Urban Ecology Researches *Open Access*

Vol. 16(4), (Series 41): 79-98

DOI: 10.30473/grup.2025.73072.2898

E-ISSN: 2538-3949 P-ISSN: 2538-3930

ORIGINAL ARTICLE

Analysis of the Spatial Pattern of Extreme Particulate Materials in Tehran

Raheleh Saniei[1]*, Ali Zangiabadi[2], Mohammad Sharifikia[3]

1. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Remote Sensing, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

***Correspondence**
Raheleh Saniei
Email: r.saniei@modares.ac.ir

Receive Date: 14/Dec/2024
Revise Date: 11/Jan/2025
Accept Date: 09/ Mar/ 2025

How to cite
Saniei, R., Zangiabadi, A., & Sharifikia, M. (2026). Analysis of the Spatial Pattern of Extreme Particulate Materials in Tehran. *Urban Ecology Researches*, 16(4), 79-98.

ABSTRACT

In recent century, the air pollution hazard in the cities is a major challenge for the world's metropolises including Tehran. Currently, this city, due to special management and environmental features has the necessary requirements of air pollution and as acknowledged by many experts, its situation is changing from environmental hazard to environmental crisis. The aim of this study is, showing the extreme spatial pattern of Particulate Matter (PM)2.5 and PM10 microns in a first step and its expansion path in Tehran and, ultimately identifying polluted areas. To achieve the above goals, the daily Air Quality Index (AQI) data were collected. The various methods of determining the distribution of probability, was used to select the days of high extreme value. In this regard, geostatistical and deterministic interpolation methods and to make spatial pattern of high extreme values of PM was tested. The findings demonstrate that radial basis function (RBF) interpolation outperformed other methods across all study days and for both $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations. The spatial pattern of emissions of PM10 microns drawn from West to East and of northern and northeastern have better spatial pattern of PM2.5while drawn from north to south. On days when two pollutants are at their extreme surround almost the entire city.

KEYWORDS

Air pollution, particulate matter, spatial pattern, extreme value analysis, Tehran.

Copyright © 2026, by the author (s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه علمی
پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری

سال شانزدهم، شماره چهارم، (پیاپی ۴۱)، زمستان۱۴۰۴، (۹۸-۷۹)

DOI: 10.30473/grup.2025.73072.2898

E-ISSN: 2538-3949 P-ISSN: 2538-3930

«مقاله پژوهشی»

تحلیل الگوی مکانی آلاینده‌های ذرات معلق فرین در تهران

راحله صنیعی [۱]*، علی زنگی‌آبادی [۲]، محمد شریفی‌کیا [۳]

۱. استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
۳. دانشیار، گروه سنجش ازدور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

***نویسنده مسئول:** راحله صنیعی
رایانامه: r.saniei@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

استناد به این مقاله:
صنیعی، راحله؛ زنگی‌آبادی، علی و شریف‌کی، محمد (۱۴۰۴). تحلیل الگوی مکانی آلاینده‌های ذرات معلق فرین در تهران. *فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۶(۴)، ۹۸-۷۹.

چکیده

مخاطره آلودگی هوای شهرها در قرن حاضر چالش اصلی بسیاری از کلان‌شهرهای دنیا از جمله تهران است. در حال حاضر این شهر به سبب شرایط خاص مدیریتی و محیطی واجد شرایطی از آلودگی هوا است که به اعتقاد بسیاری از صاحب‌نظران در مسیر حرکت از مخاطره محیطی به بحران زیست‌محیطی قرار دارد. هدف پژوهش حاضر در گام نخست، نمایش الگوی مکانی فرین‌های ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرونی و مسیر گسترش آن‌ها در شهر تهران بوده و در نهایت شناخت مناطق آلوده می‌باشد. برای دستیابی به هدف پژوهش روش‌های مختلف تعیین توزیع احتمال وقوع، برای انتخاب روزهای فرین استفاده گردید. در این راستا روش‌های درون‌یابی زمین آماری و جبری جهت ایجاد الگوی مکانی فرین آلاینده‌ها مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که برای تمام روزها و آلاینده‌های ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرونی روش‌های توابع شعاع محور بهترین نتیجه را داشته است. از لحاظ الگوی مکانی فرین آلاینده‌ها ذرات معلق ۱۰ میکرونی از غرب به شرق کشیده شده و این درحالی است که الگوی مکانی ذرات معلق ۲/۵ میکرونی از شمال به جنوب کشیده شده است. در روزهایی که دو آلاینده در حد فرین بوده‌اند، آلودگی تقریباً تمام شهر را احاطه کرده است.

واژه‌های کلیدی

آلودگی هوا، ذرات معلق، الگوی مکانی، تحلیل مقادیر فرین، تهران.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. © ۱۴۰۴ ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.
این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
This is an open access article under the CC BY (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
https://grup.journals.pnu.ac.ir/

مقدمه

در دهه‌های اخیر، اقلیم شهری جهانی دستخوش تغییرات چشمگیری شده است. فرایند سریع شهرنشینی باعث جایگزینی مناظر طبیعی با سطوح مصنوعی شده که تأثیر منفی قابل توجهی بر محیط زیست شهری دارد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ذرات معلق ۲/۵ میکرون (PM2.5) و ۱۰ میکرون (PM10) نه تنها با جذب و پراکنش تابش خورشیدی، ویژگی‌های ترمودینامیک شهرها را تغییر داده، بلکه با تغییر ویژگی‌های نوری جو، بر تشکیل و ویژگی‌های ابرها تأثیر گذاشته و اقلیم محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Chang, 2025). با افزایش فراوانی و شدت خطرات ناشی از تغییرات شرایط اقلیمی، شهرها به دلایل تراکم بالای جمعیت، زیرساخت‌ها، سرمایه اقتصادی و سرمایه اجتماعی-فرهنگی تحت تأثیر قرار خواهند گرفت؛ بنابراین شهرها به‌طور فزاینده‌ای بر افزایش تاب‌آوری خود در برابر شوک‌های سریع و استرس‌های بلندمدت ناشی از تغییرات اقلیمی متمرکز شده‌اند (Virgina, 2025).

تغییر کاربری زمین و تشکیل کاربری شهری، نقش مهمی در تغییرات آب‌وهوا و کیفیت هوای منطقه ایفاء می‌کند. تغییرات در سطح شهری، ویژگی‌های دینامیکی و حرارتی سطح را تغییر می‌دهد. در سال‌های اخیر با افزایش تعداد شهرهای بزرگ بر میزان بروز مه بر روی شهرها افزوده شده است؛ با این حال افزایش جمعیت منجر به آلودگی هوا می‌شود که در نوع خود بحث برانگیز است (مرتضوی و همکاران، ۱۴۰۱). منشاء آلودگی هوا ممکن است طبیعی یا انسان ساخت (مصنوعی) باشد؛ اما آنچه امروز موجبات آلودگی هوا را فراهم آورده، آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی است (گودرزی و همکاران، ۱۴۰۳).

از مهم‌ترین مخاطرات آب وهوایی، طوفان‌های گردوغبار هستند که سالانه ۸۰۰ تریلیون گرم ذرات معلق معدنی توسط آن‌ها به قاره آسیا منتقل می‌شوند. مخاطره گردوغبار به‌عنوان یک پدیده طبیعی با غلظت‌های قابل توجه ذرات معلق (PM) تعریف می‌شوند که معمولاً در مناطق خشک، نیمه خشک و صحراها اتفاق می‌افتد. عموماً گردوغبارها مقادیر زیادی از مواد سمی را حمل و در نتیجه سلامت موجودات زنده و اکوسیستم را به مخاطره می‌اندازند (پورشهباز، ۱۳۹۴).

ذرات معلق یکی از شش آلاینده بسیار خطرناک است که صدمات جبران‌ناپذیری را به بدن انسان وارد می‌کنند. این آلاینده‌ها متشکل از موادی مانند: اسیدها، فلزات و گردوغبار است. ذرات معلق از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا هستند که طبق بررسی‌های سازمان بهداشت جهانی به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب از ذرات در هوا، میزان مرگ و میر ۳ درصد افزایش می‌یابد. بیش‌ترین غلظت آلایندگی ناشی از احتراق گاز طبیعی عامل اکسیدهای نیتروژن و کم‌ترین میزان انتشار مربوط به عامل اکسید گوگرد می‌باشد (پورشهباز، ۱۳۹۴). منابع مختلفی برای تولید این ذرات معلق وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به احتراق ناقص ترکیبات هیدروکربنی از منابع انسان‌ساخت و طوفان-های گردوغبار و آتش‌سوزی جنگل‌ها در منابع طبیعی اشاره کرد. قسمت اعظم مناطق تولیدکننده گردوغبار طبیعی در کمربند خشک جهان با بارش سالانه کم‌تر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال که از شمال-غربی آفریقا شروع شده و تا نواحی مرکزی و جنوبی آسیا امتداد می‌یابد، قرار دارد. منطقه خاورمیانه که مساحت زیادی از آن در این کمربند قرار دارد؛ جزء منابع اصلی ایجاد طوفانه‌ای گردوغبار است (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۴).

