نانوگرم در مترمکعب قرارگرفتن به‌صورت بلندمدت به افزایش مرگ‌ومیر با شیب تندتری می‌انجامد (Shi et al, 2016: 46).

مطالعهٔ ارتباط بین ذرات معلق ۲/۵ میکرون و سطح فعالیت دانش آموزان چینی منجر به این نتیجه شده که آلودگی هوا با ذرات معلق PM2.5 به شدت فعالیت بدنی را میان دانش آموزان چینی کاهش داده و تأثیر غلظت PM2.5 محیطی در همهٔ فعالیت‌های معمولی بدنی در مردان نسبت به زنان بیشتر بوده است (Yu et al, 2017: 9).

براساس مدل Air_Q تعداد کل مرگ ومیرهای ناشی از بیماری‌های قلبی‌عروقی و تنفسی منتسب به ذرات ۲/۵ میکرون ناشی از مواجههٔ طولانی‌مدت با غلظت بیشتر این ذرات است (Lak et al, 2016: 210).

ذرات معلق ۲/۵ میکرون که قطری حدود یک بیستم قطر انتهایی موی سر دارد، وارد ریه و جریان خون می شود. این ذرات مرگ‌ومیر ده‌ها هزار نفر را براثر نارسایی، حملات قلبی و حملات آسم هرساله در پی داشته است (EPA. Environmental Protection Agency[1], 2009). بسیاری از سرطان‌ها به آلودگی هوا ازجمله ذرات معلق

[1] سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا

مربوط می‌شود. در این زمینه تکنولوژی OoC برای مطالعهٔ آلودگی هوا و نیز مدل سازی عملکرد ریه های سالم و آسیب‌شناسی استفاده می‌شود (Schulze et al, 2017: 25).

در شهر بوکان بیشترین غلظت ساعتی ذرات PM2.5، ٤۰۰/۵۲ میکروگرم بر مترمکعب و در سال ۹٤ تعداد کل مرگ ناشی از تماس با این ذرات ۵۰ نفر بوده است (کرمانی و همکاران، ۱۳۹٦: ۲٦۷).

در این پژوهش تغییرات زمانی - مکانی ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون براساس داده های سازمان محیط زیست در سطح شهر اصفهان مطالعه شده است. آگاهی از قانونمندی این تغییرات در اصلاح شرایط میکروکلیمایی شهر و بهبود کیفیت هوای شهر اصفهان مؤثر است.

روش‌شناسی پژوهش

برای این پژوهش از داده‌های روزانهٔ ۷ ایستگاه آلوده‌سنجی این شهر مربوط به سازمان حفاظت محیط زیست اصفهان در دورهٔ آماری ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ استفاده شده که مشخصات و موقعیت آن در جدول (۱) نشان داده شده است. بررسی اولیهٔ داده ها نشان داد در بیشتر ایستگاه‌ها داده‌ها مفقودی زیادی داشته و فقط دو ایستگاه احمدآباد و الیادران از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ داده‌های منظمی داشته است؛ بقیهٔ ایستگاه‌ها گپ آماری زیادی دارند؛ بنابراین از داده‌های این دو ایستگاه برای بررسی سیر زمانی و از بقیهٔ ایستگاه‌ها برای بررسی توزیع مکانی بهره‌گیری شد.

جدول- ۱: مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های آلوده‌سنجی شهر اصفهان

	ایستگاه	طول	عرض	دورهٔ آماری
۱	میدان احمدآباد	۳٦۱٤۲٤۲/٤	۵٦۳۵۰٦/٦۷	۱۳۹۱-۱۳۹۵
۲	الیادران	۳٦۱۳٤۷۲/۸	۵٦۰۲۷٤/۹۱	۱۳۹۱-۱۳۹۵
۳	خواجو	۳٦۱۱۹۹۸/۷	۵٦۳۹۸٦/۳۳	۱۳۹۱-۱۳۹۵
٤	میدان امام حسین (ع)	۳٦۱۳۵۰۱/٦	۵٦۳۲۸۲/۵٤	۱۳۹۱-۱۳۹۵
۵	ولی عصر	۳٦۱۰۰۹۳/۲	۵۵۸۳۲۰/٤۸	۱۳۹۱-۱۳۹۵
٦	خیابان وحید	۳٦۱۰٤۷۰/٤	۵۵۹۸۸۳/۲۸	۱۳۹٤-۱۳۹۵
۷	میدان آزادی	۳٦۰۹٦۲۱/۲	۵٦۲۳۰۳/۵۸	۱۳۹٤-۱۳۹۵

نقطهٔ شروع هرگونه تصمیم برای کنترل و مقابله با هر پدیدهٔ نامطلوب، آگاهی از قانونمندی و توزیع زمانی و مکانی آن است. در این راستا از روش‌های آماری همبستگی به‌منظور تحلیل ارتباط پدیده با زمان و از خودهمبستگی برای بررسی قانونمندی پیوستگی زمانی ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون و آگاهی از آن استفاده شد. ضریب خودهمبستگی بر ارتباط یک متغیر با خودش دلالت دارد و پایداری و استمرار یک پدیده را در طول زمان نشان می‌دهد (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۲۷۱). براساس رابطهٔ ۱ مدل‌های خودبازگشت سری زمانی هر مشاهده، سری زمانی را به ترکیبی خطی از یک یا چند مشاهدهٔ پیش از آن نسبت می‌دهد (گلدسته و همکاران، ۱۳۷۷: ۱٦۳).

رابطهٔ ۱ $$y_t = \mu + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + e_t$$

مدل خودبازگشت مرتبهٔ ۲ را با ضریب α_1 و α_2 و مقدار ثابت μ نشان می‌دهد؛ زیرا هر مشاهده در هر زمان دلخواه به دو مشاهدهٔ پیش از خود برمی‌گردد. e_t، خطای مدل در لحظهٔ t را به نمایش می‌گذارد.

