**Biannual Journal of Urban Ecology Researches**
Vol. 10, Issue. 2, No. 20, Autumn & Winter 2019-2020 (171-184)

**دو فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی‌شهری**
سال دهم، شماره ۲، پیاپی۲۰، پاییز و زمستان ۱۳۹۸ (۱۷۱-۱۸۴)

# تهیه نقشه آلودگی هوا با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در GIS، مورد مطالعه: کلان‌شهر تهران

***کاملیا علوی[۱]، صدیقه کیانژاد[۲]، سیده‌عالمه صباغ[۳]**

۱.استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران.

۲. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۳. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران.

**تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۹/۰۷**

# Preparation of Air Pollution Mapping by Interpolating Kriging Method in GIS, Case Study: Tehran Metropolis

***Camelia Alavi[1], Sedigheh Kianejad[2], Seayedeh Alemeh Sabbagh[3]**

1. Assistance professor, Department of environment, Faculty of agriculture and natural resource, Ardakan University.
2- Environment Msc graduate, Payam Noor University, Tehran, Iran.
3. Environment Msc graduate, Faculty of agriculture and natural resource, Ardakan University.

**Received: 29/11/2017 Accepted: 28/12/2018**

## چکیده

شهر تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر ایران در زمره آلوده‌ترین شهرهای جهان به‌حساب می‌آید بنابراین ضرورت شناخت دقیق آلاینده‌ها و مشخص ساختن پهنه‌های آلوده به‌منظور کاستن از شدت آن‌ها آشکار است. هدف این پژوهش تهیه نقشه آلودگی هوای تهران و مشخص کردن مناطقی دارای بیش‌ترین آلودگی است. برای بررسی وضعیت آلودگی هوای شهر تهران پس از جمع‌آوری غلظت ۵ آلاینده جوی (CO، NOx، SOx، O3، PM25) از ۲۰ ایستگاه ثبت‌کننده آلاینده‌های هوا، از سه روش درون‌یابی، کریجینگ و روش توابع شعاعی پایه و روش عکس فاصله وزنی IDW در نرم‌افزار ArcGIS و برای مقایسه روش‌ها و انتخاب بهترین آن‌ها از ریشه میانگین مربعات خطا RMSE و ضریب همبستگی R2 استفاده شده است. با بررسی مقادیر RMSE مشخص گردید که در اکثر پارامترها روش IDW دارای دقت مناسب‌تری جهت پهنه‌بندی آلودگی منطقه می‌باشد. برای رسیدن به نتایج با استفاده از روش‌های ذکرشده، نقشه محدوده‌های کیفی هوا در منطقه آماده و با تلفیق پنج نقشه و وزن دهی به هریک از پارامترها نقشه کلی آلودگی منطقه تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد در نقشه پهنه‌بندی آلودگی CO بیش‌ترین وضعیت آلودگی مربوط به طبقه ناسالم، در نقشه NO مربوط به طبقه بسیار ناسالم، در نقشه O3 مربوط به طبقه بسیار ناسالم، در نقشه PM مربوط به طبقه ناسالم و هم‌چنین، در نقشه SO مربوط به طبقه ناسالم می‌باشد. در نقشه نهایی نیز بیش‌ترین بخش مربوط به طبقه ناسالم است. به‌طورکلی ایستگاه مسعودیه با وزن آلودگی ۱۰۹۱ بیش‌ترین آلودگی و خطرناک‌ترین وضعیت هوا را دارد و ایستگاه دروس با وزن آلودگی ۶۲۸ دارای وضعیت مناسب‌تری بوده است.

## واژگان کلیدی

آلودگی‌هوا، پهنه‌بندی، روش‌کریجینگ، نقشه‌سازی، GIS، تهران.

## Abstract

Tehran as the largest city in Iran, is one of the most polluted cities in the world, so necessity of accurate detection of contaminants and identifying contaminated areas for reducing their severity is obvious. The aim of this research was prepared Tehran air pollution map and determining the areas with the highest polluted. For studying air pollution situation in Tehran, after gathering concentration of 5 main Atmospheric pollutants (CO, NOx ،SOx ،O3 ،PM25) from 20 air pollutant recorder station, three Interpolation methods in ArcGIS software include: Kriging, radial basis function RBF and inverse distance weighted IWD have been used. In Additon, for comparing methods and selecting the best of them, root- mean- square error RMSE and the correlation coefficient R2 had been used. It determined that in most of parameters IDW had better accuracy for zoning pollution of the area by checking the RMSE values. For achieving results with using mentioned methods, map of air quality limits in the area was ready and by combining five maps and weighing them into each parameter, general pollution map of the area was prepared. Results showed that in Monoxide carbon pollution zoning map, most of the pollution was related to the unhealthy class, in Nitrogen Oxide and Ozone was related to very unhealthy class and in particle matter and sulfur oxide was related to unhealthy class. In final map also most portion was related to unhealthy class. Overlay Masudieh station with 1091 pollution weight had the most pollutants and dangerous weather conditions and Darrus station with 628 pollution weight had better position.

## Keywords

Air pollution, Zoning, Kriging Method, Mapping, GIS, Tehran.

*** نویسنده مسئول:** کاملیا علوی

**E-mail :** calavi@ardakan.ac.ir
***Corresponding Author**: Camelia Alavi

**مقدمه**

آلاینده‌های هوا را می‌توان براساس منشأ ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی‌شان به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم نمود. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا شش آلاینده اصلی را به‌عنوان معیار انتخاب نموده و آن‌ها را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرده است. آلاینده‌های اولیه موادی هستند که از منابع به‌طور مستقیم در مقادیر زیاد به هوای محیط وارد می‌شوند و موجب بروز اثرات سوء بهداشتی و مزاحمت در رفاه عمومی در مقیاس مکانی نسبتاً بزرگ می‌شوند که برای این آلاینده‌ها استانداردهای ملی وضع نموده‌اند. این گروه آلاینده‌ها شامل پنج آلاینده منواکسید کربن ($CO$[1])، دی‌اکسید نیتروژن ($NO_2$[2])، ذرات معلق ($PM_{2.5,10}$[3])، دی‌اکسید گوگرد ($SO_2$[4]) و سرب ($P_b$[5]) می‌باشد. آلاینده‌های ثانویه به موادی اطلاق می‌شود که در اثر فعل‌و انفعالات موجود در هوای اطراف زمین به وجود می‌آید و در این گروه می‌توان از ازن ($O_3$[6]) نام برد (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵).

$CO$، گازی است که حاصل احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی است. از فراوان‌ترین آلاینده‌های اصلی در اتمسفر می‌باشد و وسایط نقلیه موتوری بزرگ‌ترین سهم را در تولید این آلاینده به خود اختصاص می‌دهد. $NO_2$، احتراق سوخت در دمای بالا موجب تولید این آلاینده می‌شود و هم‌چنین، هسته اولیه تشکیل ازن و باران‌های اسیدی است. $PM$، منابع تولید این آلاینده شامل همه انواع فرایندهای احتراقی و فعالیت صنایع و... می‌باشد. این ذرات به دلیل راه‌یابی به سیستم تنفس تحتانی به‌عنوان شاخص اصلی مواد معلق در هوا معرفی می‌شوند. $SO_2$، از منابع انتشار اصلی این آلاینده می‌توان به نیروگاه‌ها، کارخانه‌ها، خودروهای دیزلی اشاره کرد. از ترکیب این آلاینده در هوا با بخارآب، باران اسیدی تشکیل می‌شود. $O_3$، این آلاینده اساساً توسط منبعی به محیط منتشر نمی‌شود بلکه به‌وسیله واکنش‌های موجود بین آلاینده‌های اتمسفر تولید می‌شود و به همین علت این آلاینده را از نوع ثانویه می‌نامند. آلاینده‌های اولیه‌ای که در شکل‌گیری ازن شرکت دارند، اکسیدهای نیتروژن و مجموع هیدروکربن‌ها می‌باشند (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵).

آلودگی هوا طیف وسیعی از اثرات را برجای می‌گذارد. اثرات آلودگی بر روی گیاهان شاید از ملموس‌ترین اثرات آن باشد و هم‌چنین، آسیب‌هایی که این آلاینده‌ها بر انسان‌ها و سایر موجودات وارد می‌کنند. آثار تاریخی و موزه‌ها نیز به دلیل بارش باران‌های اسیدی از اثرات این آلاینده‌های هوا در امان نیستند (عطایی و هاشمی نسب، ۱۳۹۰: ۴). امروزه آلاینده‌های گوناگونی به خاطر اقدامات انسانی و فعالیت‌های بیولوژیکی وارد هوا شده و زندگی انسان‌ها را به مخاطره می‌کشاند. زیرا این آلاینده‌ها اثر مستقیم بر سلامت انسان‌ها دارند. تهران به‌عنوان پایتخت ایران نیز از این امر مستثنی نبوده و دائماً با این خطرات دست‌به‌گریبان می‌باشد (Burnham & Anderson, 2004: 2).