ذرات ریز در تهران، عامل اصلی بحران‌های آلودگی هوا هستند و بیش از یک سوم روزها، کیفیت هوای شهر تهران، از استانداردهای ملی فراتر می‌رود. وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی، به‌ویژه خودروهای قدیمی، منابع اصلی آلاینده‌ها هستند. علاوه بر این صنایع مجاور و ریزگردهای منطقه‌ای از بیابان‌ها، نیز به آلودگی هوا می‌افزایند. زیرا این شهر، در خاورمیانه که بخشی از کمربند گردوغبار جهان است، قرار دارد (زارعی و یگانه، ۱۴۰۳). برآوردهای کارشناسان محیط زیست نشان می‌دهد، ۵/۷٪ از مرگ‌ومیرها در تهران به‌واسطه آلودگی هوا اتفاق می‌افتد و با توجه به اینکه هزینه حفظ حیات براساس استانداردهای جهانی ۳۲ هزار دلار تعیین شده است. لذا در مجموع هزینه‌های مرگ و میر ناشی از آلودگی‌های هوای تهران در سال ۸۴، معادل ۱۷۶ میلیارد دلار برآورد شده است. به گفته همین کارشناسان هزینه بیماری‌های سرپایی شهروندان تهران به‌واسطه این آلودگی و هزینه‌های بهداشتی از جمله خسارات دیگری است که از بعد سلامت و بهداشت، هم به اقتصاد جامعه و هم به شهروندان وارد می‌شود (فنی و مولودی، ۱۳۸۸). در این رابطه برای کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی در شهرها، همکاری و حکمرانی‌های چند سطحی، از عوامل کلیدی برای دستیابی به مدیریت پایدار می‌باشد. در این روند شهرها و مدیریت محلی بازیگران اصلی این فرآیند محسوب می‌شوند، تنها به این سبب که بیش از دو سوم مصرف انرژی جهان و انتشار گازهای گلخانه‌ای را نمایندگی می‌کنند، بلکه آنها حلقه مستقیم ارتباط بین سیاست‌گذاری اقلیمی و شهروندان بوده و از اقشار جمعیتی آسیب‌پذیر که تحت تأثیر خطرات و بی‌عدالتی‌های اقلیمی قرار دارند، حمایت می‌کنند (Camilo, 2025).

تهران پایتخت ایران در زمره آلوده‌ترین شهرهای جهان به‌حساب می‌آید. با توجه به تأثیرات آلودگی هوا بر سلامت و

محیط زیست، ضرورت شناخت دقیق آلاینده‌ها و مشخص نمودن پهنه‌های آلوده ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه بنا دارد، نیاز به کنترل و کاهش آلودگی هوا در شهرهای بزرگ را بیان نماید. در این راستا شناسایی نواحی که آلودگی هوا از میزان استاندارد عبور کرده‌اند، اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین در نواحی که سطح آلودگی بالا است و سطوحی که سلامت عمومی در خطر است، سیاست‌ها و استراتژی‌های برنامه‌ریزی می‌تواند به‌منظور کاهش آلودگی هوا بکار گرفته شود. علاوه بر آن نه تنها براساس نوع آلاینده، نواحی شهری که تحت تأثیر آلودگی نیز هستند، متفاوت می‌باشد؛ بلکه الگوی مکانی آلاینده نیز در نواحی شهری تفاوت چشمگیری دارد. با توجه به افزایش روز افزون ذرات معلق در شهر تهران، این تحقیق بر آن است که الگوی مکانی فرین آلاینده‌های ذرات معلق از طریق آزمون روش‌های مختلف در مکان‌های شهری شناسایی نموده و نقاط پرمخاطره در شهر را علامت‌گذاری نماید. زیرا با شناخت نقاط مخاطره‌آمیز شهری می‌توان شهر را برای تجهیز کاربری‌های آینده طبقه‌بندی نمود و مکان‌هایی از شهر به‌عنوان نقاط قرمز برای ساخت‌وساز کاربری‌هایی مثل مراکز بهداشتی و درمانی یا مراکز آموزشی و تفریحی اعلام نمود. هدف کلی پژوهش حاضر پاسخگویی به این سؤال است که الگوی مکانی آلاینده‌های فرین ذرات معلق در شهر تهران چگونه است؟

مبانی نظری

چارچوب نظری

پرکینز[1] در تعریف آلودگی هوا چنین بیان می‌کند: آلودگی هوا یعنی وجود یک یا چند آلوده کننده مانند گرد و غبار، فیوم، گازها، میست، دود، بخارها در هوای آزاد باکست‌ها، ویژگی‌ها و زمان‌مند که برای زندگی انسان، گیاه یا زندگی حیوانات خطرناک و برای اموال مضر باشند و یا به طور غیر قابل تحمل استفاده راحت از زندگی و اموال گردد (پرکینز، ۱۳۹۶).

ذرات معلق یکی از شاخص‌های آلودگی هوا است که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی اندازه‌گیری می‌شوند. ذرات معلق هوا بیش از هر نوع آلاینده هوا، مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

وجود ذرات معلق در غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد به‌عنوان یکی از علل اصلی کیفیت نامناسب هوا در محدوده شهری در همه کشورها شناخته شده است. اجزای اصلی تشکیل دهنده ذرات معلق هوا عبارتند از: سولفات‌ها، نیترات‌ها، آمونیوم، سدیم کلرید، کربن سیاه، ذرات معدنی و آب. به‌عبارت دیگر ذرات معلق هوا یک مخلوط پیچیده از ذرات جامد و مایع متشکل از مواد آلی و معدنی معلق در هوا هستند. در واقع ذرات معلق هوا اصطلاحی است که برای توصیف ذرات جامد و مایع پراکنده شده در هوا به کار می‌رود که بزرگ‌تر از مولکول‌های مجزا می‌باشند (اسدی و همکاران، ۱۳۹۹).

بر اساس گزارش برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد ذرات معلق مهم‌ترین آلایند هوا در شهرهای بزرگ جهان می‌باشد. منابع غیر طبیعی ذرات شامل احتراق مواد سوختی، ذرات حاصل از فرایندهای مختلف در صنایع، ذرات حاصل از خرد کردن و ساییدن مواد، ترافیک و وسایل نقلیه از منابع مهم می‌باشند. ذرات معلق یکی از آلایندهای شاخص هوا می‌باشد که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در آمریکا و سایر نقاط جهان اندازه‌گیری می‌شود (میرزاحسینی و همکاران، ۱۳۹۹). در تحلیل آماری داده‌های فضایی، بحث مقادیر فرین، دیدگاه بسیار مهمی است. مقادیر فرین عموماً به مقادیر بالاتر از آستانه‌های مشخصی از کمیت‌ها در فضای جغرافیایی اطلاق می‌شود که معمولاً آستانه‌های مذکور، آستانه‌های زیستی هستند.

پیشینه پژوهش

مطالعاتی که به‌طور مستقیم با اهداف مطالعه مقارن باشد، دیده نشد. ولی در ادامه به مطالعه برخی از پژوهش‌هایی که بر روی ذرات معلق ۱۰ میکرونی انجام گرفته است، پرداخته می‌شود.

تارمیزی[2] و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای توزیع زمانی و مکانی غلظت PM10 در دره کلانگ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت زیاد ذرات معلق ۱۰ میکرونی در فصل موسمی جنوب غربی و غلظت کم آن در فصل موسمی شمال شرقی مشاهده شده که نشان دهنده تأثیر متفاوت فصول بر توزیع این ذرات است.

هو[3] و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی ۱۰ ساله، روندهای مکانی و زمانی غلظت PM2.5 در جنوب شرقی ایالات متحده را بررسی کردند. نتایج نشان داد غلظت زیاد این آلاینده، در مراکز شهرهای بزرگ و بزرگراه‌ها متمرکز است. در حالی‌که مناطق کوهستانی و روستایی غلظت کم‌تری داشتند. تخمین PM2.5 در مناطق وسیع‌تر دقت بیش‌تری دارد و خطا را کاهش می‌دهد.

1. Perkins

2. Tarmizi

3. Hu

زانگ[1] و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی دریافتند که افزایش تعداد ساختمان‌ها، به ویژه در زمستان، آلودگی هوا را تشدید می‌کند. در حالی‌که فضای سبز کیفیت هوا را بهبود می‌بخشد. اما با افزایش سن ساختمان‌ها، این تأثیر کاهش می‌یابد. این یافته‌ها بینش‌های جدیدی درباره رابطه با کیفیت هوا و توسعه شهری ارائه می‌دهد که پیامدهای مدیریتی مهمی دارد.

لیانگ[2] (۲۰۲۴)، در پژوهش‌ها خود دریافت که غلظت PM10 و PM2.5 در نقاط مختلف شهر و فصول متغیر است. به‌طوری‌که کارخانه‌های فولاد منبع اصلی PM10 و فعالیت‌های صنعتی تأثیرگذار بر PM2.5 هستند. با استفاده از نمودارهای قطبی و نقشه‌برداری نقاط داغ مشخص شد، فعالیت‌های صنعتی (به‌ویژه فولاد) و ترافیک جاده‌ای، عوامل اصلی افزایش ذرات معلق در مناطق مسکونی و صنعتی هستند.

چانگ[3] و همکاران (۲۰۲۵)، در پژوهشی نقاط عطف آلودگی ذرات معلق را شناسایی و مراحل مختلف آن را تقسیم‌بندی کردند. نتایج نشان داد، بیش‌تر نقاط عطف پس از سال ۲۰۱۳ رخ داده‌اند، تغییرات فصلی در آن مؤثر بوده و تأثیر فعالیت‌های شبانه در حال افزایش است. عوامل اکولوژیکی نیز در دوره‌های خاص آلودگی را تشدید می‌کنند که نشان دهنده علل چندوجهی آلودگی شهری و ضرورت اقدامات مدیریتی هدفمند برای تغییرات آب‌وهوایی آینده است.

کاوه و همکاران (۱۴۰۳)، با استفاده از روش OA باینری به بهینه‌سازی پیش‌بینی PM2.5 پرداختند و دریافتند که غلظت این آلاینده در پاییز و زمستان بیش‌تر از بهار و تابستان است. همچنین مناطق شمالی و مرکزی تهران بالاترین سطح آلودگی را دارند.