ضریب همبستگی مرتبهٔ kام یک سری زمانی ایستای y_t از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود (گلدسته و همکاران، ۱۳۷۷: ۱۸۳).

$$r_k = \frac{C_k}{C_0} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k}(y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})}{\sum_{t-1}^{N}(y_t - \bar{y})^2}\pi r^2$$ رابطهٔ ۲

معمولاً k از یک تا $N/4$ تغییر می‌کند.

همچنین از تحلیل فراوانی برای بررسی روزهای آلودهٔ منتسب به ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون (PM2.5) و از روش میان یابی کمترین فاصلهٔ معکوس[1] در محیط نرم‌افزاری Arvc_GIS برای بررسی توزیع مکانی استفاده شد. طبقه بندی داده‌ها برای استخراج فراوانی روزهای آلوده به ذرات معلق براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) انجام شد. آستانهٔ سلامتی مرتبط با آلودگی ذرات معلق به صورت متفاوتی تعریف شده است که در این پژوهش از شاخص استاندارد آلودگی هوای[2] (AQI) ایالات متحدهٔ آمریکا استفاده شد. این شاخص متوسط ۲٤ساعتهٔ ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون مرتبط با سلامتی انسان را به صورت جدول (۲) تعریف کرده است.

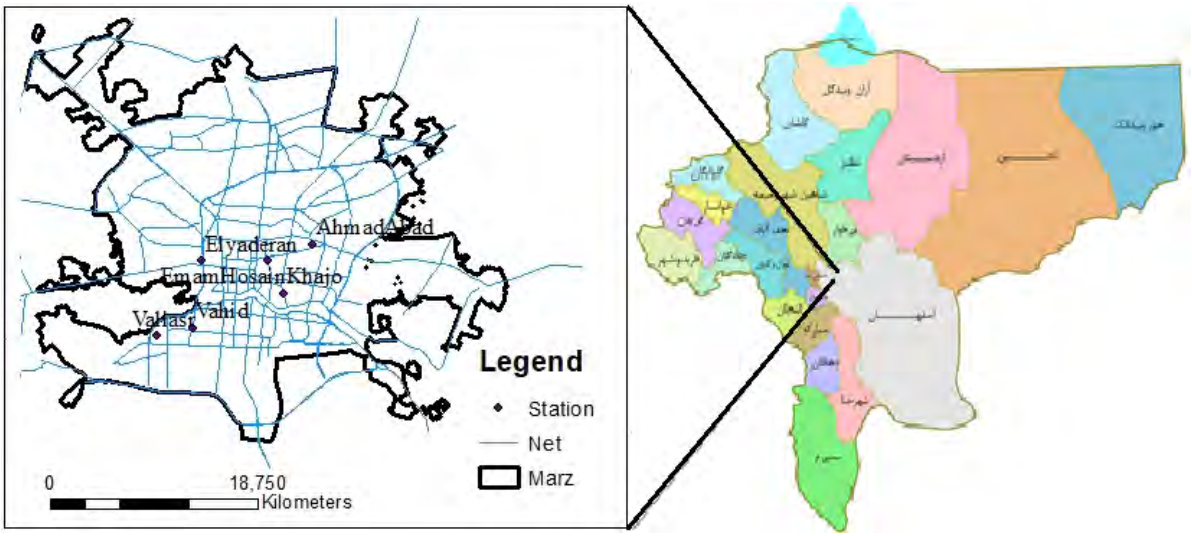
جدول- ۲: شاخص کیفیت آلودگی هوای (AQI) ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون به نانوگرم بر مترمکعب ($\mu g/m^2$) هوا و مقادیر متناظر براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا EPA

خوب	مناسب	ناسالم برای گروه‌های حساس	ناسالم برای همه	بسیار ناسالم	خطرناک	بسیار خطرناک
۰-۱۵/٤	۱۵/۵-٤۰/٤	٤۰/۵-٦۵/٤	٦۵/۵-۱۵۰/٤	۱۵۰/۵-۲۵۰/٤	۳۵۰/٤-۲۵۰/۵	۳۵۰/۵-۵۰۰

محدودهٔ پژوهش

شهر اصفهان در محدودهٔ جغرافیایی x=۳٦۰۰٤۷٦ تا x=۳٦۲۳۳۹٦ و y=۵۵۲۳۷۵ تا y=۵۷٤۰۰۵ در مرکز استان اصفهان و ایران قرار گرفته است (شکل ۱). جمعیت این شهر در سال ۹۰ برابر با ۱،۷۹٦،۹٦۷ بوده که به ۲٤۳،۲٤۹،۲ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است. رشد شتابان جمعیت و ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی شهر باعث شده است میزان آلودگی در این شهر افزایش یابد.

[1] IDW
[2] Air Quality index (AQI)



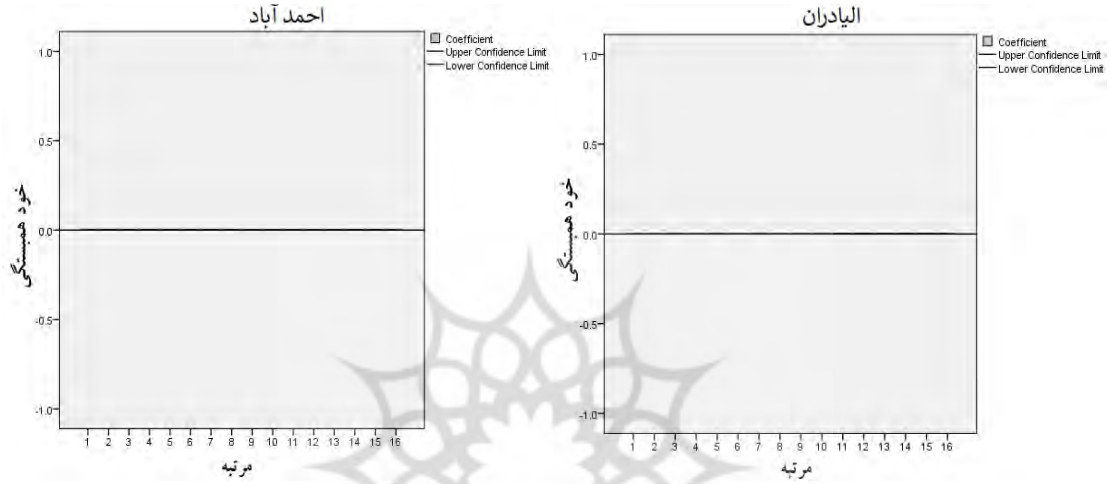
شکل- ۱: موقعیت جغرافیایی شهر اصفهان در استان و موقعیت ایستگاه‌های آلوده‌سنجی در شهر