شهر تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر ایران با جمعیتی بالغ بر ۱۳ میلیون نفر (مرکز آمار ایران، اسفند ۱۳۹۵)، یکی از کلان‌شهرهای دنیا است. موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی، شرایط اقلیمی خاصی را برای این شهر ایجاد نموده است هم‌چنین وجود بیش از ۴ میلیون خودرو (شهرداری تهران، ۱۳۹۵) و ۳ میلیون موتورسیکلت، ۴۵ درصد کل صنایع کشور، تمرکز ۷۰ درصد خدمات و ۸۰ درصد متخصصین این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان تبدیل کرده است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵).

در سال‌های اخیر یکی از آلاینده‌هایی که بیش‌ترین تهدید را برای شهر تهران داشته است ذرات معلق بوده که ذرات معلق با قطر کمتر از ۲,۵ میکرون بیش‌ترین آلودگی را در طی سال‌های اخیر داشته است (Burnham & Anderson, 2004: 2). مقدار حجم ذرات معلق موجود در جو از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی هوا محسوب شده و به همین علت بیش‌ترین توجه را نسبت سایر آلاینده‌های جوی در سازمان‌های حفاظت محیط زیست برخوردار هستند (Wang et al, 2010: 114).

بنا به گزارش اداره محیط زیست تهران، رشد سریع شهر و صنعت در آن موجب شده است که ذرات معلق تبدیل به مهم‌ترین آلودگی هوای تهران و کلان‌شهرها شود (گزارش سالانه مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۹۴).

در اکثر شهرها و ازجمله شهر تهران ایستگاه‌های سنجش آلودگی دارای توزیعی تنک و غیر همگن می‌باشند (قربانی، ۱۳۹۰: ۱۲). بنابراین تنها با اتکاء به اندازه‌گیری این ایستگاه‌ها نمی‌توان با دقت مناسب در مورد توزیع آلودگی‌ها اظهار نظر کرد. ذرات معلق یکی از شاخص‌های آلودگی هوا است که توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی اندازه‌گیری می‌شود.

ذرات معلق، علاوه‌بر مشکلات سلامتی برای انسان‌ها باعث تأثیر بر روی مقدار تابش خورشید به زمین، تغییر سیستم زمین و جو، تأثیر روی الگوهای جریان جوی، تغییر دمای سطحی زمین و بارش و کاهش دید می‌شوند (Gupta & Christopher, 2008: 42).

توجه به پدیده آلودگی هوا و سیاست‌گذاری به‌منظور کاهش

1 . Carbon Monoxide
2 . Nitrogen Dioxide
3 . Particulate Matter Less than 10 micro meters
4 . Sulfur Dioxide
5 . Plombium
6 . Ozone

غلظت گازهای سمی در هوای کلان‌شهری مثل تهران که دربرگیرنده حجم وسیعی از جمعیت کشور می‌باشد و تعیین مستمر کیفیت هوا به‌منظور تدوین برنامه‌های کنترل آن امری ضروری می‌باشد.
از آن‌جایی‌که نقشه‌سازی یکی از مناسب‌ترین روش‌ها جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است. در این پژوهش به ترسیم نقشه آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌شده است. با توجه به آلودگی هوای تهران به‌خصوص در زمستان و آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی این مقوله، پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه آلودگی ذرات معلق شهر تهران و به‌منظور ارائه راهکارهای عملی، انجام شده است.

## مبانی نظری

میری و همکاران (۱۳۹۴) ، در پژوهشی تحت عنوان "تحلیل و پهنه‌بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی"، به مطالعه تحلیل و پهنه‌بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی پرداخته‌اند و نتایج حاکی از این است که بیش‌ترین میانگین ماهیانه آلودگی $PM_{2.5}$ مربوط به مهر ماه و ایستگاه «ساختمان» (۱μg/m3۷/ ۹۵) و کم‌ترین میانگین آلودگی ماهیانه نیز مربوط به ایستگاه طرق و در آبان ماه (μg/m3 ۵/ ۱۵) می‌باشد.

میرحسینی و شایق (۱۳۹۴)، در پژوهشی تحت عنوان "پهنه‌بندی آلودگی ناشی از ذرات معلق در هوای شهر شیراز" به مطالعه سنجش میزان غلظت ذرات معلق هوا پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان آلودگی ذرات معلق در شهر شیراز در نواحی جنوبی متمایل به جنوب غربی یعنی بخش‌هایی از مناطق ۹، ۵، ۴ و کمترین میزان آلودگی در نواحی غربی متمایل به شمال غرب و جنوب غرب یعنی بخش‌هایی از مناطق ۶ و ۹ می‌باشد.

صاحبی و عادلی‌قرجه‌داغی(۱۳۹۲)، در مقاله‌ای با عنوان"بررسی کیفیت هوای شهری با درون‌یابی آلاینده‌ها در محیط GIS با روش‌های درون‌یابی، مطالعه موردی شهر تبریز" به بررسی کیفیت هوای شهر تبریز با درون‌یابی آلاینده‌ها، غلظت آلاینده‌های هوا در ایستگاه‌های چهارگانه شهر تبریز را محاسبه کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کیفیت هوای تبریز در زمستان ۱۳۹۰ در مورد آلاینده‌های $NO_2$ و $SO_2$ در حد خوب و در مورد CO در حد متوسط بوده است. ذرات معلق موجود در هوای تبریز نیز در محدوده ایستگاه راه‌آهن غیربهداشتی، در محدوده ایستگاه حکیم نظامی غیر بهداشتی برای گروه‌های حساس و برای سایر مناطق در حد متوسط می‌باشد (صاحبی وایقان و عادلی قرجه داغی، ۱۳۹۲).

شکری فیروزه جاه(۱۳۹۰)، در پژوهشی "تأثیر پراکنش فضایی کاربری‌های شهری بر آلودگی با استفاده از روش‌شناسی توصیفی تحلیلی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای، مطالعه موردی شهر تبریز" به بررسی تأثیر پراکنش فضایی کاربری‌های شهری بر آلودگی شهر تبریز با استفاده از روش‌شناسی توصیفی- تحلیلی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که کاربری‌های مورد مطالعه در مناطق مختلف شهر نامتناسب توزیع‌شدند به‌طوری‌که بیش‌ترین کاربری‌های خدماتی و تجاری که در طول روز جمعیت و وسایل نقلیه زیادی را به‌طرف خود می‌کشاند در منطقه شش طرح جامع یعنی در بافت مرکزی شهر قرارگرفتند.

فتح تبار و همکاران(۱۳۹۰)، در پژوهشی تحت عنوان "پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک GIS، مطالعه موردی شهر تهران" برای پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا از مدل‌های آماری و تکنیک GIS استفاده نمودند. در این پژوهش، داده‌های مربوط به آلاینده‌های $PM_{10}$، $O_3$، CO شهر تهران را برای سال ۱۳۸۸ با استفاده از روش‌های کریجینگ ساده در حالت‌های مختلف واریوگرام و روش اسپلاین برای فصول مختلف سال مورد ارزیابی قرار داد و روش کریجینگ در حالت‌های مختلف واریوگرام با سطح خطای کم‌تر به‌عنوان روش بهینه انتخاب گردید.

ضرابی و همکاران(۱۳۸۹)، در مطالعه‌ای میزان آلاینده‌های منابع ثابت و متحرک شهر اصفهان را محاسبه و ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که از مجموع آلاینده‌های واردشده به شهر اصفهان ۱۳ درصد متعلق به صنایع شهری، ۱۱ درصد متعلق به منابع خانگی و ۷۶ درصد از کل آلاینده‌ها مربوط به منابع آلوده‌کننده ناشی از ترافیک در شهر اصفهان می‌باشد.

کاووسی و همکاران (۲۰۱۳)، به‌منظور پهنه‌بندی غلظت آلاینده CO و تهیه نقشه احتمال رخداد آلودگی هوا برای این آلاینده، از سه مدل اتولجستیک، اتولجستیک مرکزی شده و روش کریجینگ برای شهر تهران استفاده کرده‌اند. نتایج حاصل نشان داد مناطق شمالی، شرقی و مرکزی شهر تهران از سایر نواحی شهر آلوده‌تر هستند و از بین سه روش مذکور، مدل اتولجستیک مرکزی از توان بالاتری نسبت به روش کریجینگ و مدل اتولجستیک برخوردار است.

7 . Micro Gram Per Qubic Meter

کاووسی و همکاران (۲۰۱۳)، به‌منظور پهنه‌بندی آلاینده‌های $PM_{10}$ و CO بر روی شهر تهران و شناسایی مکان‌های آسیب‌پذیر برای سال ۱۳۹۰ از روش کریجینگ استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که خروجی‌های حاصل از مدل در مرکز شهر دارای دقت بالاتری می‌باشند(Kavousi et al, 2013: 4).

رفیع‌پور در پژوهشی به‌منظور مدل‌سازی مکانی آلاینده منوکسیدکربن از سیستم اطلاعات مکانی، رگرسیون چند متغیره و شبکه‌های عصبی استفاده کردند. جهت نیل به این منظور از ۱۸ ایستگاه سنجش کیفیت هوا و داده‌های موقعیت، ارتفاع و فاصله از خیابان اصلی جهت ورود به مدل و هم‌چنین، جهت مدل‌سازی از رگرسیون چند متغیره و سه شبکه عصبی MLP[۸]، RBF[۹]، GRNN[۱۰] استفاده شد. نتایج نشان داد شبکه عصبی MLP کارایی بهتری نسبت به بقیه مدل‌ها دارد (Rafipour, 2013: 2/113).