حسنوند و همکاران (۱۴۰۲)، به بررسی وضعیت ذرات معلق (PM2.5) هوای شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا پایان ۱۴۰۱ پرداختند. طبق نتایج مطالعه آنها وضعیت غلظت ذرات معلق (PM2.5) هوای شهر تهران طی ۱۲ سال مورد بررسی (از سال ۱۳۹۰ تا پایان ۱۴۰۱) همواره با استانداردها فاصله بسیار زیادی داشته است (تقریباً ۵ الی ۸ برابر مقادیر سالیانه رهنمود جدید سازمان جهانی بهداشت و ۲/۵ (دو و نیم) الی ۳/۵ (سه و نیم) برابر استاندارد ملی) و شهروندان تهرانی مواجهه بالایی با این عامل خطر سرطان‌زا داشته‌اند. تعداد موارد مرگ منتسب به PM2.5 هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۱ به حدود ۹۲۴۱ (۹۶۴۷-۸۵۸۳) مورد مرگ در افراد بالای ۲۵ سال رسیده است. همچنین خسارات اقتصادی ناشی از موارد مرگ منتسب به PM2.5 هوای آزاد در شهر تهران در سال ۱۴۰۱ حدود ۲/۵ (دو و نیم) میلیارد دلار برآورد شده است.

قلمکاری و همکار (۱۴۰۱)، رابطه بین الگوی سیمای سرزمین و پراکنش ذرات معلق در شهر اصفهان را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی اثر کاهشی بر میزان آلودگی هوا دارد؛ به طوری که همبستگی منفی و معناداری بین $VI_{2.5}$ و PM مشاهده شد. به این معنا که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، میزان ذرات معلق کاهش می‌یابد. با محاسبهٔ غلظت ذرات معلق در شهر اصفهان مشخص شد که مناطق جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق اصفهان در معرض تماس با ذرات معلق بیش‌تری قرار دارند. تراکم بالای سیمای سرزمین از نوع فضای سبز، منجر به کاهش آلاینده ذرات معلق می‌شود. از تحلیل تغییرات ذرات معلق منطقه این‌طور استنباط شد که با پیش رفتن به سمت مناطقی که پوشش گیاهی ضعیف‌تری دارند، میزان بالاتری از غلظت ذرات معلق مشاهده می‌شود.

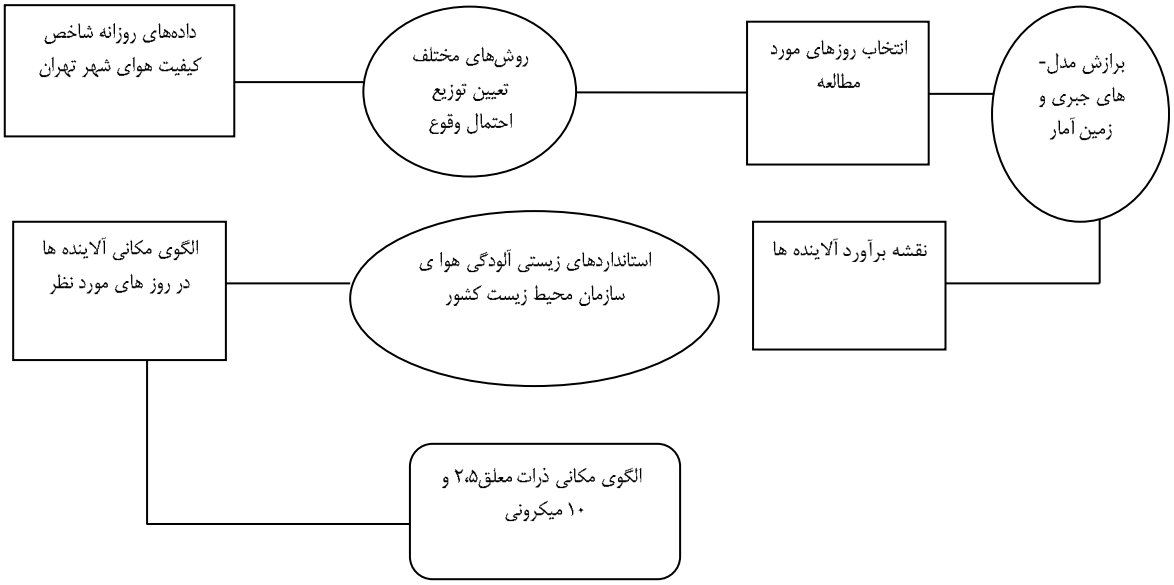
کربلایی و همکاران (۱۳۹۶)، به واکاوی همدید- آماری روزهای فرین همراه با ازون در تهران پرداختند. آنها در این مطالعه دریافتند که فراوانی روزهای آلاینده ازون در این‌گونه‌ها، اغلب روند فصلی دارد و در شش ماه اول سال بیش‌تر مشاهده می‌شود که شرایط جوی کشور از یکدستی و همگنی اقلیمی به علت استقرار پرفشار جنب حاره برخوردار است. رخداد این شرایط، مسبب ایجاد ماندگاری و تداوم چندروزه آلودگی در تهران و اغلب کلان‌شهرهای کشور می‌شود.

آنچه پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد، بیش‌تر مطالعات حول محور علل وقوع ذرات معلق ۱۰ میکرونی می‌باشد و به تحلیل مکانی آلاینده و مناطق آلوده در شهر تهران و نوع الگوی مکانی و فضایی آن پرداخته نشده است. با مروری بر پژوهش‌های انجام شده، مشخص می‌شود که روی مقادیر فرین این آلاینده‌ها پژوهش خاصی صورت نگرفته و آنچه در مدیریت بحران شهری بسیار قابل توجه است، مقادیر فرین این ذرات است که دلیل ایجاد بحران است، لذا الگویابی و تحلیل مکانی آنها ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش بر آن است که با روش‌های زمین آمار و جبری به تحلیل الگوی مکانی و شکل پراکنش آن در شهر تهران پرداخته تا بتوان در گام اول، مناطق و بخش‌های آلوده در شهر را شناسایی نموده و بعد از آن شکل الگوی مکانی آن را مورد مطالعه قرار دهد.

1. Zhang
2. Liang
3. Chang

روش انجام پژوهش

مطالعه حاضر در قالب پژوهش کاربردی و مبتنی بر آمار وضع موجود می‌باشد. روش تحقیق به‌صورت ترکیبی از استقرایی، پیمایشی و تحلیلی است. شایان ذکر است برای درک بهتر مفاهیم در اینجا مراحل کار تا رسیدن به الگوی مناسب را در نمودار به رسم کشیده می‌شود.



شکل ۱. دیاگرام مراحل تحقیق

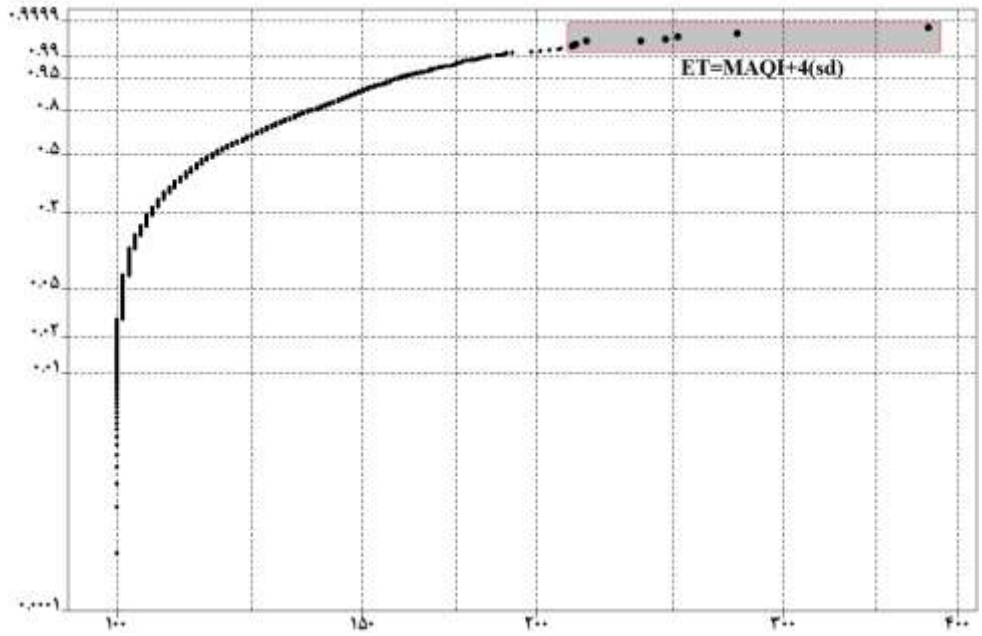
برای نشان دادن الگوی مکانی آلاینده‌های مورد نظر تکنیک‌های جبری و زمین آمار درون‌یابی در موارد مورد مطالعه برازش گردید. در این راستا معیارهای اعتبارسنجی روش‌های استفاده شده (RMSE) برای انتخاب بهترین مدل استفاده گردید. برای هر مورد ۴۲ مدل برازش گردید و از این میان براساس معیار اعتبارسنجی، روش‌های توابع شعاع محور بهترین برازش را نشان داده‌اند.