تجزیه وتحلیل یافته‌های پژوهش

بررسی اولیهٔ میزان آلودگی منتسب به ذرات معلق نشان می‌دهد متوسط تراکم ذرات معلق در سال ۹٤ و ۹۵ در ۷ ایستگاه آلوده‌سنجی اصفهان به ترتیب ۳٦/۱ و ۳۰/۵ نانوگرم در مترمکعب هوا و نشان‌دهندهٔ کاهش غلظت ذرات معلق در شهر اصفهان بوده است. متوسط بیشترین میزان تراکم دیده شده در سال ۹٤ و ۹۵ به ترتیب برابر با ۱۱۱/۱ و ۱۲۰ نانوگرم در متر مکعب هواست. بالاترین میزان رخ‌داده در سال‌های ۹٤ و ۹۵ به ترتیب در ایستگاه‌های احمدآباد و ولی عصر برابر با ۱٤۷/٦ و ۱٤٦/۷ نانوگرم در متر مکعب بوده که حداکثر مطلق میزان ذرات معلق در سال ۹۵ نسبت به سال ۹٤ افزایش نشان می‌دهد. بررسی روند تغییرات تراکم ذرات معلق با استفاده از مدل‌های رگرسیونی نشان داد تغییرات تراکم ذرات معلق از روند معینی پیروی نمی‌کند و مستقل از زمان است؛ به‌طوری‌که ضریب تبیین برای مدل خطی برابر با R^2=۰/۰۵۸ است. بهترین برازش زمانی تغییرات ذرات معلق مربوط به مدل نمایی است که ضریب تبیین برابر با R^2=۰/۱۲۹ است. برای اطمینان از پیوستگی زمانی و روندداربودن سری داده‌ها از مدل خودهمبستگی استفاده شد که نتایج آن در شکل (۱) نشان داده شده است. محور افقی نمودارهای شکل ۲، ضریب k و محور عمودی، مقدار ضریب خودهمبستگی است. صفربودن مقادیر ضریب خودهمبستگی در همهٔ مرتبه‌ها روی این نمودارها نشانهٔ نداشتن وابستگی زمانی تغییرات ذرات معلق هر روز نسبت به روز قبل و تصادفی بودن کامل رخداد ذرات است؛ بنابراین نوسانات ذرات معلق در طول سال پیوستگی زمانی ندارد. علت این است که مقدار ذرات معلق از عوامل متعددی پیروی می‌کند که البته این عوامل نظم معینی دارند، ولی در هم کنش و تجمیع علل آنها، نوعی بی‌نظمی در محصول نهایی که همان ذرات معلق است ایجاد می‌کند. برای نمونه مقدار ازون متأثر از فعالیت فتوشیمیایی جو است و زمانی که خورشید در بیشترین تابش پرتوافشانی می‌کند، به بیشترین میزان در جو شهری افزایش می‌یابد یا NO متأثر از منابع انتشار خودروهای سبک در ساعات اولیهٔ صبح و SO متأثر از انتشار خودروهای سنگین با سوخت گازوئیل و سوخت فسیلی سنگین (مازوت و زغال سنگ) است؛ با این حال ذرات معلق از میزان انتشار ازون، اکسیدهای نیتروژن، سولفور گوگرد، شرایط هواشناختی و به ویژه رخداد باد تأثیر

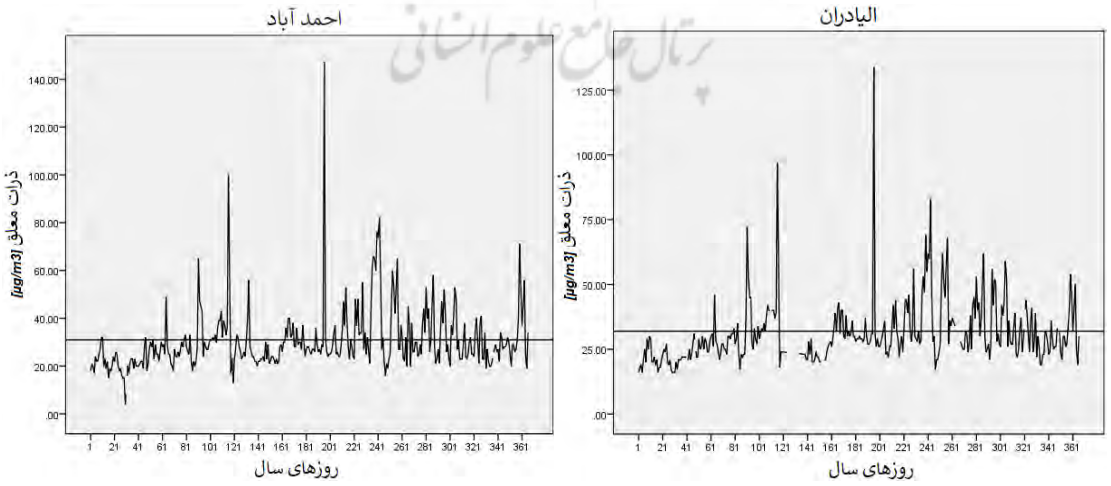
می‌پذیرد؛ بنابراین ممکن است متأثر از عوامل متعدد ازجمله منابع انتشار، شرایط هواشناختی و وزش باد، فعالیت فتوشیمیایی جو و دیگر عوامل باشد.