اکبری و همکاران (۱۳۹۴)، نیز در مطالعه‌ای با عنوان" پهنه‌بندی ماهانهٔ میزان آلودگی هوا و بررسی نحوهٔ ارتباط آن با عوامل اقلیمی، مطالعهٔ موردی: شهر مشهد"، برای بررسی‌کیفیت هوای شهر مشهد با استفاده از روش پهنه‌بندی IDW، براساس شاخص PSI[۱۱]پرداختند. در نتایج مشخص شد که در فصل بهار سال ۱۳۸۸ کیفیت هوا در وضعیت بسیار ناسالم و خطرناک و به‌طورکلی کلیه فصول را با وضعیت نامطلوب هوا گزارش کردند. در این مطالعه از ذرات معلق و مونواکسید کربن برای تعیین شاخص PSI، استفاده‌شده است.

صفوی و علی‌جنتی(۲۰۰۷)، در مقاله‌ای با عنوان "بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران" به بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران پرداختند. آن‌ها به این نتایج دست یافتند که به‌جز ویژگی‌های طبیعی شهر که تأثیر بسیار زیادی بر آلودگی هوای شهردارند، عوامل انسانی مانند ازدحام جمعیت و استقرار کارخانه‌ها در سطح شهر و به‌ویژه در غرب و جنوب غربی آن میزان آلودگی شهر را دوچندان می‌کنند.

## روش انجام پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی است و روش آن به صورت تحلیلی می‌باشد. نقشه سازی‌های این پژوهش با نرم‌افزار Arc GIS، انجام شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها از میانگین غلظت آلاینده‌های اصلی ۲۰ ایستگاه سنجش آلودگی هوای شهر تهران در طی سال ۱۳۹۵ و نیمه اول ۱۳۹۶ استفاده شده است.

Arc GIS نرم‌افزاری بسیار آسان است. GIS به کاربران این امکان را می‌دهد تا به سادگی اطلاعات مکانی و داده‌های توصیفی را برای ایجاد نقشه‌ها، جداول و نمودارها به‌کار گیرند. این نرم‌افزار ابزارهای لازم برای جستجو، تحلیل داده و نمایش نتایج را با کیفیت مناسب در اختیار کاربران قرار می‌دهد (سلطانیان، ۱۳۹۱: ۱۷۲).

در این پژوهش، ابتدا نقشه پراکنش ایستگاه‌های ثبت‌کننده در هوا که از سوی شهرداری معرفی‌شده بود، تعیین گردید. سپس بررسی و اصلاحات و نرمال‌سازی بر روی داده‌ها انجام گرفته شد. به‌منظور تست نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف اسمیرونوف استفاده شده است. بعد از آماده شدن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS به پهنه‌بندی هر یک از پارامترهای ثبت‌شده در منطقه پرداخته‌شده است.

روش‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل روش‌های پهنه‌بندی کریجینگ (ساده و معمولی)، روش توابع شعاعی پایه و روش عکس فاصله وزنی IDW می‌باشد. به‌منظور بررسی صحت و کارآمدی نقشه‌های تهیه شده نیز از روش‌های کریجینگ دو معیار استفاده شده است. ازجمله شرایط لازم در روش کریجینگ که نشان‌دهنده صحت نقشه‌ها می‌باشد، شامل ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده[۱۲] باید نزدیک به یک باشد و ریشه میانگین مربع خطاها[۱۳] و میانگین خطای استاندارد[۱۴] باید نزدیک به هم می‌باشد (راهنمای Arc GIS، 2016)

با بررسی مقادیر RMSE مشخص گردید که در اکثر پارامترها روش IDW دارای دقت مناسب‌تری جهت پهنه‌بندی آلودگی منطقه می‌باشد. البته لازم به ذکر است که اختلاف دقت بین روش‌های مذکور چندان زیاد نمی‌باشد. نتایج روش IDW در جدول ۱ ارائه گردیده است.

هم‌چنین، با انجام پهنه‌بندی هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از جدول ۱ نقشه محدوده‌های کیفی هوا در منطقه تهیه گردید و با تلفیق پنج نقشه آلودگی مربوط به پنج پارامتر آلودگی هوا و وزن دهی به هریک از پارامترها، نقشه کلی آلودگی منطقه تهیه گردید که در شکل ۷، نشان داده شده است.

8 . Multi Layer Perceptron
9 . Radial Basis Function
10 . General Regression Neural Network
11 . Pollutant Standards Index
12 . Root mean square standardized error
13 . Root mean square error
14 . Average standard error

**جدول ۱.** نتایج ارزیابی روش پهنه‌بندی IDW

| | آلاینده | خطای متوسط | RMSE |
|---|---|---|---|
| IDW | CO | ۱/۰۵ | ۶۵/۵۱ |
| | NOX | ۱۰/۴ | ۴۵/۱۱ |
| | SOX | -۰/۱۳ | ۱۸/۱۱ |
| | O3 | -۰/۶۷ | ۱۰/۸۹ |
| | PM25 | ۳/۳۴ | ۳۳/۴۴ |

## روش کریجینگ (ساده و معمولی)

یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد. براساس خود همبستگی که توسط نیم تغییر نما محاسبه می‌شود، درون‌یابی پهنه‌ای از نقاط در سراسر حوزه سه‌بعدی ارائه می‌دهد. شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که متغیرها دارای توزیع نرمال باشند. در غیر این صورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا این‌که با تبدیل‌های مناسب توزیع متغیر را به نرمال تبدیل نمود. تخمین‌گر کریجینگ معمولی که آن را بهترین تخمین‌گر خطی نااریب (BLUE[15]) نیز می‌نامند در رابطه ۱ مطرح شده است که در زیر آورده شده است (Isaaks & Srivastava, 1989).

$$z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z(x_i)$$

**رابطه ۱.** تخمین‌گر کریجینگ معمولی

$z^*(x_i)$ معیار برآوردی، $\lambda_1$ وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه iام و $z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

## روش عکس فاصله وزنی IDW

این روش از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی است. برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن دهی کنترل می‌شود. به‌طوری‌که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده است و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد. یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند، دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه ۲، محاسبه می‌گردد (میری و همکاران، ۱۳۹۴: ۲).

$$\lambda_i = (D_i - a) / \sum_{i=1}^{n} D_i - a$$

**رابطه ۲.** مقدار عامل وزنی

در رابطه ۲، $\lambda_i$ وزن ایستگاه iام، $D_i$ فاصله ایستگاه iام تا نقطه مجهول و $a$ توان وزن‌دهی می‌باشد.

## روش توابع شعاعی پایه (RBF)

روش شبکه RBF یک رویکرد شبکه عصبی با قابلیت طراحی در موضوع برازش منحنی (تقریب) در یک فضای بعد بالاست. فرایند آموزش، معادل یافتن یک تابع مناسب چندبعدی است که بهترین برازش یا انطباق را، با توجه به معیارهای آماری "بهترین برازش"، برای داده‌های آموزش تأمین کند که به‌طور مشابه، معادل استفاده از سطوح چندبعدی برای درون‌یابی داده‌های آزمون است. با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی درون‌یابی در یک فضای چندبعدی، روشRBF موردتوجه پژوهش‌گران در حوزه‌های مختلف علوم قرار گرفته است. واحدهای پنهان در شبکه‌های عصبی، به‌صورت مجموعه‌ای از توابع به‌منظور ترکیب بردارهای ورودی بر پایه الگوهای تصادفی بیان می‌شوند. توابع مورداستفاده در این نوع شبکه‌ها، توابع پایه شعاعی است (sahin, 1997: 42). توابع پایه شعاعی برای اولین بار برای حل مسئله درون‌یابی چندمتغیره مورداستفاده قرار گرفت (powell, 1977: 1).

## داده‌های ایستگاه‌های زمینی پایش آلودگی هوا

غلظت ذرات معلق توسط ایستگاه‌های زمینی و در ارتفاع کمی از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود. پهنه‌بندی دقیق کیفیت هوا تنها با استفاده از داده‌های شبکه‌های اندازه‌گیری زمینی مقدور نیست، زیرا تعداد این ایستگاه‌ها بسیار اندک بوده و کل شهر را به‌خوبی پوشش نمی‌دهند. این درحالی است که برای پوشش صحیح کیفیت هوای شهر تهران نصب ایستگاه‌های متعدد دیگر ضروری است، که خود مستلزم هزینه زیادی می‌باشد (قربانی، ۱۳۹۰). در سراسر شهر تهران در حال حاضر حدود ۲۰ ایستگاه فعال سنجش آلودگی هوا مستقر می‌باشد. از این تعداد ۱۳ ایستگاه متعلق به شرکت کنترل کیفیت آلودگی هوای تهران و ۷ ایستگاه متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست است. این ایستگاه‌ها در طول شبانه‌روز به‌صورت ساعتی، میزان غلظت آلاینده‌هایی همچون CO، NOx، SOx، $O_3$، $PM_{25}$ را اندازه می‌گیرند که آمار استفاده شده در این پژوهش مربوط به

15. Best Linerar Unbiased Estimator

میانگین غلظت های روزانه در سال ۱۳۹۵ و نیمه اول ۱۳۹۶ می‌باشد. محل استقرار این ایستگاه‌ها در هر منطقه شهر تهران در شکل ۱، نشان داده شده است. برای تعیین محدوده خطر و سلامت هوا استانداردهای متفاوتی وجود دارد که معتبرترین آن‌ها مربوط به استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) می‌باشد. در این تحقیق جهت نقشه سازی نیز به همین استاندارد استناد شده است (جدول۲).