در این مطالعه در راستای هدف پژوهش در اولین گام داده-های روزانه شاخص کیفیت هوای شهر تهران از ۱ شهریور ۱۳۸۰ تا ۲۹ اسفند ۱۴۰۰ به مدت ۷۵۱۵ روز از سایت شرکت کنترل کیفیت هوای شهر تهران دریافت گردید. برای تحلیل مکانی روزهای ناسالم با شاخص عددی بالای ۱۰۰ ($AQI^{1}=100<X$) انتخاب گردید. بعد از تحلیل آماری میانگین شاخص روزهای ناسالم به بالا عدد ۱۲۳ و انحراف معیار ۲۰/۵ مورد محاسبه قرار گرفت. برای تعیین آستانه مقدار فرین شاخص آلودگی از معادله زیر استفاده شد:

$$ET=MAQI+4(SD)$$

در این معادله ET آستانه فرین، MAQI میانگین بلندمدت شاخص در روزهای بالاتر از ۱۰۰ و SD انحراف معیار بلندمدت داده‌های شاخص هستند. با توجه به میانگین بلندمدت شاخص و انحراف معیار عدد آستانه فرین به‌دست آماده برای انتخاب روزهای مورد مطالعه ۲۰۵ است که مقادیر برابر یا بالاتر آز آن به‌عنوان روزهای آلوده فرین شناخته می‌شوند. عدد آستانه مورد محاسبه سطح اطمینان ۹۵٪ با احتمال توزیع احتمال آماری بالاترین مقدار انتهایی۲ در محدوده بالای ۰/۹۹ مطابقت دارد می‌باشد (شکل ۲). براساس عدد آستانه ۲۰۵ تعداد ۸ روز که دارای مقادیر برابر یا بیش‌تر از آستانه مذکور برای مطالعه انتخاب گردید. روزهای مذکور همگی از روزهایی هستند که آلاینده مسؤل آن روزها ذرات معلق بوده است. در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۲۳ و ۱۳۹۰/۳/۱۴ واقعه دو مخاطره‌ای اتفاق افتاده و به این دلیل آلاینده ذرات معلق ۲/۵ میکرونی نیز در این روزها مورد بررسی قرار گرفته است.

1. Extrem value



شکل۲. نمودار برازش روش توزیع بالاترین مقدار انتهایی برای داده‌های بالاتر از ۱۰۰ شاخص کیفیت هوای تهران

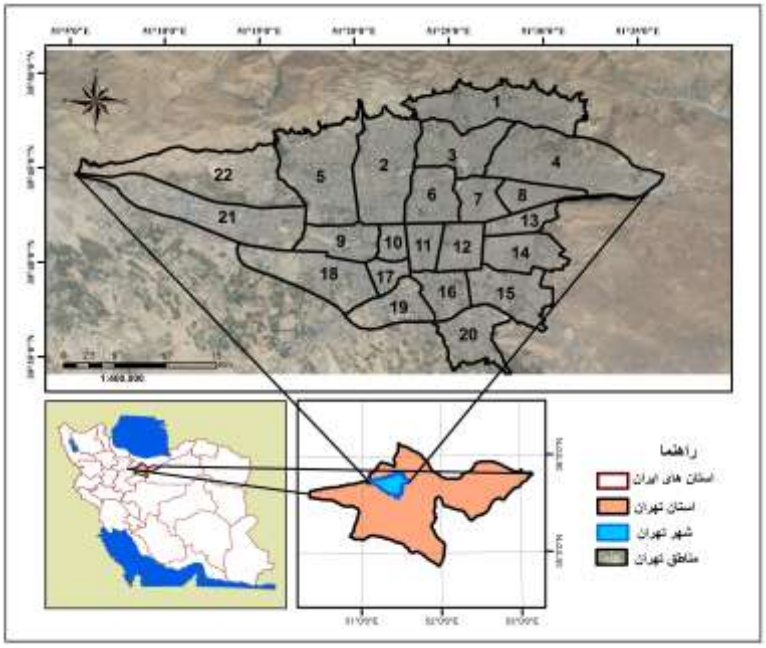
جدول۱. روزهای مورد مطالعه پژوهش

نوع آلاینده	تاریخ	نوع آلاینده	تاریخ
ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۹۰/۳/۱۴	ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۸۷/۱/۱۸
ذرات معلق ۲/۵ میکرونی	۱۳۹۰/۳/۱۴	ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۸۸/۴/۱۵
ذرات معلق ۲/۵ میکرونی	۱۳۹۰/۳/۲۳	ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۸۸/۴/۱۶
ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۹۰/۳/۲۳	ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۸۹/۴/۲۵
ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۹۱/۳/۶	ذرات معلق ۱۰ میکرونی	۱۳۹۰/۱/۲۵

محدوده مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه، شهر تهران و موضوع مورد بررسی، الگوی مکانی آلودگی هوای (آلاینده‌های ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرونی) شهر تهران بوده و جامعه آماری مناطق ۲۲ گانه شهر تهران است.

شهر تهران، مرکز استان تهران و پایتخت ایران از لحاظ جغرافیایی در ۵۱ درجه و۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و۷۳۰ کیلومترمربع مساحت دارد. شهر تهران در ارتفاع حدود ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. ارتفاع در میدان تجریش در شمال تهران حدود ۱۳۰۰ متر و در میدان راه‌آهن در جنوب شهر که با آن ۱۵ کیلومتر فاصله دارد، ۱۱۰۰ متر می‌باشد که به‌ازای هر کیلومتر مساحت ۱۳/۵ متر افت شیب ملاحظه می‌شود. شهر تهران از اطراف توسط ارتفاعاتی احاطه شده است. این ارتفاعات به مثابه دیواری بر روی جریانات اتمسفری و اقلیم محلی این شهر موثر واقع شده است. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است. در بیش‌تر سال‌ها، فصل زمستان نیمی از کل بارش‌های سالانه تهران را تأمین می‌کند و تابستان نیز کم باران‌ترین فصل در تهران است. از نظر اداری، تهران به ۲۲ منطقه و ۱۲۲ ناحیه شهری تقسیم شده است و بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵، جمعیت شهر تهران در مناطق ۲۲گانه ۸۶۹۳۷۰۶ نفر است (درگاه ملی آمار, ۱۳۹۵). شکل ۳، موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

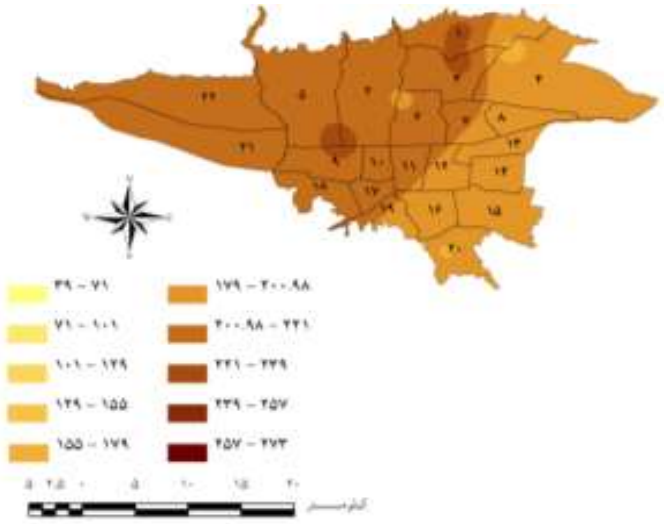


شکل ۳. نقشه موقعیت مناطق ۲۲گانه شهر تهران

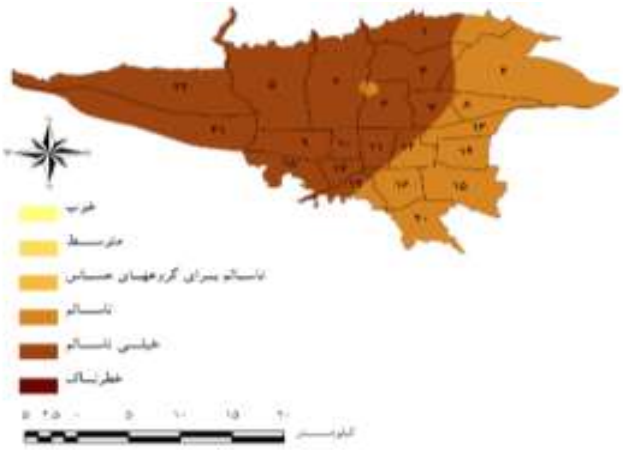
مأخذ. روزبهانی و همکاران، ۱۴۰۰

یافته‌ها

با توجه به اطلاعات شکل ۴، دو کانون آلودگی دیده می‌شود: کانون اول، بین مناطق ۱ و ۳، کانون دوم، میدان آزادی و اطراف آن. دو کانون دیگر نیز مشاهده می‌شود که غلظت آلاینده در حد کم‌تری می‌باشد. کانون اول، بین مناطق ۲ و ۶ (که ارتفاع آن از نواحی کناری آن بیش‌تر است). کانون دوم، بین مناطق بین مناطق ۱ و ۴، با توجه به الگوی ترسیم شده شکل۵، می‌توان بیان نمود که در روز مورد نظر آلودگی از سمت غرب شهر به سمت شرق شهر در حرکت بوده مناطق غربی و مرکزی شهر در وضعیت خطرناک قرار داشته و مناطق شرقی در حالت خیلی ناسالم قرار دارند.