بررسی خسروی دهکردی و مدرس (۱۳۸٦) نیز پیروی نکردن تغییرات غیرخطی آلاینده‌هایی مانند اکسید سولفور و اکسید نیتروژن و نیز ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون را در طول زمان نشان می‌دهد که ممکن است ناشی از آثار فصلی باشد و از سایر توابع چندجمله‌ای درجه ۲ و ۳ پیروی می‌کند؛ همچنین دیگر بررسی‌ها نشان داد شاخص‌های آلودگی مانند ازون، مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید سولفور و PM10 از روند فصلی پیروی می‌کنند (Mansouri & Hamidian, 2013: 847).



شکل- ۲: تابع خودهمبستگی سری روزانهٔ داده‌های غلظت ذرات معلق در سال ۹۵ در ایستگاه‌های احمدآباد (سمت راست) و الیادران (سمت چپ)

بررسی نمودار طیفی ذرات معلق در شکل (۳)، تغییرات نامنظم را در دو ایستگاه احمدآباد و الیادران در سال ۹۵ نشان می‌دهد. ترسیم نمودار مشابه برای سال ۹٤ نیز نتایج مشابهی دربرداشت که از آوردن آن خودداری شده است. خط افقی میانگین ذرات معلق است.



شکل- ۳: نمودار طیفی تغییرات ذرات معلق ۲/۵ میکرون ایستگاه‌های الیادران و احمدآباد در سال ۹۵

به‌منظور اطمینان از وجود/ نبود خودهمبستگی در سری داده‌ها، آزمون دوربین - واتسون روی داده‌ها اعمال شد که نتایج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. براساس ضرایب همبستگی و تبیین، ارتباط خطی داده‌ها بسیار ضعیف است و براساس ضریب دوربین- واتسون داده‌ها نتیجه گرفته می‌شود که داده‌های سری روزانهٔ ذرات ۲/۵ میکرون هم در ایستگاه احمدآباد و هم الیادران در سال ۹۵ خودهمبستگی ندارند.

جدول- ۳: ضرایب همبستگی و تبیین و ضریب دوربین - واتسون برای داده‌های روزانهٔ ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ایستگاه‌های احمدآباد و الیادران در سال ۱۳۹۵

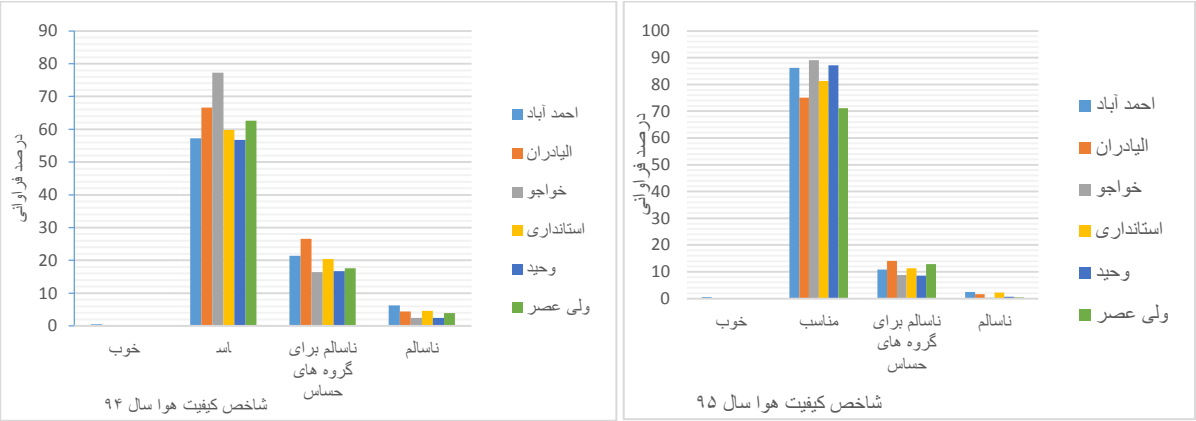
	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
احمدآباد	۰/۲٤۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵٦	۱۲/٦٦۷	۱/۱۰٤
الیادران	۰/۲٦۵	۰/۰۷۰	۰/۰٦۸	۱۲/۰٦۸	۱/۱۰۰

اثر تراکم ذرات معلق بر سلامتی انسان

برای بررسی اثر ذرات معلق بر سلامتی انسان، تراکم ۲٤ساعتهٔ غلظت ذرات معلق براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا کالیبره و فراوانی روزهایی بررسی و مقایسه شد که حد آستانه‌های سلامتی را قطع می‌کردند. بر این اساس در سال ۹٤ به طور متوسط در اصفهان در ٦۳/٤درصد روزهای سال (۲۳۵ روز) تراکم ۲٤ساعتهٔ ذرات معلق در شرایط مناسب[1] قرار و در سال ۹۵ به ۸۱/٦درصد (۲۹۸ روز) افزایش داشته است؛ همچنین روزهای با شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس و شرایط ناسالم برای تمام گروه‌ها در سال های ۹٤ و ۹۵ به ترتیب ۱۹/۸درصد (۷۲ روز) و ۱۱/۱درصد (٤۱ روز) بوده است. شرایط بسیار ناسالم در سال‌های ۹٤ و ۹۵ به ترتیب ٤درصد (۱۵ روز) و ۱/۳درصد (۵ روز) بوده است؛ البته به‌طور متوسط در ٦ ایستگاه آلوده‌سنجی اصفهان در سال ۹٤، ۱۲/۷درصد روزها (٤٦ روز) بدون ثبت داده[2] بوده است؛ در حالی که در سال ۹۵، ۵/۹درصد روزها (۲۱ روز) داده ثبت نشده است.