**جدول۲.** نقاط شکست آلایندگی در محاسبه شاخص کیفیت هوا

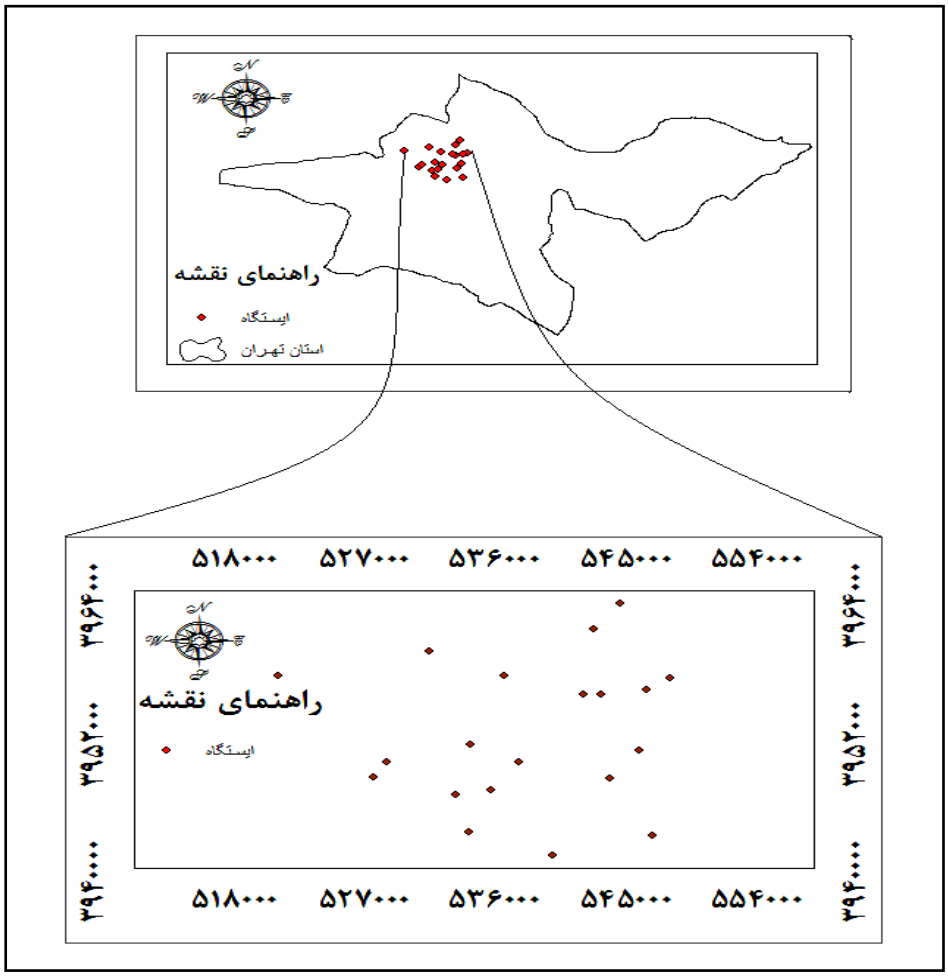
| طبقه‌بندی کیفیت هوا | AQI[16] | نقاط شکست | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | NO2 (ppm[17]) ۱ ساعته | So2 (ppm) ۲۴ ساعته | CO (ppm) ۱ ساعته | PM10 (µg/m3) ۲۴ ساعته | PM2.5 (µg/m3) ۲۴ ساعته | O3 (ppm) ۱ ساعته | O3 (ppm) ۸ساعته |
| پاک | ۰ –۵۰ | ۰ –۰/۰۵۳ | ۰ –۰/۰۳۴ | ۰/۰ –۴/۴ | ۰ –۵۴ | ۰/۰ –۱۵/۴ | – | ۰ –۰/۰۵۹ |
| سالم | ۵۱ –۱۰۰ | –۰/۱<br>۰/۰۵۴ | –۰/۱۴۴<br>۰/۰۳۵ | ۴/۵ –۹/۴ | ۵۵ –۱۵۴ | ۱۵/۵ –۳۵/۰ | – | –۰/۰۷۵<br>۰/۰۶۰ |
| ناسالم برای گروه حساس | ۱۰۱ –۱۵۰ | –۰/۳۶۰<br>۰/۱۰۱ | –۰/۲۲۴<br>۰/۱۴۵ | ۹/۵ –۱۲/۴ | ۱۵۵ –۲۵۴ | ۳۵/۱ –۶۵/۴ | – ۰/۱۶۴<br>۰/۱۲۵ | –۰/۰۹۵<br>۰/۰۷۶ |
| ناسالم | ۱۵۱ –۲۰۰ | –۰/۶۴۰<br>۰/۳۶۱ | –۰/۳۰۴<br>۰/۲۲۵ | –۱۵/۴<br>۱۲/۵ | ۲۵۵ –۳۵۴ | ۶۵/۵ –۱۵۰/۴ | –۰/۲۰۴<br>۰/۱۶۵ | –۰/۱۱۵<br>۰/۰۹۶ |
| بسیار ناسالم | ۲۰۱ –۳۰۰ | –۱/۲۴<br>۰/۶۵ | –۰/۶۰۴<br>۰/۳۰۵ | –۳۰/۴<br>۱۵/۵ | ۳۵۵ –۴۲۴ | –۲۵۰/۴<br>۱۵۰/۵ | –۰/۴۰۴<br>۰/۲۰۵ | –۰/۳۷۴<br>۰/۱۱۶ |
| خطرناک | ۳۰۱ –۴۰۰<br>۴۰۱ –۵۰۰ | –۱/۶۴<br>۱/۲۵<br>–۲/۰۴<br>۱/۶۵ | –۰/۸۰۴<br>۰/۶۰۵<br>–۱/۰۰۴<br>۰/۸۰۵ | –۴۰/۴<br>۳۰/۵<br>–۵۰/۴<br>۴۰/۵ | ۴۲۵ –۵۰۴<br>۵۰۵ –۶۰۴ | –۳۵۰/۴<br>۲۵۰/۵<br>–۵۰۰/۴<br>۳۵۰/۵ | –۰/۵۰۴<br>۰/۴۰۵<br>–۰/۶۰۴<br>۰/۵۰۵ | (۲) |

## محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران، پایتخت ۲۲۰ ساله ایران در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز در حدفاصل طول ۵۱ درجه و ۵ دقیقه‌ی شرقی تا ۵۱ درجه و ۵۳ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه‌ی شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه‌ی شمالی با حدود ۷۰۰ کیلومترمربع مساحت گسترده شده است. این شهر از شمال به سلسله جبال البرز، از شرق به لواسانات و از غرب به کرج و از جنوب به ورامین محدود می‌شود (شکل۱).

ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد. شهر تهران با جمعیتی قریب به ۱۲ میلیون نفر، ۱۲ درصد جمعیت کل کشور را به خود اختصاص داده است. با توجه به اینکه شهر تهران دارای موقعیت خاص جغرافیایی و از شرایط نامناسب بافت شهری برخوردار است، وسایط نقلیه زیادی در طول شبانه‌روز در آن به فعالیت مشغول هستند و بادهای غربی در تمام طول سال دود کارخانه‌ها و سایر عوامل تولید آلاینده را به سطح شهر تهران وارد می‌سازند. در مجموع دارای شرایط نامساعد زیست‌محیطی بوده و آلودگی هوای آن در سال‌های اخیر با محتوای گازهای سمی به‌صورت خطرناک عمل می‌نماید که تغییرات بسیار چشمگیر محیطی و اقلیمی را در آن موجب گردیده است (بهاری و همکاران، ۱۳۹۴: ۳).