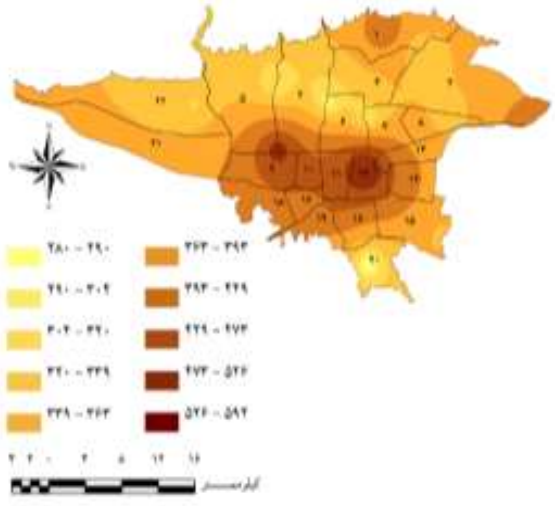
شکل ۴. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۷/۱/۱۸



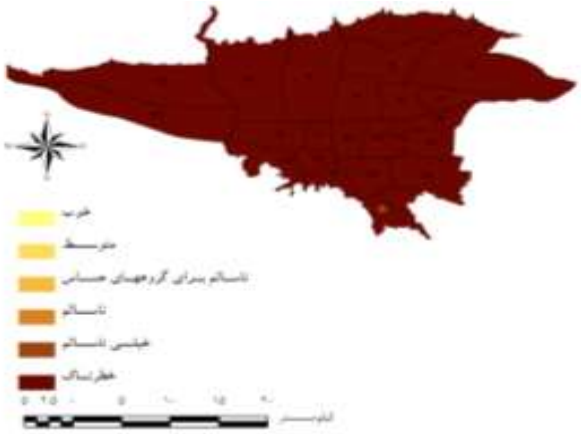
شکل ۵. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی
در روز ۱۳۸۷/۱/۱۸ با استفاده از استانداردهای محیط زیست

شکل ۶، گویای این است که مناطق مرکزی شهر یعنی مکان‌هایی که از لحاظ ارتفاعی نسبت به مناطق شمالی کم ارتفاع‌تر هستند، غلظت آلاینده بیش‌تر است. دو کانون بحرانی در حال شکل‌گیری است: کانون اول، میدان آزادی، کانون دوم، منطقه ۱۲.

شکل ۷، دو کانون بسیار آلوده را در حوالی میدان آزادی، منطقه ۱۲ نشان می‌دهد. این دو کانون در کنار هم کریدوری از آلودگی هوا را به وجود آورده‌اند که به سمت جنوب تسری می‌یابد. با توجه به نقشه ۶ مشاهده می‌شود کل مناطق شهری به‌جز ناحیه کوچکی در منطقه ۲۰، در وضعیت خطرناک قرار گرفته‌اند. در وضعیت خطرناک، افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی، سالمندان و کودکان باید از منزل خارج نشوند و فعالیت‌های خود را به حداقل برسانند. افراد دیگر باید از فعالیت‌های طولانی و یا سنگین در خارج از منزل اجتناب نمایند.



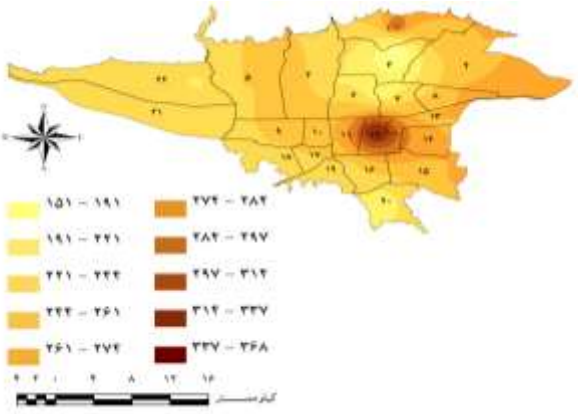
شکل۶. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۸/۴/۱۵



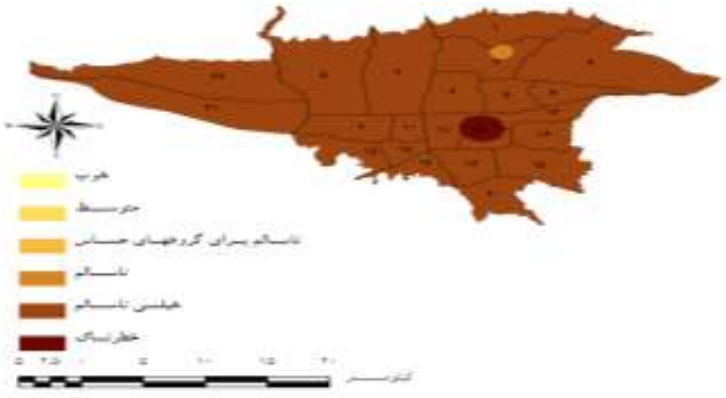
شکل ۷. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۸/۴/۱۵ با استفاده از استانداردهای محیط زیست

با توجه به شکل۸، دو کانون در حال شکل‌گیری است. کانون اول، در منطقه ۱ و کانون دوم، در منطقه ۱۲. کانونی که در منطقه ۱۲ ظاهر شده است با غلظت کم‌تری به اطراف سرایت می‌کند.

نمایش فضایی آلاینده در شکل ۹، نشان می‌دهد، قسمت کوچکی از منطقه ۱۲ در وضعیت خطرناک قرار داشته و بقیه شهر در حالت خیلی ناسالم قرار گرفته‌اند. البته منطقه کوچکی در منطقه ۳ در حالت ناسالم بوده است.

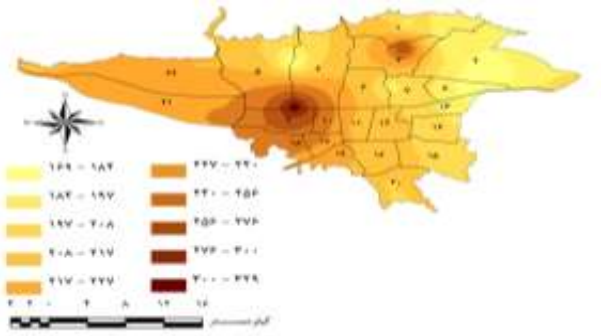


شکل ۸. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۸/۴/۱۶

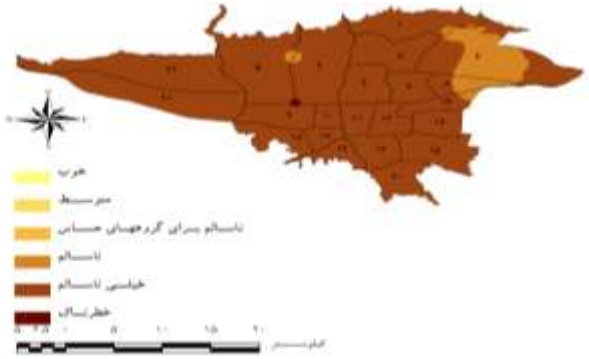


شکل ۹. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۸/۴/۱۶ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

در شکل ۱۰، دو کانون در حال رشد است: بین مناطق۱ و۳، میدان آزادی، در این شکل از میدان آزادی به سمت شرق؛ از غلظت آلاینده کاسته شده و در مناطق ۴ و ۸ به حداقل غلظت می‌رسد. با نگاهی به شکل۱۱، می‌توان دریافت به‌جز نواحی از مناطق ۴، ۸، ناحیه کوچکی از مناطق۲ و۵ بقیه شهر تهران در وضعیت خطرناک قرار داشته است.

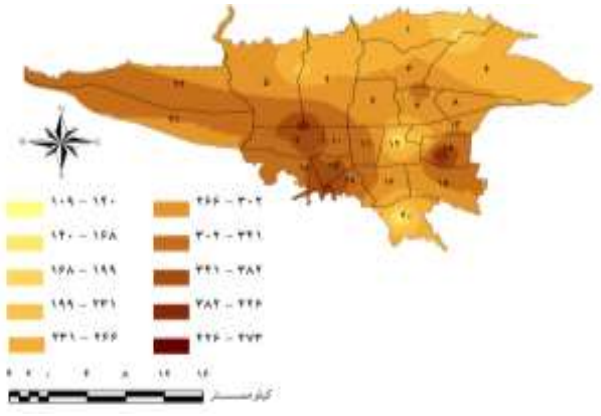


شکل۱۰. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۹/۴/۲۵

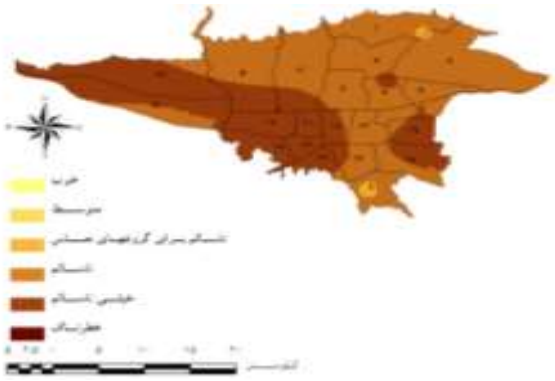


شکل۱۱. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۸۹/۴/۲۵ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

در شکل ۱۲، سه کانون آلودگی در حال شکل‌گیری است: کانون اول، میدان آزادی، این کانون تا مناطق جنوبی کانالی از آلودگی را به‌وجود آورده است و آلاینده از سمت غرب به سمت این کانون در حال افزایش است. کانون دوم، قسمتی در منطقه ۱۴ تا نیمه منطقه ۱۵ کشیده شده است. کانون سوم، منطقه‌ای به نسبت با غلظت کم‌تر در منطقه۷. الگوی ترسیم شده شکل ۱۳، نشان می‌دهد مناطق غربی تهران و قسمت کوچکی از مناطق ۱۴ و ۱۵ در وضعیت خطرناک بوده و بقیه بخش‌ها در وضعیت خیلی ناسالم قرار داشته‌اند. وضعیت ناسالم نیز از سمت شمال به جنوب کشیده شده است.