مقایسهٔ شاخص کیفیت هوای ایستگاه‌های مختلف روی هریک از نمودارهای شکل (٤) نشان می‌دهد وضعیت کیفی هوا در همهٔ ایستگاه‌های اصفهان در سال ۹۵ نسبت به ۹٤ بهبود یافته است؛ به‌طوری‌که بر تعداد روزهای مناسب افزوده و از تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس کم شده است؛ البته در بعضی ایستگاه‌ها تعداد روزهای ناسالم برای همهٔ گروه‌ها زیاد شده است. بهبود کیفیت در وضعیت هوا نسبت به ذرات معلق ۲/۵ میکرون عمدتاً به الزام در رعایت استاندارد یورو ٤ در سوخت خودروها و رعایت استانداردهای آلودگی و جایگزینی سوخت سبک به جای سنگین در کارخانه‌های تولید نیروی الکتریسیته و سایر مراکز مصرف انرژی فسیلی نسبت داده می‌شود.

[1] Moderate
[2] Missing Value



شکل- ٤: درصد فراوانی شاخص کیفیت هوا AQI ذرات معلق در ایستگاه‌های اصفهان در سال‌های ٩٤ و ٩٥

بررسی شاخص کیفیت هوای ذرات معلق در سال‌های ۹۳ تا ۹۵ در دو ایستگاه الیادران و احمدآباد که داده‌های منظم‌تری دارند از افزایش فراوانی روزهای مناسب و کاهش روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس از سال ۹۳ تا ۹۵ حکایت دارد که نشان دهندهٔ افزایش کیفیت هواست (جدول ٤). دو اقدام مهم جایگزینی سوخت سبک گاز طبیعی در نیروگاه‌ها و کارخانه ها در تیر ۹۳ و اصلاح سوخت وسایل نقلیهٔ درون و حومهٔ شهری به استاندارد یورو ٤ در مهرماه ۹۳ انجام شد که نتایج آن در سال‌های ٩٤ و ٩٥ بروز کرده است.

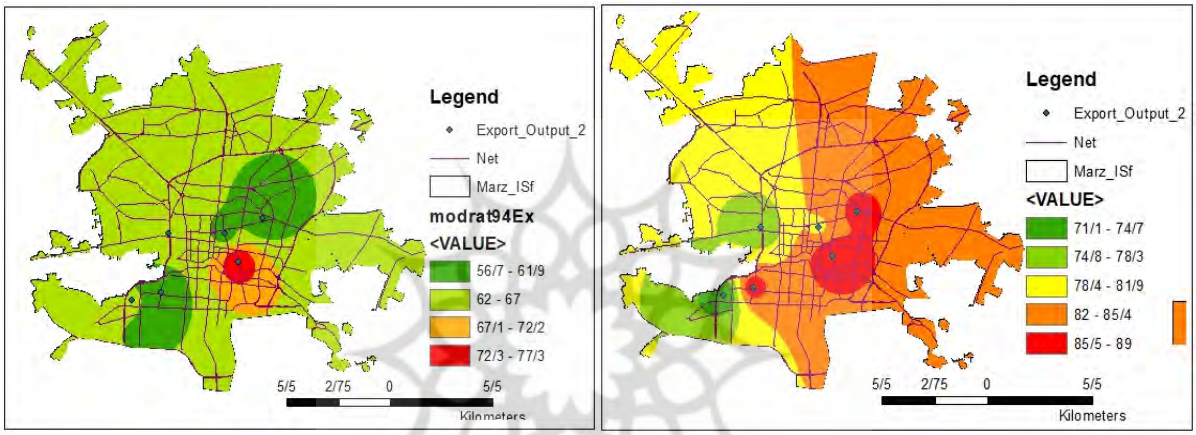
جدول- ٤: درصد فراوانی شرایط شاخص کیفیت هوای ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون برای دو ایستگاه آلوده‌سنجی الیادران در غرب و احمدآباد در شرق اصفهان

	ایستگاه الیادران			ایستگاه احمدآباد		
	سال ۹۳	سال ٩٤	سال ٩٥	سال ۹۳	سال ٩٤	سال ٩٥
خوب	–	–	–	۱/۲	۰/۵	۰/۵
مناسب	۳۱/۹	٦٦/۷	۷۵/۰	٤۲/۵	۵۷/۳	۸٦/۲
ناسالم برای گروه‌های حساس	٤٦/۱	۲٦/۵	۱٤/۱	۳۵/۸	۲۱/٤	۱۰/۸
ناسالم	۱٦/۸	٤/٤	۱/٦	۱٤/۸	٦/۳	۲/۵
بدون داده	۵/۲	۲/٤	۹/۲	۵/۰	۱٤/۸	–

برای بررسی بهتر شرایط کیفیت هوای اصفهان، نقشه‌های توزیع متوسط ذرات معلق سالیانه در سطح مناسب، ناسالم برای گروه‌های حساس و ناسالم ترسیم شد. بررسی این نقشه‌ها روی شکل (۳) نشان می‌دهد بیشتر روزهای با شرایط مناسب در محدودهٔ ایستگاه خواجو و اطراف زاینده‌رود متمرکز است و از فراوانی تعداد این روزها در شرق و جنوب غرب کاسته شده است.