16 . Air Quality Index
17 . Parts Per Million




**شکل ۱.** موقعیت محل مطالعه و جایگاه ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا

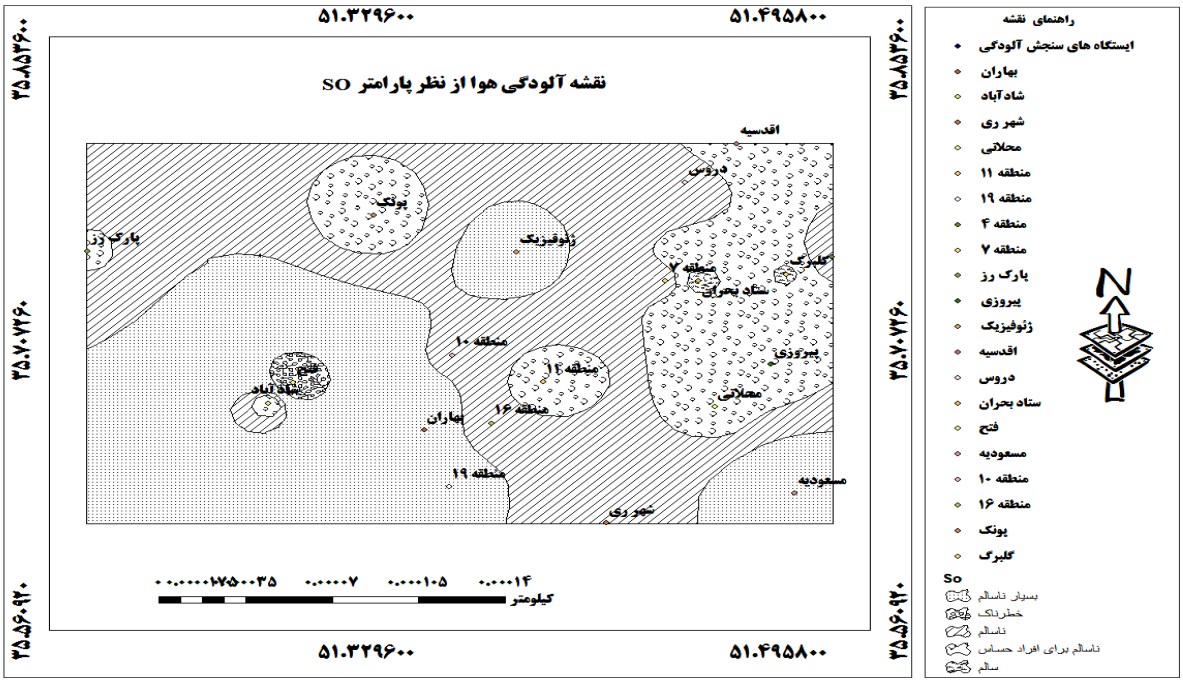
## یافته‌ها

پس از جمع‌آوری غلظت ۵ آلاینده جوی (CO، NOx، SOx، $O_3$، $PM_{25}$) از ۲۰ ایستگاه ثبت‌کننده آلاینده‌های اصلی و پهنه‌بندی هرکدام از این آلاینده‌ها به‌طور جداگانه در این ۲۰ ایستگاه، پنج نقشه آلودگی مربوط به ۵ آلاینده جوی به‌دست آمد که در شکل‌های ۲ تا ۶ آورده شده است. هم‌چنین، با استفاده از جدول ۱، نقشه محدوده‌های کیفی هوا در منطقه تهیه گردید که در جدول ۲، نشان داده‌شده است.

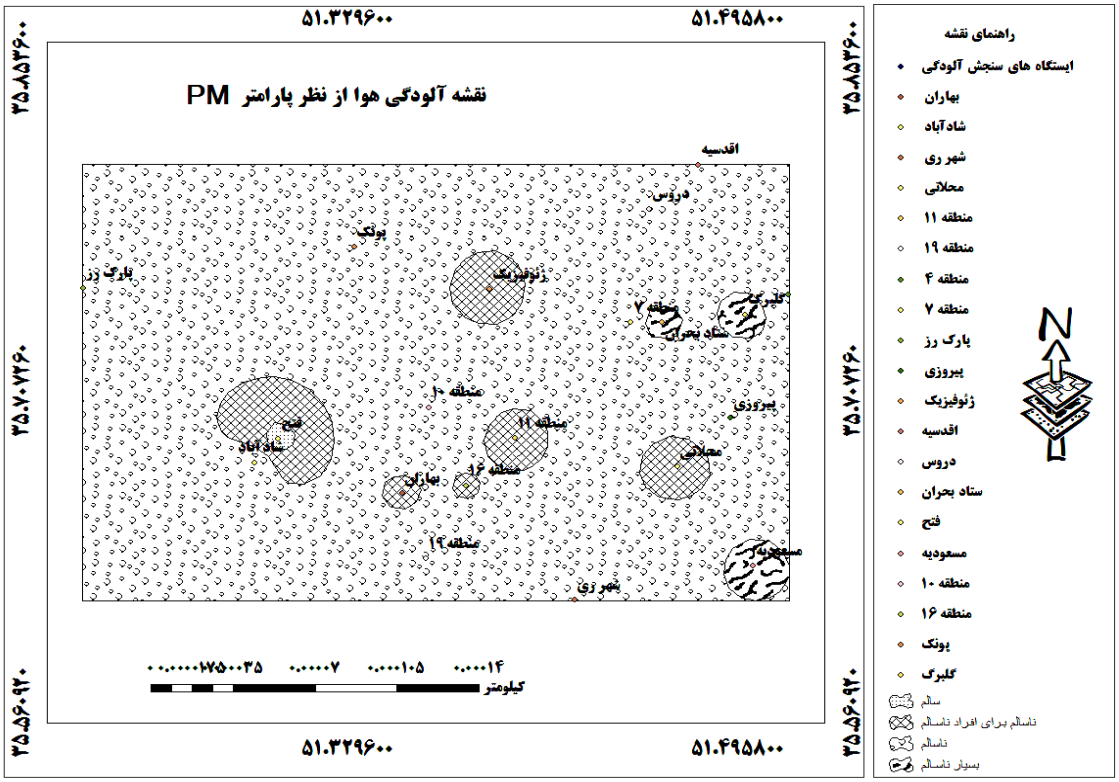
نتایج گزارش‌های مربوط به میانگین غلظت سالانه ۵ پارامتر اصلی آلاینده هوا نیز که در ایستگاه‌های ۲۰ گانه مذکور ثبت و در نقشه‌سازی استفاده شده، در جدول ۳ آورده شده است. پس از انجام نقشه سازی، نتایج نشان می دهد از بین ایستگاه‌های بیست‌گانه سنجش آلودگی هوای سطح شهر تهران، به ترتیب ۵ ایستگاه مسعودیه، شهرداری منطقه ۴، شهرداری منطقه ۱۰، ستاد بحران منطقه ۷ و اقدسیه آلوده‌ترین بودند. ۵ ایستگاه دروس، گلبرگ، شهرری، فتح و شهرداری منطقه ۷، پاک ترین ایستگاه‌ها می‌باشند.