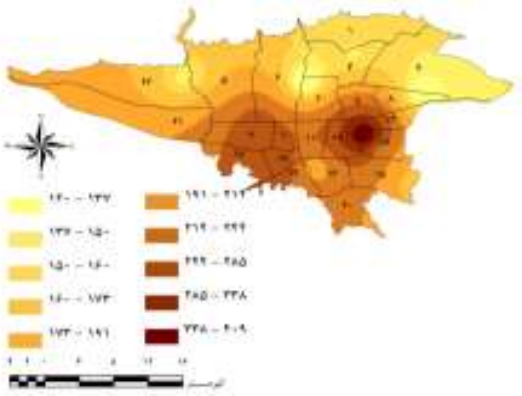


شکل۱۲. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۱/۲۵

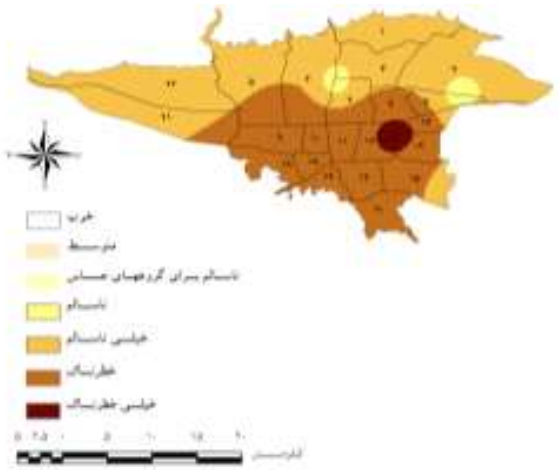


شکل۱۳. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در
روز ۱۳۹۰/۱/۲۵ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

همان‌گونه که شکل ۱۴، نشان می‌دهد دو کانون مجزا که آلاینده غلظت بیش‌تری دارد، شکل گرفته است. دو کانون در مناطق ۹ و ۱۴ وجود دارد که در مرکز بهم پیوند خورده‌اند و آلاینده از سمت غرب به شرق کشیده شده است. شکل ۱۵، گویای این مطلب است که هر چه از مرکز به سمت جنوب شهر حرکت کرده به میزان غلظت آلاینده ذرات معلق ۱۰ میکرونی اضافه شده تا به حالت خطرناک می‌رسد. در قسمتی از مناطق ۱۲،۱۳ و ۱۴ حالت خیلی خطرناک نیز دیده می‌شود. مناطق شمالی شهر حالت خیلی ناسالم را نشان می‌دهند. با توجه به اشکال بالا در بخش‌های شمالی شهر که از دارای ارتفاع بیش‌تری هستند شدت آلاینده کم‌تر است.

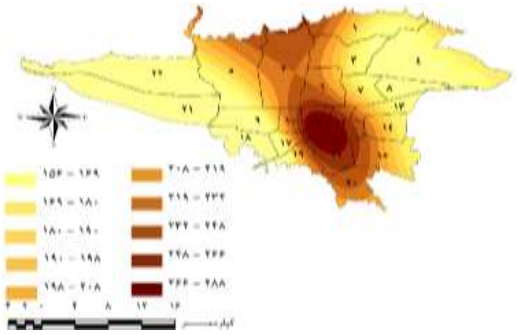


شکل۱۴. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۱۴

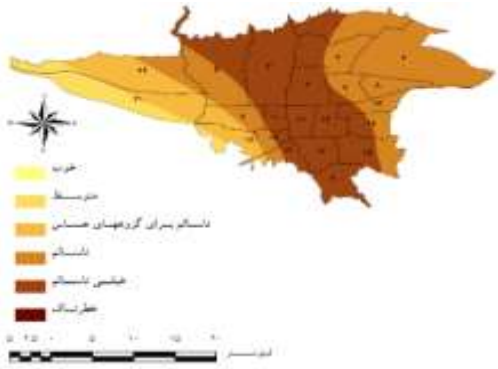


شکل۱۵. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۱۴ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

در شکل ۱۶، دو هسته آلودگی دیده می‌شود: در شمال شهر در مرکز شهر، یعنی بین مناطق ۱۲ و ۱۴. این دو هسته در منطقه ۲ بهم اتصال پیدا کرده‌اند. الگوی ترسیم شده در شکل ۱۷، شکل نشان می‌دهد که آلودگی در مرکز شهر از شمال به جنوب کشیده شده است. این بخش در وضعیت خطرناک قرار گرفته و کلیه مناطق شرقی در وضعیت خیلی ناسالم می‌باشند. غلظت آلودگی در مناطق غربی کم‌تر می‌شود.

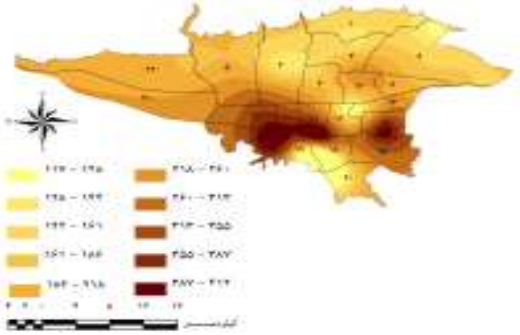


شکل۱۶. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۲٫۵ میکرونی در روز در روز ۱۳۹۰/۳/۱۴

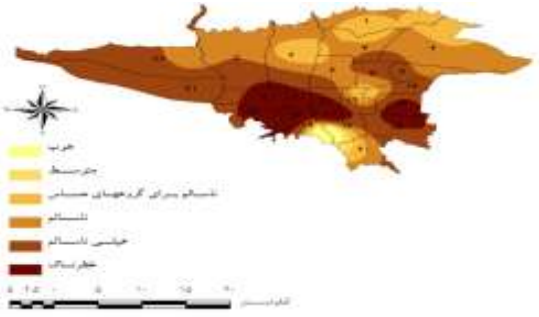


شکل۱۷. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۲٫۵ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۱۴ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

در شکل ۱۸، دو هسته مشاهده می‌شود: بین مناطق ۱۴ و ۱۵، بین مناطق ۱۷ و ۱۸ (تا منطقه ۵ گسترش یافته است)، این دو کانون در مرکز بهم متصل شده است. شکل ۱۹، گویای این واقعیت است، آلاینده از سمت غرب به شرق کشیده شده و مناطق شمال از غلظت کم‌تری برخوردارند. مناطق ۹، ۱۰،۱۱،۱۷ و ۱۸ در غرب و مناطق ۱۴و ۱۵ در شرق تهران آلودگی به حد خطرناک رسیده است. مناطق ۱۶، ۱۹ و ۲۰ در مناطق جنوبی تهران آلاینده در حد متوسط است. در بخش‌های شمالی شهر که ارتفاع بیش‌تری دارند کاهش آلاینده نمایان است.

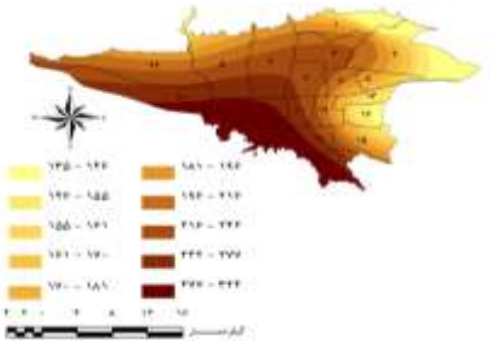


شکل۱۸. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۲۳

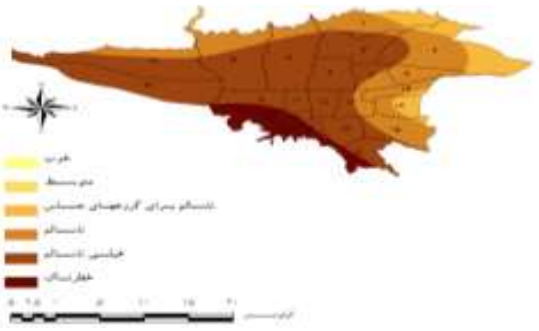


شکل۱۹. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۲۳ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

همان‌گونه که در شکل ۲۰، مشاهده می‌شود، مناطق جنوب غربی تهران در وضعیت خطرناک قرار داشته و بخش‌های بسیار زیادی از شهر در حالت خیلی ناسالم به سر می‌برند. همان‌گونه که در شکل ۲۱، مشخص است، آلودگی از قسمت‌های غربی شروع شده و به سمت شرق در حرکت است. هر چه به سمت شرق تهران رفته از غلظت آلاینده کاسته می‌شود. در وضعیت خیلی ناسالم، و وضعیت خطرناک، افراد مبتلا به بیماری‌های قلبی یا ریوی، سالمندان و کودکان باید از هرگونه فعالیت فیزیکی خارج از منزل اجتناب ورزند. افراد دیگر باید از فعالیت‌های طولانی یا سنگین دوری جویند. در این روز آلاینده کاملا از توپوگرافی شهر تبعیت می‌کند.