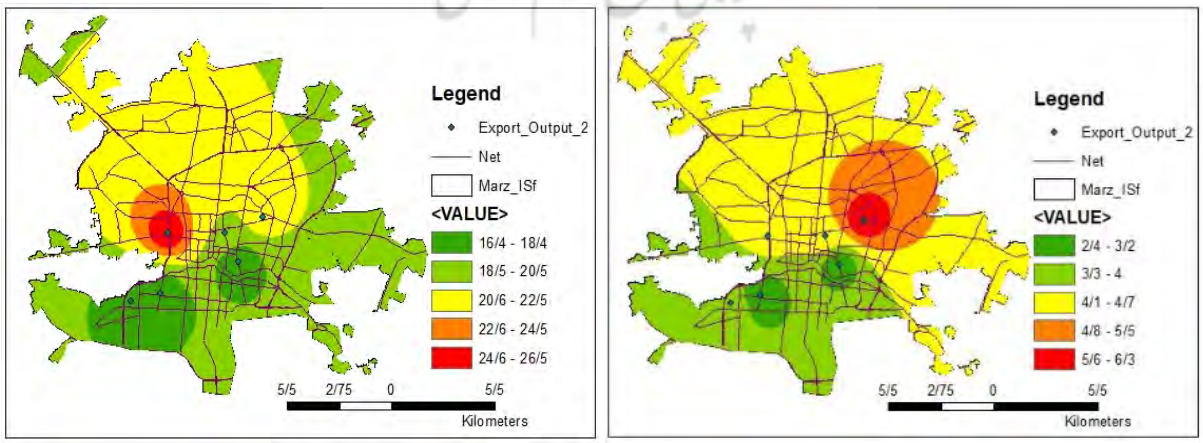
مقایسهٔ نقشهٔ توزیع فراوانی روزهای با شرایط مناسب در سال ٩٤ و ٩٥ در شکل (۵) نشان می‌دهد فراوانی و گسترهٔ فراوانی روزهای با شرایط مناسب افزایش یافته و جهت این افزایش به سمت شرق، جنوب شرق و شمال شرق بوده است. این موضوع نشان می‌دهد اعمال سیاست های کاهش آلودگی منجر به بهبود کیفیت هوا در نواحی آلوده‌تر می‌شود؛ به این معنا که نواحی آلوده‌تر از سیاست‌های مبارزه با آلودگی بیشتر سود برده‌اند.

سه عامل الف- ممانعت از مصرف روزانهٔ بیش از ۱۵ میلیون لیتر مازوت در نیروگاه‌های مجاور اصفهان و جایگزینی آن با گاز طبیعی که موجب جلوگیری از انتشار بیش از ۱۷۷۰ تن انواع آلاینده‌ها به‌ویژه SO2 و PM2.5 می شود، ب- تولید و توزیع سوخت (بنزین و گازوئیل) با استاندارد یورو ٤ در وسایل نقلیه در منطقهٔ مرکزی اصفهان و ج- توسعه و تجهیز حمل‌ونقل عمومی با استانداردهای جدید و جایگزینی سوخت گاز به جای گازوئیل، علل اصلی بهبود کیفیت هوای شهر اصفهان بوده است (صادقیان، ۱۳۹۷)؛ با این حال عواملی همچون توسعهٔ خطوط و مسیرهای ویژهٔ اتوبوس‌های تندرو (BRT)، افزایش معابر و تقاطع‌های غیرهمسطح و پارکینگ‌های طبقاتی در مرکز شهر، مدیریت نامحسوس ترافیک شهر، توسعهٔ ایستگاه‌ها و مسیرهای اختصاصی دوچرخه، توسعهٔ مراکز معاینهٔ فنی سبک به ۳۷ مرکز و سنگین به ۸ مرکز و تجهیز آنها، تجهیز ۱٤۲ واحد صنعتی به سیستم‌های کنترل آلودگی هوا و رفع آلایندگی و ... از دیگر اقدامات سازمان حفاظت محیط زیست اصفهان بوده است (صادقیان، ۱۳۹۷).



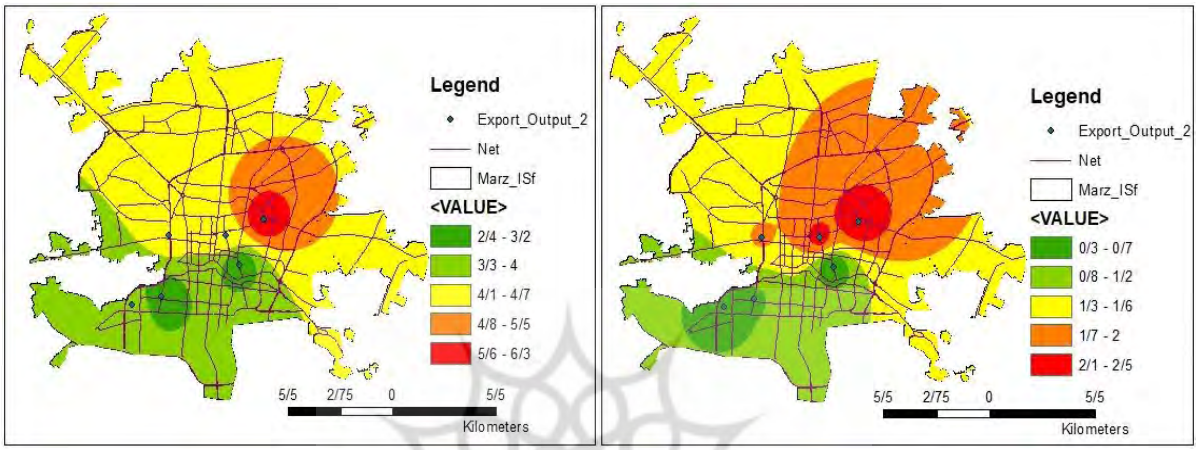
شکل- ۵: نقشهٔ درصد فراوانی شرایط مناسب زیستی نسبت به ذرات معلق سال ۹٤ (سمت چپ) و سال ۹۵ (سمت راست)

همچنین مقایسهٔ نقشه‌های درصد توزیع فراوانی روزهای با شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس نشان از کاهش کلی این تعداد روزها در تمام گسترهٔ شهر اصفهان دارد که البته این افزایش روزها به نفع مناطق غربی استان است و در مناطق شرقی تعداد روزهای با شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس کاهش کمتری را تجربه کرده و با خطر بیشتری مواجه است (شکل ٦).