**جدول ۳.** میانگین غلظت سالانه ۵ پارامتر اصلی آلاینده هوا در ایستگاه‌های ۲۰ گانه

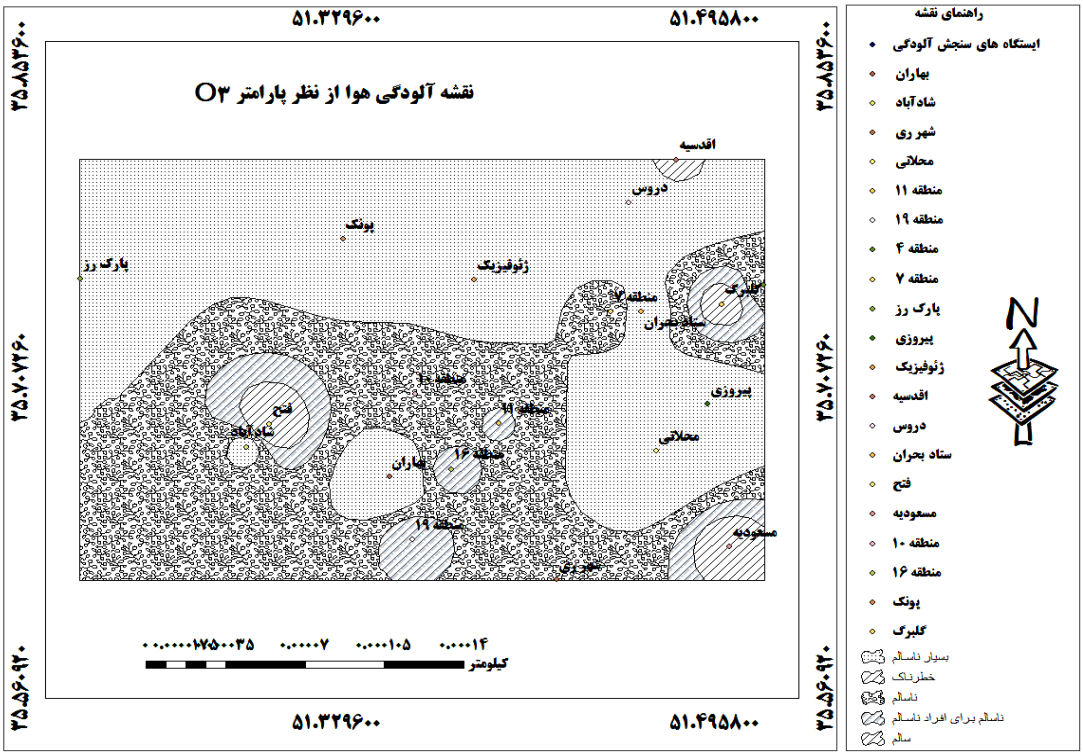
| نام ایستگاه | غلظت متوسط CO | غلظت متوسط NOx | غلظت متوسط SOx | غلظت متوسط $O_3$ | غلظت متوسط $PM_{10}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| اقدسیه | ۲/۷ | ۸۹/۹ | ۳۹/۲ | ۲۴ | ۳۸/۲ |
| محلاتی | ۱/۸ | ۱۳۲/۱ | ۱۱/۴ | ۲۳/۳ | ۱۲۴/۴ |
| بهاران | ۱/۷ | ۷۵/۵ | ۱۳/۴ | ۸/۱ | ۱۲۹/۴ |
| پارک رز | ۲/۷ | ۳۷/۱ | ۲۱/۷ | ۲۸/۷ | ۷۸/۳ |
| پیروزی | ۳/۲ | ۱۸/۹ | ۳۴/۶ | ۱۲/۸ | ۱۰۴/۳ |
| پونک | ۲/۹ | ۸۰/۶ | ۲۷/۲ | ۲۴/۴ | ۶۰ |
| دروس | ۲/۷ | – | ۲۳ | ۱۸/۴ | ۱۰۰/۷ |
| ژئوفیزیک | ۲/۶ | ۱۰۲ | ۴۵/۷ | ۳۱/۸ | ۵۳ |
| ستاد بحران (م ۷) | ۳ | ۱۸۳/۴ | ۱۸ | ۳۳/۹ | ۳۴/۶ |
| شادآباد | ۱/۶ | ۳۴/۱ | ۵۴/۶ | ۸ | ۱۲۶/۷ |
| شهرری | ۲/۸ | ۱۰۶/۲ | ۲۳/۳ | ۱۴/۱ | ۵۵/۶ |
| شهرداری منطقه ۴ | ۲/۵ | ۱۰۵/۸ | ۱۴/۵ | ۱۵/۸ | ۴۱/۹ |
| شهرداری منطقه ۷ | ۵/۸ | ۷۰/۵ | ۱۴/۴ | ۲۶/۳ | ۹۵/۲ |
| شهرداری منطقه ۱۰ | ۲۸۵/۲ | ۱۵۲/۳ | ۸۶ | ۳/۱ | ۲۴/۵ |
| شهرداری منطقه ۱۶ | ۲/۴ | ۸۰ | ۲۷/۱ | ۱۷/۹ | ۹۱/۵ |
| شهرداری منطقه ۱۹ | ۳/۵ | ۳۸/۱ | ۱۵ | ۴۶/۴ | ۸۹/۵ |
| گلبرگ | ۲/۶ | ۵۹/۷ | ۱۵ | ۲۳/۱ | ۷۱/۳ |
| مسعودیه | ۳/۵ | ۶۳ | ۱۷/۶ | ۲۵/۲ | ۷۱ |
| فتح | ۲/۳ | ۹۵/۲ | ۲۵/۲ | ۱۷/۶ | ۱۱۸/۲ |
| شهرداری منطقه ۱۱ | ۲/۸ | ۸۵ | ۲۹/۴ | ۱۶/۴ | ۹۴/۱ |