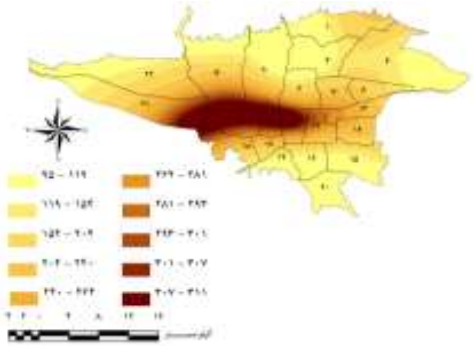


شکل۲۰. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۲,۵ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۲۳

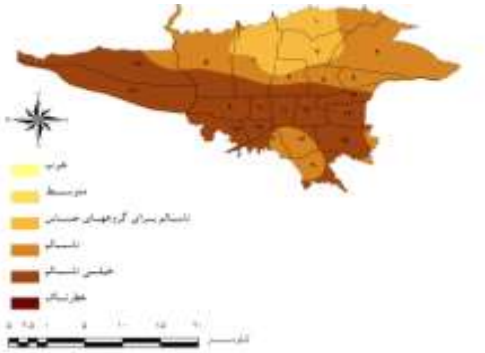


شکل۲۱. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۲,۵ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۲۳ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

شکل ۲۲، نشان می‌دهد غلظت زیاد آلاینده از سمت غرب به مرکز می‌باشد. الگوی ترسیم شده شکل۲۳، نشان می‌دهد، آلودگی از مناطق غربی شروع شده و به سمت مناطق شرقی گسترش یافته و به سمت مناطق مرتفع شهر این آلودگی کاهش می‌یابد. با توجه به نقشه می‌توان دریافت که نقاطی مانند میدان آزادی و فرودگاه مهرآباد در وضعیت خیلی ناسالم و خطرناک قرار گرفته‌اند. همانطور که دیده می‌شود در بخش‌هایی از شمال شهر که ارتفاع بیش‌تری دارند، غلظت آلاینده کم‌تر است و بخش‌هایی از شهر که کاربری فضای سبز کمی دارند، غلظت آلاینده افزایش می‌یابد.



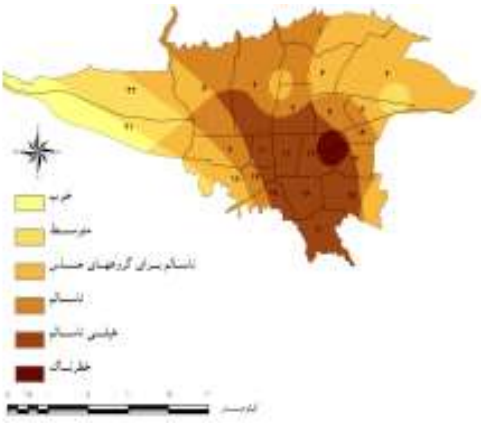
شکل۲۲. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۱/۳/۶



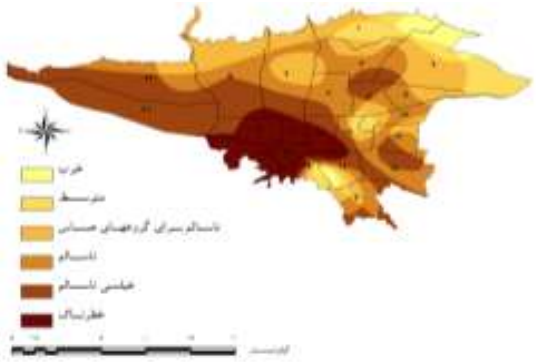
شکل۲۳. نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی در روز ۱۳۹۱/۳/۶ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست

در مطالعه آلودگی هوای شهر تهران، روزهایی مشاهده می‌گردد که در آن دو آلاینده از حد خطرناک بیش‌تر بوده‌اند. در روزهای مورد مطالعه این پژوهش نیز دو روز به این صورت بوده‌اند که در ادامه به تفکیک نقشه آنها آورده می‌شود.

شکل۲۴، نشان می‌دهد، مناطق مرکزی به سمت جنوب یعنی مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ و قسمت‌هایی از مناطق ۲،۶،۷، ۱۳، ۱۴،۱۵،۱۷، و ۱۹ هر دو آلاینده در حد خطرناک می‌باشند. با این تفاسیر در این بخش‌ها آلودگی به دو برابر رسیده یعنی به حد خیلی خطرناک افزایش می‌یابد. در این روز مناطق غربی نسبت به مناطق شرقی آلوده‌تر بوده‌اند. مناطق ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ ازجمله مناطقی هستند که دو آلاینده در حد خطرناک بوده‌اند. پس بدین سبب می‌توان بیان نمود که در این مناطق آلودگی در حد خیلی خطرناک می‌باشد (شکل ۲۵).



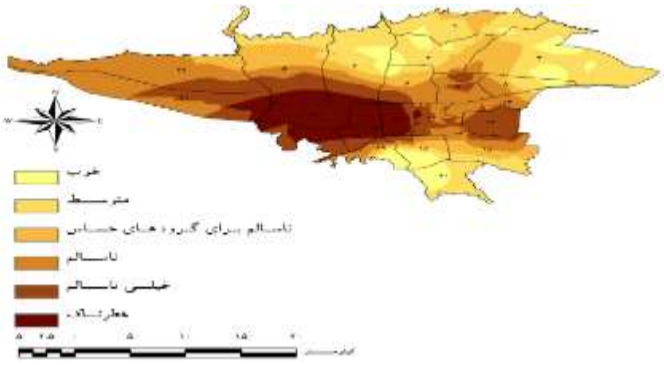
شکل۲۴. نقشه ترکیبی الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی و ذرات معلق ۲/۵ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۱۴(دو مخاطره ای)



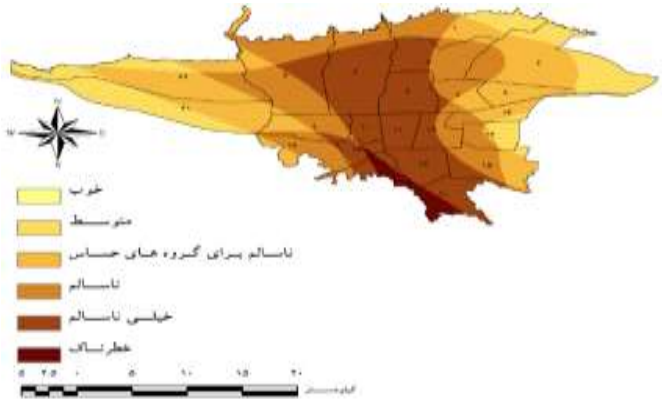
شکل۲۵. نقشه ترکیبی الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی و ذرات معلق ۲/۵ میکرونی در روز ۱۳۹۰/۳/۲۳ با استفاده از استانداردهای سازمان محیط زیست (دو مخاطره ای)

در نهایت با توجه به تفاوت آلاینده‌ها، جهت ایجاد یک الگوی مشترک در هر آلاینده و ترسیم نقاط پر خطر از روش‌های مکانی استفاده گردید. خروجی این مرحله شکل‌های زیر می‌باشد.

با نگاهی به دو شکل ۲۶ و ۲۷ ملاحظه می‌شود، الگوی مکانی دو شکل با هم متفاوت می‌باشد. اطلاعات شکل ۲۶، نشان می‌دهد که الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی غربی شرقی است. در مناطق غربی چگالی آلاینده بیش‌تر بوده و به سمت شرق از وسعت نواحی خطرناک کاسته می‌شود. سه منطقه ۹، ۱۰، ۱۱ از نواحی خطرناک می‌باشد. با نگاهی به این شکل معلوم می‌گردد؛ سه کانون خطر وجود دارد: ۱. کانون غرب و مرکز تهران با وسعت زیاد،۲. کانون شرقی،۳. کانون منطقه۷. نکته بعدی که بسیار مهم این است که چگالی زیاد این آلاینده در نقاط کم ارتفاع شهر دیده می‌شود. پس می‌توان بیان نمود که این آلاینده رابطه معکوسی با ارتفاع شهر دارد. مناطق شمالی و تا حدودی شمال شرقی که ارتفاع بیش‌تری دارند، از چگالی کم‌تری برخوردارند.



شکل۲۶.نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰ میکرونی



شکل۲۷.نقشه الگوی مکانی ذرات معلق ۲/۵ میکرونی

شکل ۲۷، الگوی مکانی ذرات معلق ۲/۵ میکرونی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل الگوی مکانی شمالی، جنوبی است. نواحی غربی و شرقی شهر از وضعیت بهتری برخوردارمی‌باشد. در این نواحی مرکز شهر وجود دارد. با توجه به این نکته که قسمت اعظم ذرات معلق ۲/۵ میکرونی حاصل از دود خودروها است، پس این مناطق باید پررفت و آمد باشند.

الگوی توزیع فضایی آلاینده‌ها در جدول ۲، آورده شده است:

جدول ۲. نتایج حاصل از تحلیل الگوی مکانی آلاینده‌ها در شهر تهران

آلاینده	الگوی فضایی	توضیحات
ذرات‌معلق ۱۰ میکرونی	غربی- شرقی	الگوی مکانی این آلاینده نشان داد مناطق غربی شهر در حد خطرناک بوده و در پاره ای از مواقع در مرکز و کمی از شرق تهران نیز دیده شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که از این آلاینده در اتفاعات کاسته می‌شود.
ذرات معلق ۲/۵ میکرونی	شمالی -جنوبی	الگوی مکانی این آلاینده نشان داد این آلاینده از سمت شمال به جنوب کشیده شده است
دو مخاطره ای	شمالی- جنوبی غربی- شرقی	به دلیل ماهیت دو گانه این روزها هر دو نوع الگو در آن دیده می‌شود. به‌عبارتی دیگر کل شهر در حالت خیلی ناسالم و خطرناک به سر می‌برد.

همان‌گونه که نتایج نقشه‌ها نشان می‌دهد، الگوی مکانی فرین‌های آلاینده ذرات معلق ۱۰ میکرونی عمدتاً غربی- شرقی است و مناطق شمال و شمال شرقی شهر که ارتفاعات هستند، آلودگی کم‌تر را تجربه کرده و الگوی مکانی فرین‌های آلاینده ذرات معلق ۲/۵ میکرونی که از سمت جنوب به شمال کشیده شده است. الگوی مکانی روزهای دو مخاطره‌ای به دلیل نوع آلاینده‌ها به صورت به‌علاوه بوده و تقریباً کل شهر را در بر می‌گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

در عصر جدید آلودگی هوا یکی از معضلات زیست‌محیطی شهرهای بزرگ بوده و تهران به‌عنوان یک کلان‌شهر از آن مستثنی نیست. با توجه به جمعیت زیاد که در شهر تهران ساکن هستند و همچنین افراد زیادی که هر روز برای خدمات گوناگون به این شهر سفر می‌کنند، شناخت نقاط و پهنه‌های آلوده بسیار ضروری به نظر می‌آید. زیرا با شناخت الگوی آلودگی شهر، مخصوصاً الگوی مکانی فرین آن مکان‌های آلوده شناسایی می‌شود. باید اذعان نمود، الگوی مکانی آلاینده‌ها نیز با هم متفاوت می‌باشد. این مبحث زمانی اهمیت خود را بیش‌تر نشان می‌دهد که در ساخت و سازهای شهری و جا نمایی بعضی تأسیسات و تجهیزات شهری آلودگی هوا و حتی نوع آلاینده‌ها تأثیر دارد. ذرات معلق در شهر تهران از پرتکرارترین آلاینده‌ها در شهر به نظر می‌آید. این پژوهش بنا دارد که الگوی مکانی ذرات معلق ۱۰میکرونی و ۲/۵ میکرونی را شناسایی نموده و پهنه‌های مخاطره‌آمیز را شناسایی و تفاوت الگوی مکانی آن را بیان نماید. در همین راستا ۴۲ مدل برازش گردید و از این میان براساس معیار اعتبار سنجی، روش‌های توابع شعاع محور، بهترین برازش را نشان داده‌اند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، الگوی مکانی فرین‌های آلاینده ذرات معلق ۱۰ میکرونی غربی- شرقی است، در مناطق غربی مقادیر آلاینده بیش‌تر بوده و به سمت شرق از وسعت نواحی خطرناک کاسته می‌شود. سه منطقه ۹، ۱۰، ۱۱ از نواحی خطرناک می‌باشد. برای آلاینده ذرات معلق ۱۰میکرونی سه کانون خطر وجود دارد: ۱. کانون غرب و مرکز تهران با وسعت زیاد،۲. کانون شرقی،۳. کانون منطقه۷. نتایج نشان می‌دهد چگالی زیاد این آلاینده در نقاط کم ارتفاع شهر دیده می‌شود. پس می‌توان بیان نمود که این آلاینده رابطه معکوسی با ارتفاع شهر دارد. مناطق شمالی و تا حدودی شمال شرقی که ارتفاع بیش‌تری دارند، از چگالی کم‌تری برخور دارند و ذرات معلق ۲/۵ میکرونی که از سمت شمال به جنوب کشیده شده است. تجزیه و تحلیل روزهای دو مخاطره‌ای نشان داد در روز ۱۳۹۰/۳/۱۴، مناطق مرکزی به سمت جنوب یعنی مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ و قسمت‌هایی از مناطق ۲،۶،۷، ۱۳، ۱۴،۱۵،۱۷، و ۱۹ هر دو آلاینده در حد خطرناک می‌باشند. با این تفاسیر در این بخش‌ها آلودگی به دو برابر رسیده یعنی به حد خیلی خطرناک و بیش از آن افزایش می‌یابد. در روز ۱۳۹۰/۳/۲۳ مناطق غربی نسبت به مناطق شرقی آلوده‌تر بوده‌اند. مناطق ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۷ و ۱۸ ازجمله مناطقی هستند که دو آلاینده در حد خطرناک بوده‌اند. پس بدین سبب می‌توان بیان نمود که در این مناطق آلودگی در حد خیلی خطرناک می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق قویدل و همکاران (۲۰۱۹) درخصوص منبع و نحوه گسترش ذرات معلق فرین اهواز کاملا مطابقت داشته و در یک راستا می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج پژوهش و نتایج مطالعات صنیعی (۱۳۹۴) مشخص شد که از سال ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۰ بر میزان روزهای فرین آلوده ناشی از ذرات معلق تهران افزوده نشده است.

راهکارها

با توجه به یافته‌های پژوهش، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ توسعه حمل‌ونقل عمومی پاک؛
- ✓ افزایش فضاهای سبز شهری؛
- ✓ کنترل خودروهای آلاینده؛
- ✓ طراحی ساختمان‌های پایدار؛
- ✓ ایجاد مناطق کم آلاینده.

Referenes

Asadi, N. and Rashidi, Y. (2019). *Comparison and investigation of ground station data with satellite monitoring of airborne particulate matter pollutants in Kerman Province*. Master's thesis in Environmental Engineering, Shahid Beheshti University. (In Persian)

Ashrafi, K., Shafiepour Motlagh, M., & Aslmand, A. (2013). Investigation of dust storm trajectories over Iran using numerical modeling and satellite imagery. *Environmental Journal*, 52, 3–12. (In Persian)

Camilo, F., Giulia, M., Valentina, P., & Bertoldi, P. (2025). Evidence on local climate policies achieving emission reduction targets by 2030. *Urban Climate*, 59, 102242. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102242.

Chang, Y., & Guo, X. (2025). Disparities in the impact of urban heat island effect on particulate pollutants at different pollution stages - A case study of the “2 + 36” cities. *Urban Climate*, 59, 102273. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102273.

Fani, Z, Mouloudi, J. (2010). The Assessment Of Urban Environment On Regulations & Norms: With Emphasis On Air Pollution, *Urban Management*, 7(24), 51-64. (In Persian)

Ghalamkari, Peyman, & Ahmadi Nodooshan, Mozhgan. (2022). The Relationship Between Landscape Pattern and Dispersion of PM2. 5 in Isfahan City. *JOURNAL OF RESEARCH IN ENVIRONMENTAL HEALTH*, 8(2), 123-135. (In Persian)

Goodarzi, G., & Rasti, R. (2025). The effect of the land use pattern of western area of Tehran on air pollution with the attitude of health buffer. *Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)*, 10(1). https://doi.org/10.22034/jess.2024.460388.2260. (In Persian)

Hassanvand, M. S., Faridi, S., Naddafi, K., Bayat, R., Khanizadeh, M., Momeniha, F., & Mokammel, A. (2023). Variations of particulate matter in Tehran city and their impacts. *Iranian Journal of Culture and Health Promotion*, *7*(3), 463-471. (In Persian)

Hu, X., Waller, L. A., Lyapustin, A., Wang, Y., & Liu, Y. (2014). 10-year spatial and temporal trends of PM2.5 concentrations in the southeastern US estimated using high-resolution satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics* , 14 (12), 6301–6312. https://doi.org/10.5194/acp-14-6301-2014.

KARBALAIE, ALIREZA, HOSEINI, SEYED MOHAMMAD, & KARBALAEI, MOHAMMAD REZA. (2018). SYNOPTIC-STATISTICAL ANALYSIS OF OZONE'S (O3) EXTREME DAYS IN TEHRAN. *JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCES*, 17(47), 137-153. (In Persian)

Kaveh, M., Mesgari, M. S., & Kaveh, M. (2025). A Novel Evolutionary Deep Learning Approach for PM2.5 Prediction Using Remote Sensing and Spatial–Temporal Data: A Case Study of Tehran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(2), 42. https://doi.org/10.3390/ijgi14020042. (In Persian)

Liang, Y., Wang, X., Dong, Z., Wang, X., Wang, S., Si, S., Wang, J., Liu, H.-Y., Zhang, Q., & Wang, Q. (2024). Understanding the origins of urban particulate matter pollution based on high-density vehicle-based sensor monitoring and big data analysis. *Urban Climate*, 59. doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102241.

Mirza Hosseini, H.S., MOHAMMADI, A., & Yekpaei Najaf Abadi, A. (2021). Evaluation of the amount of gaseous pollutants and airborne particles in the internal terminals of Tehran Bus Company. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 22(12 (103)), 257-271. (In Persian)

Mortazavi-Asl, S. K., Saeidirezvani, N., & Rezaei, M. (2022). Evaluation of the effect of particulate matter and vegetation on the formation of heat and cold islands in Tehran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 9(1), 97-114. https://doi.org/20.1001.1.24237892.1401.9.1.6.2. (In Persian)

Perkins, H. (2017). *Air Pollution*, Translated by Mansour Ghiyasuddin, Tehran University Press.

Poorshahbaz, H., & Ghavidel Rahimi, Y. (2013). *Synoptic-statistical analysis of maximum 10-micron suspended particles in Ahvaz City*. Tehran, Tarbiat Modares University. (In Persian)

Virginia, P., Torabi Moghadam, S., & Lombardi, P. (2025). A systematic review of justice integration to climate resilience: Current trends and future directions. *Urban Climate*, 59, 102250. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102250.

Tarmizi, S. N., Asmat, A., & Sumar, S. M. (2014). Temporal and spatial PM10 concentration distribution using an inverse distance weighted method in Klang Valley, Malaysia. *Earth and Environmental Science*, 18, 1–6. https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012048.

Zarei, M., & Yeganeh, B. (2025). Vertical distribution analysis of $PM_{2.5}$ concentration at urban highway intersections using low-cost sensors and unmanned aerial vehicles. *Urban Climate*, 59, 102243. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102243. (In Persian)

Zhang, Z., Zhu, C., Wang, L., & Chen, Y. (2024). Effects of urban renewal on green space: Evidence from airborne particulate matter in a mega city cluster. *Journal of Cleaner Production*, 438, 140811. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140811.