شکل- ٦: نقشهٔ درصد فراوانی رخداد شرایط ناسالم برای گروه‌های حساس سال ۹٤ (سمت چپ) و سال ۹۵ (سمت راست)

بررسی و مقایسهٔ نقشه‌های توزیع درصد فراوانی روزهای ناسالم (شکل ۷) نیز نشان می‌دهد تعداد روزهای با آلودگی شدیدتر در شرق و شمال شرق اصفهان در سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ کاهش کمتری داشته است. بدین مفهوم شدت آلودگی در جنوب و غرب اصفهان کاهش چشمگیری داشته، ولی این کاهش در شرق اصفهان کمتر بوده است؛ بنابراین در روزهای با وارونگی هوا، خطر بیشتر مردم شرق و شمال شرق اصفهان را تهدید می‌کند؛ همچنین تعداد روزهای با آلودگی شدیدتر در سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ گسترهٔ بیشتری را در شرق و شمال شرق اصفهان دربرگرفته و به سمت نواحی شمالی اصفهان گسترش یافته است.



شکل- ۷: نقشهٔ درصد فراوانی رخداد شرایط ناسالم برای تمام گروه‌ها در سال ۹۴ (سمت چپ) و سال ۹۵ (سمت راست)

نتیجه‌گیری

یکی از آلاینده‌هایی که در سال‌های اخیر ذهن مسئولان و متولیان بخش بهداشت و درمان را شدیداً به خود مشغول داشته، آلودگی هوای منتسب به افزایش تراکم ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون در شهرهای بزرگ صنعتی کشور ازجمله اصفهان است؛ به‌طوری‌که براساس پژوهش‌های صورت‌گرفته علت مرگ حدود ۵۰۰ نفر در هر سال در شهر اصفهان را به این آلاینده نسبت می‌دهند (Jafari et al, 2017 : 17)؛ از این رو در این پژوهش آمار و توزیع پراکندگی این پدیده مطالعه شده است. براساس تحلیل همبستگی و خودهمبستگی صورت‌گرفته، روند تغییرات زمانی سری داده‌های ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون روزانهٔ اصفهان همبستگی زمانی ندارد و از نظم معینی پیروی نمی‌کند؛ زیرا متأثر از عوامل متعددی است که گاه روند متفاوتی با هم دارند.

براساس نتایج این پژوهش در حال حاضر فراوانی نسبی روزهای آلوده در شهر اصفهان در حد مناسب برای زیست برمبنای استاندارد آمریکا در بیشتر اوقات سال حفظ شده و حتی سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ بهبود و ارتقا داشته است؛ با این حال روزهای با آلودگی شدید بیشتر در نواحی شرق و مرکز شهر اصفهان بوده و محدودهٔ جغرافیایی بیشتری را دربرگرفته است؛ بنابراین در روزهای آلودهٔ شدید مردم در شرق و مرکز اصفهان با خطر بیشتری مواجه هستند؛ این نتیجه با پژوهش جعفری و همکاران (۲۰۱۷) انطباق دارد؛ با این حال اگر کاهش تعداد روزهای با آلودگی شدیدتر به سیاست‌های سازمان محیط زیست نسبت داده شود، باید اذعان داشت این ارتقا در نواحی غربی و جنوبی و نواحی با آلودگی شدیدتر، کاراتر و مؤثرتر بوده است.

بررسی‌ها نشان داد ازجمله مهم‌ترین علل افزایش کیفیت هوای اصفهان، جایگزین‌کردن سوخت‌های سبک ازجمله گاز طبیعی به جای سوخت‌های سنگین مانند مازوت در نیروگاه‌های مجاور شهر اصفهان، استفاده از سوخت بنزین و گازوئیل یورو ٤ در خودروهای سبک و اتوبوس‌های درون‌شهری اصفهان و نیز جایگزینی سوخت گاز در اتوبوس‌های شهری است.

تشکر و قدردانی: از جناب آقای بابک صادقیان، رئیس محترم آزمایشگاه‌های پایش و کنترل کیفی سازمان محیط‌زیست استان اصفهان، برای بذل همکاری در ارائهٔ داده‌های لازم تشکر و سپاس فراوان دارم.

منابع

۱- ارفعی‌نیا، حسین، هاشمی، سید عنایت، نبی‌زاده، رامین، علم‌الهدی، علی‌اصغر و کرمانی، مجید، (۱۳۹٦)، **بررسی غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در ذرات ۲/۵ میکرون در هوای آزاد منطقهٔ دوازده شهر تهران**، دو ماهنامهٔ طب جنوب پژوهشکدهٔ زیست پزشکی خلیج فارس دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، دورهٔ ۲۰، شمارهٔ ۱، ۳۰-۱۸.

۲- حجازی، عباس، مباشری، محمدرضا و احمدیان مرج، ابوالفضل، (۱۳۹۱)، **تهیهٔ نقشهٔ توزیع مکانی ذرات معلق با قطر کمتر از دوونیم میکرومتر در هوای شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجندهٔ مودیس**، نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ۲٦، تهران، ۱۷۸-۱٦۱.

۳- خدارحمی، فاطمه، گودرزی، غلامرضا و هاشمی شهرکی، عبدالرزاق، (۱۳۹٤)، **بررسی ارتباط پتانسیل رشد اکتینومیست‌ها با غلظت ذرات معلق و شرایط محیطی در شرایط عادی و گردوغباری هوای اهواز طی فصول مختلف سال ۹۹**، مجلهٔ علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، دورهٔ ۲۳، شمارهٔ ۵، ایلام، ۸۰-٦۹.

٤- خسروی دهکردی، اردشیر و مدرس، رضا، (۱۳۸٦)، **تحلیل سری زمانی روزانهٔ آلودگی هوای اصفهان ناشی از صنعت پتروشیمی**، محیط‌شناسی، سال ۳۳، شمارهٔ ٤٤، تهران، ٤۲-۳۳.