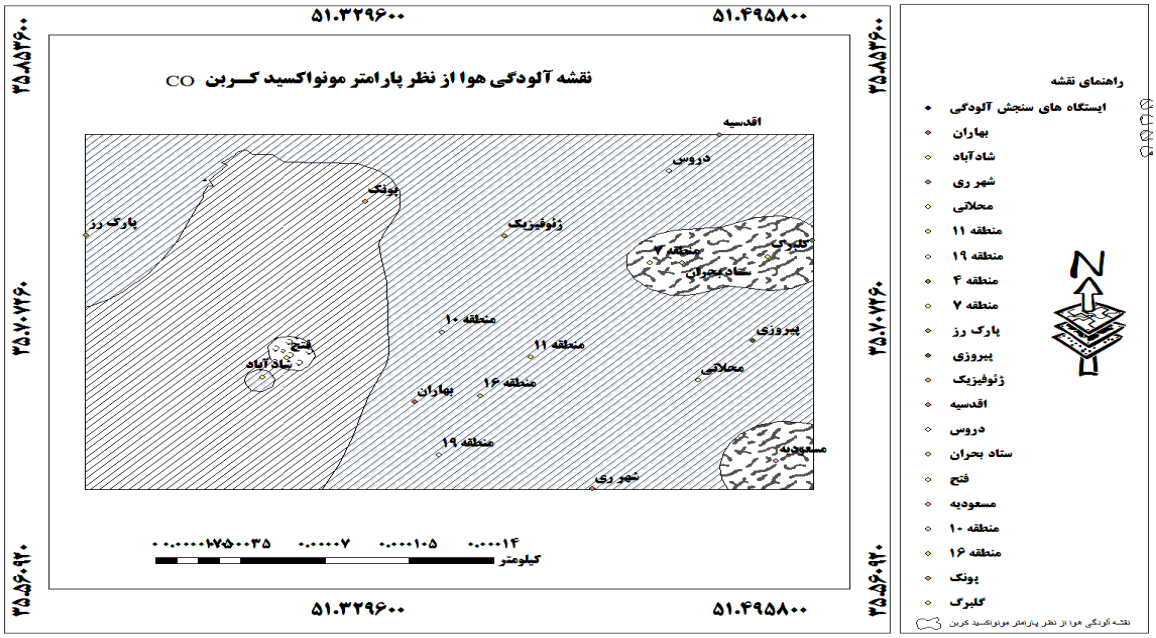

**شکل۲.** نقشه پهنه‌بندی آلودگی SO در ایستگاه‌های ثبت‌شده در تهران



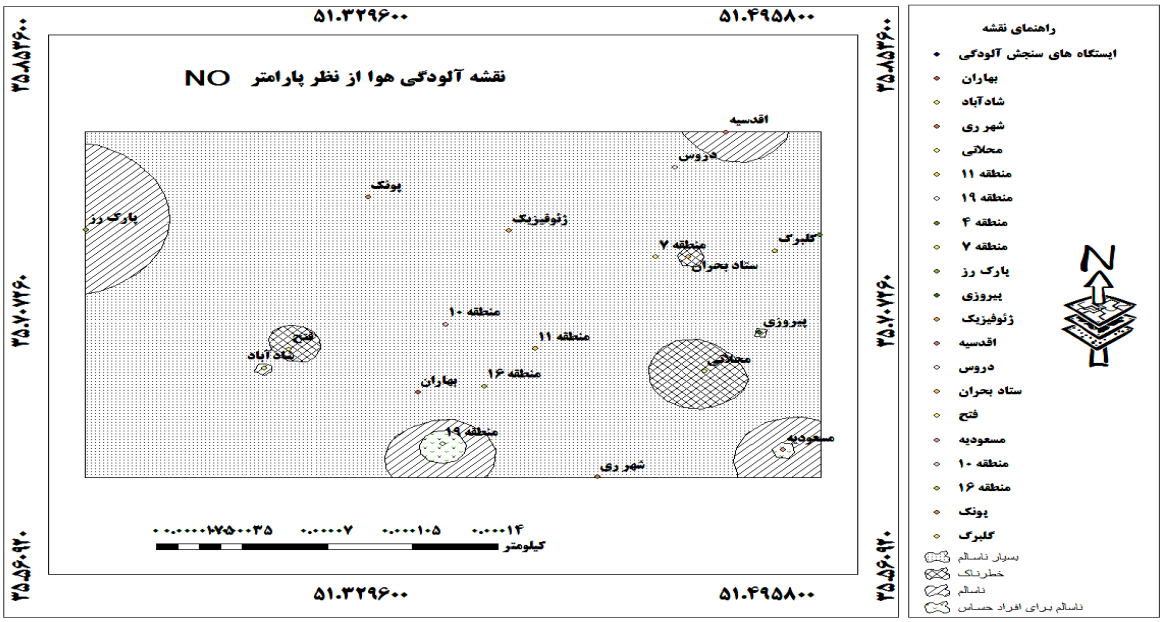

**شکل۳.** نقشه پهنه‌بندی آلودگی PM در ایستگاه‌های ثبت‌شده در تهران




**شکل۴.** نقشه پهنه‌بندی آلودگی O3 در ایستگاه‌های ثبت‌شده در تهران




**شکل۵.** نقشه پهنه‌بندی آلودگی CO در ایستگاه‌های ثبت‌شده در تهران



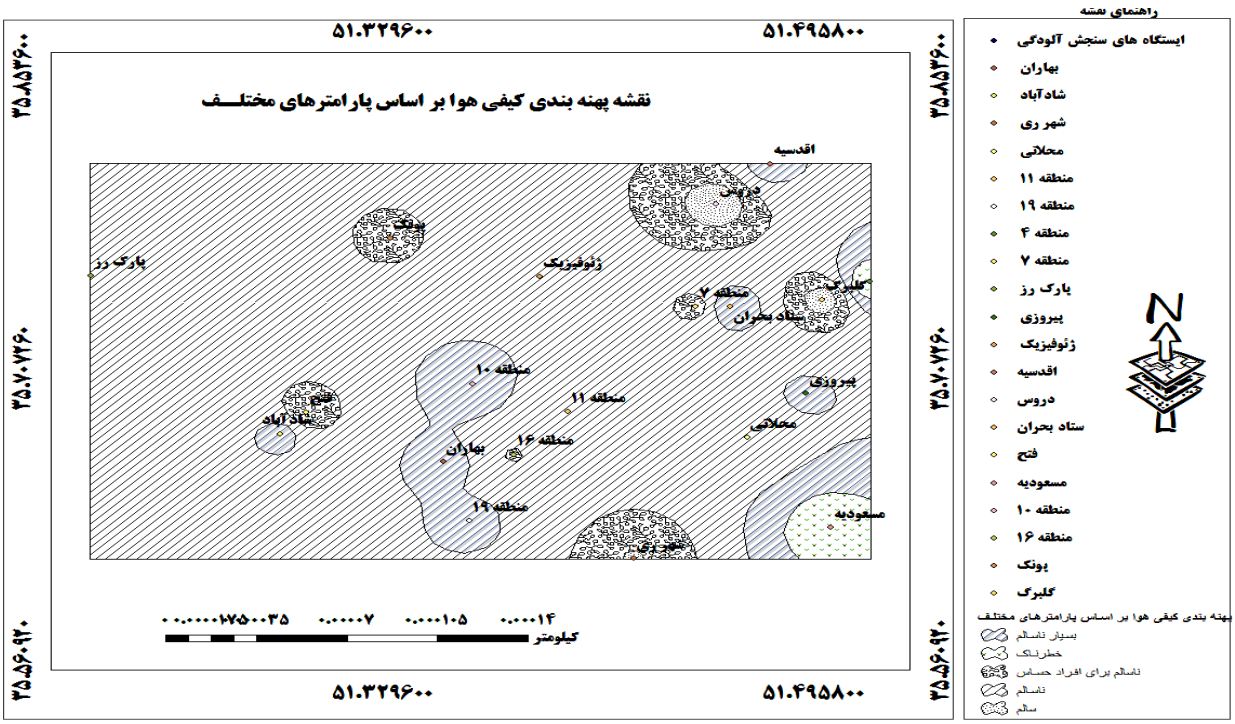

**شکل۶.** نقشه پهنه‌بندی آلودگی NO در ایستگاه‌های ثبت‌شده در تهران

وضعیت بهترین و بدترین ایستگاه سنجش آلودگی در جدول ۴ آورده شده است.

**جدول ۴.** وضعیت آلودگی سالانه بهترین و بدترین ایستگاه سنجش آلودگی هوای شهر تهران

| نام ایستگاه | تعداد روز پاک | تعداد روز سالم | تعداد روز ناسالم | تعداد روز بسیار ناسالم | تعداد روز خطرناک | وزن آلودگی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دروس | ۱۴۹ | ۱۸۹ | ۱۴ | ۶ | ۷ | ۶۲۸ |
| مسعودیه | ۴۹ | ۲۷۷ | ۸۶ | ۲۵ | ۲۶ | ۱۰۹۱ |

شکل‌های ۲ تا ۶، نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی ایستگاه‌های تهران را نشان می‌دهند. پس از تلفیق نقشه‌های ۵ گانه مربوط به پنج آلاینده اصلی، نقشه نهایی آلودگی منطقه تهیه شد که در شکل ۷، ارائه شده است. در این نقشه، بیش‌ترین وضعیت آلودگی مربوط به طبقه ناسالم می‌باشد که نشان از کیفیت ناسالم هوای تهران است.




**شکل۷.** نقشه نهایی پهنه‌بندی آلودگی ذرات معلق در ایستگاه‌های ثبت‌شده در تهران

## بحث و نتیجه‌گیری

آلودگی هوا امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات جوامع بشری مطرح می‌باشد. گسترش شهرنشینی و توسعه شهرها به همراه افزایش شتابان جمعیت، توسعه فعالیت‌های صنعتی و مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی به‌شدت آلودگی‌ها را افزایش داده و این مسئله را به‌عنوان یکی از مباحث مطرح زیست‌محیطی، در طی دهه‌های اخیر تبدیل کرده است.

کلان‌شهر تهران در جدول رده‌بندی شهرهای بزرگ جهان، ازنظر آلودگی هوا در رده بالایی قرارگرفته و این امتیاز منفی، دلایل عمده‌ای دارد که یکی از آن‌ها موقعیت جغرافیایی و اقلیمی تهران است. در فصل‌های پاییز و زمستان آلودگی هوای تهران به بالاترین میزان خود می‌رسد، زیرا در بیش‌تر روزهای این فصول پدیده‌ای موسوم به اینورژن یا وارونگی دما سراسر شهر را که در گودالی شبیه به یک کاسه بزرگ قرار دارد می‌پوشاند و آلودگی هوا را تشدید می‌کند. به نظر می‌رسد حل مشکل آلودگی هوا در شهرهای کشور به‌ویژه تهران بدون عزمی جدی و تلاش بی‌وقفه از سوی سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی و اساتید فن در جهت تدوین راهبردها، قوانین و راهکارهای صحیح و علمی برای حل این معضل ملی میسر نمی‌باشد. در این مطالعه تحلیل فضایی میانگین غلظت آلایندگی ذرات CO، NOx، SOx، $O_3$، $PM_{25}$ توسط روش‌های کریجینگ، روش توابع شعاعی پایه و روش عکس فاصله وزنی IDW در شهر تهران موردبررسی قرارگرفته است.

روش IDW ازجمله روش‌های درون‌یابی است که در آن برآورد براساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطهٔ برآورد که بنا برعکس فاصله وزن دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر، به نقاط نزدیک به نقطهٔ برآورد وزن بیش‌تری داده می‌شود تا به نقاط دورتر. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطهٔ برآورد، شباهت بیش‌تری به آن دارند تا نقاط دورتر. اما کریجینگ، روش درون‌یابی و برآورد زمین‌آماری است که قادر است براساس مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند.

عمومی‌ترین روش آن‌که در علوم محیط زیستی نیز کاربرد فراوانی دارد، کریجینگ معمولی است (Akhavan, 2012: 4).

در روش کریجینگ هر نمونه معلوم در تخمین نمونه مجهول بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوطه دارد درحالی‌که در روش‌های دیگر وزن‌ها فقط به یک مشخصه مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه‌ها، تغییر نمی‌کند و با ضعیف شدن ساختار فضایی نقش نمونه‌ها کم‌تر می‌شود. مدل کریجینگ از دقیق‌ترین مدل‌هایی است که در تهیه نقشه‌های پراکندگی بکار می‌رود. به دلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد، جایگاه ویژه‌ای در درون‌یابی به‌دست آورده است.

همان‌طور که در بالا ذکر گردید، در اکثر پارامترها روش IDW دارای دقت مناسب‌تری جهت پهنه‌بندی آلودگی منطقه می‌باشد. هرچقدر مقدار RMSE کم‌تر باشد نشان‌دهنده اختلاف کم‌تر مقادیر برآورد شده (پیش‌بینی‌شده توسط روش) نسبت به مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. در این روش آلاینده $O_3$ دارای کم‌ترین RMSE که معادل ۸۹/ ۱۰ و آلاینده CO دارای بیش‌ترین RMSE که معادل ۵۱/ ۶۵ می‌باشد، برآورد شده است.

در نقشه پهنه‌بندی آلودگی CO بیش‌ترین وضعیت آلودگی مربوط به طبقه ناسالم، در نقشه NO مربوط به طبقه بسیار ناسالم، در نقشه $O_3$ مربوط به طبقه بسیار ناسالم، در نقشه PM مربوط به طبقه ناسالم و همچنین، در نقشه SO مربوط به طبقه ناسالم می‌باشد. در نقشه نهایی نیز این وضعیت مربوط به طبقه ناسالم می‌باشد.

به‌طورکلی ایستگاه مسعودیه با داشتن تعداد ۴۹ روز پاک، ۲۷۷ روز سالم، ۸۶ روز ناسالم، ۲۵ روز بسیار ناسالم، ۲۶ روز خطرناک و وزن آلودگی ۱۰۹۱ دارای بیش‌ترین آلودگی می‌باشد و خطرناک‌ترین وضعیت هوا را داراست. ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۴ و شهرداری منطقه ۱۰ ترتیب با وزن آلودگی ۱۰۹۰ و ۹۸۵ بیش‌ترین آلودگی را در بین سایر ایستگاه‌ها دارند. همچنین، ایستگاه دروس با داشتن تعداد ۱۴۹ روز پاک، ۱۸۹ روز سالم، ۱۴ روز ناسالم، ۶ روز بسیار ناسالم، ۷ روز خطرناک و وزن آلودگی ۶۲۸ دارای کم‌ترین میزان آلودگی است و وضعیت مناسب‌تری دارد. ایستگاه‌های به‌ترتیب گلبرگ و شهر ری با وزن آلودگی ۶۴۶ و ۶۹۵ کم‌ترین آلودگی را در بین سایر ایستگاه‌ها دارند.

ازجمله دلایلی که می‌توان در آلوده‌ترین ایستگاه‌ها برای وضعیت نامناسب آن‌ها ذکر کرد شامل مواردی ازجمله تردد و پرجمعیت بودن در طول روز به علت مرکز شهر بودن، تردد خودروهای آلاینده در این مناطق، نبود فضای سبز کافی در منطقه و وجود پایانه‌های مسافربری می‌باشد. ایستگاه‌های آلوده اغلب محل تمرکز صنایع شهری نیز می باشند. هم‌چنین، از دلایل آلودگی کم‌تر در ایستگاه‌های ذکرشده مانند دروس و ... هم می‌توان به سرانه فضای سبز بهتر و استفاده بیش‌تر از خودروهای جدید و با آلایندگی کم‌تر اشاره نمود.

برخی از این مناطق نیز با با وجود جمعیت نسبتا بیش‌تر و تردد به علت موقعیت جغرافیایی یا اعمال محدودیت‌های ترافیکی وضعیت بهتری دارند مانند ایستگاه گلبرگ.

## راهکارها

با توجه به نتایج پژوهش برای بهبود وضعیت کیفیت هوای شهر تهران می‌توان راهکارهای عملی زیر را پیشنهاد داد:

- ✓ استفاده کم‌تر از خودروهای شخصی و روی آوردن به‌وسیله نقلیه عمومی به‌ویژه در مناطق آلوده؛
- ✓ تحقیقات و پژوهش‌های بیش‌تر در شرکت نفت برای ارتقای کیفیت بیش‌تر سوخت‌های فسیلی به‌خصوص بنزین مصرفی خودروهای شخصی و همگانی؛
- ✓ اجرای طرح‌های تمرکززدایی جمعیتی از تهران و سایر کلان‌شهرها؛
- ✓ انتقال کارخانه‌های بزرگ و کوچک کوره‌های ذوب فلز و ریخته‌گری به نواحی دور از تهران و نواحی شهری؛
- ✓ ساماندهی سیستم حمل‌ونقل و ترافیک شهری به‌خصوص در مناطق با بیش‌ترین آلودگی.

## منابع


۱. اکبری، الهه، معصومه، فاخری،عفت، پورغلامحسین، اکبری، زهرا، ( ۱۳۹۴)، پهنه‌بندی ماهانه میزان آلودگی هوا و بررسی نحوه ارتباط آن با عوامل اقلیمی( مورد مطالعه: شهر مشهد)، نشریه محیط زیست طبیعی، دوره ۶۸، شماره ۴: ۵۳۳- ۵۴۷.

۲. بهاری، روح‌الامین، عباس‌پور، رحیم‌علی، پهلوانی، پرهام، (۱۳۹۴)، *پهنه‌بندی آلودگی ذرات معلق با استفاده از مدل‌های آماری محلی در GIS (مطالعه موردی، شهر تهران)*، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره پنجم، شماره ۳.

۳. سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۹۵)، *بروشور آلودگی هوا*، تهران، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.

۴. سلطانیان، محمود، (۱۳۹۱). *آموزش جامع Arc GIS*، تهران، ۱۷۲.

۵. شکری فیروزه جاه، پری، (۱۳۹۰)، *تأثیر پراکنش فضایی کاربری‌های شهری بر آلودگی با استفاده از روش‌شناسی توصیفی تحلیلی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای، مطالعه موردی شهر تبریز*، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۲(۱) : ۴۴ – ۳۳.

۶. شهرداری تهران، آمارگیری خودروهای فعال، (۱۳۹۵)، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران.

۷. صاحبی وایقان، سعیده، عادلی قرجه داغی، شهاب،(۱۳۹۲)، *بررسی کیفیت هوای شهری با درون‌یابی آلاینده‌ها در محیط GIS با روش‌های درون‌یابی، مطالعه موردی شهر تبریز*، شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.

۸. ضرابی، اصغر، محمدی، جمال، عبدالهی، علی اصغر، (۱۳۸۹)، *بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان*، فصلنامه جغرافیا (انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، ۸(۲۶) : ۱۵۱– ۱۶۵.

۹. عطایی، هوشمند، هاشمی نسب، سادات، (۱۳۹۰)، *شناسایی و تجزیه‌وتحلیل الگوهای تراز میانی جو مؤثر در آلودگی هوا، با به‌کارگیری داده‌های شاخص استاندارد آلودگی هوا (PSI)، مطالعه موردی شهر اصفهان*، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال دوم، (شماره ۴)، مرودشت، ۱۱۳– ۹۷.

۱۰. فتح تبار فیروز جایی، سمیه، آل شیخ، علی اصغر، رنگزن، کاظم، چینی‌پرداز، رحیم، (۱۳۹۰)، *پهنه‌بندی آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک GIS، مطالعه موردی شهر تهران*، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، همدان.

۱۱. قربانی، رضوان، (۱۳۹۰)، *اعتبار سنجی داده‌های سنجنده مودیس در رابطه با آلودگی‌های جوی در مناطق شهری*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور به راهنمایی دکتر محمدرضا مباشری، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی.

۱۲. گزارش سالانه مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، ۱۳۹۴.

۱۳. مرکز آمار ایران، (۱۳۹۵)، آمارنامه جمعیت ایران، تهران.

۱۴. میرحسینی، سید ابوالقاسم، شایق، مهدی، (۱۳۹۴)، *پهنه‌بندی آلودگی ناشی از ذرات معلق در هوای شهر شیراز*، دومین کنفرانس پدافند غیرعامل در بخش کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و علوم غذایی.

۱۵. میری، محمد، قانعیان، محمدتقی، قلیزاده، عبدالمجید، یزدانی اول، محسن، نیکونهاد، علی، (۱۳۹۴)، *تحلیل و پهنه‌بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی*، مجله مهندسی بهداشت محیط، سال سوم، شماره ۲.

16. Akbari, E. Mohammadnia, M. Keshavarz Mozaffari, Z. (2011), *The modeling of air pollution in the city of Mashhad using SPI index in GIS environment*, National Conference on Air Pollution. University of Tehran: 32.
17. Akhavan, R. Karami, K.M., Soosani, J. (2012), *Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (case study: Kakareza region, Khorramabad).* Iran J Forest; 3(4): 305-316.
18. Alijani, B. Safavi, S. Y. (2007), *Study Geographical Factors in Tehran Air Pollution*. Geographical Studies Journal, 58, 99-112.
19. Burnham, K. P. Anderson, D.R. (2004), *Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection*. Sociological methods & research, 33(2): 261-304.
20. Gupta, P. Christopher. Sa A. (2008), *An evaluation of Terra-MODIS sampling for monthly and annual particulate matter air quality assessment over the Southeastern United States*. Atmospheric Environment, 42(26), 6465-6471.

21. Isaaks, E. H. Srivastava, R. M. (1989). *Applied geostatistics*. Oxford University Press. New York, 561.
22. Kavoosi, A. Sefidkar, R., Alavimajd, H., Imanzad, M., Noormoradi, H. (2013), *spatial analysis of air pollution in Tehran using autologistic regression, centralized autologistic regression, and pointer kriging*, research journal of Ilam medicine university,21 (7): 206-214.
23. Kavousi, Amir, Sefidkar, R., Alavimajd, H., Rashidi, Y., & Khonbi, Z. A. (2013), *Spatial analysis of CO and PM10 pollutants in Tehran city*, Journal of Paramedical Sciences, 4(3).41-50.
24. Powell, Michael J. D. (1977), *Restart procedures for the conjugate gradient method*, Mathematical programming, 12(1), 241-254.
25. Rafipour, M. (2013), *Comparisons of efficiency of different neural networks in spatio-temporal prediction of air pollution of Tehran*. MSc thesis, Faculty of Chemistry, K. N. Toosi University of Technology: 2/113.
26. Sahin, F. (1997), *A radial basis function approach to a color image classification problem in a real time industrial application*, Ph.D. Thesis, Polytechnic Institute of Virginia: 42.
27. Wang, Zh. Lin, Chen, L., Tao, J., Zhang, Y., Su, L. (2010), *Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method*, Remote sensing of environment, 114(1):50-63.
28. Kavousi, Amir, Sefidkar, R., Alavimajd, H., Rashidi, Y., & Khonbi, Z. A. (2013), *Spatial analysis of CO and PM10 pollutants in Tehran city*, Journal of Paramedical Sciences, 4(3).41-50.
29. Powell, Michael J. D. (1977), *Restart procedures for the conjugate gradient method*, Mathematical programming, 12(1), 241-254.
30. Rafipour, M. (2013), *Comparisons of efficiency of different neural networks in spatio-temporal prediction of air pollution of Tehran*. MSc thesis, Faculty of Chemistry, K. N. Toosi University of Technology: 2/113.
31. Sahin, F. (1997), *A radial basis function approach to a color image classification problem in a real time industrial application*, Ph.D. Thesis, Polytechnic Institute of Virginia: 42.
32. Wang, Zh. Lin, Chen, L., Tao, J., Zhang, Y., Su, L. (2010), *Satellite-based estimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method*, Remote sensing of environment, 114(1):50-63.