۵- رحیم‌زاده، فاطمه، (۱۳۹۰)، **روش‌های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی**، انتشارات سید باقر حسینی، چاپ اول، تهران، ٤۲۳ ص.

٦- صادقیان، بابک، (۱۳۹۷)، مصاحبه با رئیس آزمایشگاههای پایش و کنترل کیفی سازمان محیط زیست استان اصفهان، خرداد، سازمان حفاظت محیط زیست اصفهان.

۷- کرمانی، مجید، ارفعی نیا، حسین، نبی زاده، رامین و علی محمدی، محمود، (۱۳۹۲)، **بررسی غلظت ذرات معلق کوچک‌تر ۲/۵ میکرون، فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مرتبط با آنها در هوای محدودهٔ بیمارستان سینای تهران**، مجلهٔ مهندسی بهداشت محیط، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۲، تهران، ۱۰۳-۹۳.

۸- کرمانی، مجید، آذرشب، خالد، دولتی، محسن و قادرپوری، منصور، (۱۳۹٦)، **بررسی شاخص کیفیت هوا و کمی‌سازی میزان مرگ‌ومیر ناشی از مواجهه با ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون شهر بوکان در سال ۱۳۹٤**، مجلهٔ مهندسی بهداشت محیط، دورهٔ ٤، شمارهٔ ٤، تهران، ۲۷۸-۲٦۹.

۹- گلدسته، اکبر، آقامیرکریمی، سعید، خدارحمی، مصطفی، ترابی، محمود و اصغری، راحله، (۱۳۷۷)، **راهنمای کاربران SPSS**، مرکز فرهنگی انتشارات حامی، جلد دوم، چاپ اول، تهران، ۵۳۱.

۱۰- لیلی، مصطفی، ندافی، کاظم، نبی‌زاده، رامین، یونسیان، مسعود، مصداقی‌نیا، علیرضا و نظم‌آرا، شاهرخ، (۱۳۸۸)، **غلظت ذرات معلق و شاخص کیفیت هوای محدودهٔ مرکزی شهر تهران**، دوازدهمین همایش بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکدهٔ بهداشت، آبان‌ماه، تهران، ۳۹۱-۳۸۱.

11- Abdolahnejad, A., Mohamadi, A., Miri, M., Hajizadeh, Y., Nikoonaba, A., (2017). **Cardiovascular, respiratory, and total mortality ascribed to PM_{10} and $PM_{2.5}$ exposure in Isfahan, Iran**, Journal education health Promotion, Vol 6, No 109, Pp 1-10.

12- EPA, Environmental Protection Agency, (2009). **Integrated Science Assessment for Particulate Matter**, National Center for Environmental Assessment-RTP Division Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC, Report, 15 p.

13- Gholampour, A., Nabizadeh, R., Hassanvand, M.S., Taghipour, H.S., Faridi, A.H., Mahvi, (2015). **Investigation of the ambient particulate matter concentration changes and assessing its health impacts in Tabriz**, Iran, J. Health & Environment, Vol 7, No 4, Pp 11-25.

14- Jafari, N., Mohammadi, A., Nemati, S., Hajizadeh, Y., Shirvani, A., Abdolahnejad, A., Shiravand, B., (2017). **Spatial Analysis of Outdoor Air Pollutants and Attributable Mortality in Isfahan**, Journal of Health Research in Community, Vol 2, Issue 4, Pp 11-25.

15- Hopke, P.K., Hashemi Nazari, S.S., Hadei, M., Yarahmadi, M., Kermani, M., Yarahmadi, E., Shahsavani, A., (2018). **Spatial and Temporal Trends of Short-Term Health Impacts of PM2.5 in Iranian Cities**; a Modelling Approach (2013–2016), Aerosol and Air Quality Research, Vol 18, Pp 497–504.

16- Hosseini, G., Teymouri, P., Giahi, O., Maleki, A., (2015). **Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM10 in Kurdistan University of Medical Sciences Campus**, Journal of Mazanderan University Medical Science, 25 (132), Pp 136-146.

17- Kermani, M., Dowlati, M., Jonidi Jafari, A., Rezaei Kalantari, R., (2017). **Estimation ofMortality and Morbidity due to Exposure to Respirable Particulate Matter (RPM) in the Air of Tehran in 2014– 2015**, Journal of Occupational and Environmental Health, Vol 2, No 4, Pp 301-310.

18- Lak, S., Fazlzadeh, M., Ghanbari Ghozigoli, M., (2016). **Quantification of Health Impacts of Exposure to Atmospheric PM2.5Using AirQ Model in Tabriz City**, Journal of Occupational and Environmental Health, Vol 2, No 3, Pp 210-219.

19- Mansouri, B., Hamidian, A.H., (2013). **Assessment of the Air Quality of Isfahan City, Iran**, Using Selected Air Quality Parameters, Iranian Journal of Toxicology, Vol 7, No 21, Pp 842-848.

20- Schulze, F., Gao, X., Virzonis, D., Damiati, S., Schneider, M.R., and Kodzius, R., (2017). **Air Quality Effects on Human Health and Approaches for Its Assessment through Microfluidic Chips**, Genes, Volume 8, No 244, Pp 25-52.

21- Shi, L., Zanobetti, A., Kloog, I., Coull, B.A., Koutrakis, P., Melly, S.J., and Schwartz, J.D., (2016), **Low-Concentration PM2.5 and Mortality: EstimatingAcute and Chronic Effects in a Population-Based Study**, environmental health perspectives, Environmental Health Perspectives, Vol 124, No 1, Pp 46-52.

22- WHO Regional Office for Europe, (2013). **Health effects of particulate matter, Report**, DK-2100 Copenhagen O, Denmark.

23- Yu, H., Yu, M., Gordon, Sh.P., and Zhang, R., (2017). **The association between ambient fine particulate air pollution and physical activity: a cohort study of university students living in Beijing**, International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, Vol 14, No136, Pp 1-10.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی