علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره ده، دی ماه ۹۸

ارزیابی روش های قطعی و زمین آمار در پهنه بندی غلظت ذرات معلق ($PM_{2.5}$ و PM_{10}) با استفاده از GIS: مطالعه موردی، شهر سبزوار

سید علی سجادی[۱]

مهری دلسوز[۲]

قاسم ذوالفقاری[۳*]

ghr_zolfaghari@yahoo.com

محسن میرمحمدی[٤]

حامد ادب[۵]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۸ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۰**

چکیده

زمینه و هدف: امروزه زندگی افراد به خاطر آلاینده های متعدد وارد شده به اتمسفر ناشی از اقدامات انسانی و فعالیت های بیولوژیکی در معرض خطر است. از دیدگاه بهداشت عمومی ذرات معلق یکی از آلاینده های اصلی هوا می باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی روش های میان‌یابی مکانی جهت تعیین غلظت سطحی ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ در شهر سبزوار و در نتیجه، انتخاب مناسب ترین روش میان‌یابی به منظور تهیه نقشه های پهنه بندی ذرات معلق در محیط GIS است.

مواد و روش ها: اندازه گیری ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} توسط دستگاه مونیتورینگ گرد و غبار محیطی مدل Haz-Dust EPAM5000، در

۴۸ ایستگاه سطح شهر انجام شد و پس از اطمینان از صحت آماری آن‌ها در محیط نرم افزاری ARC GIS توسط افزونه زمین آماری در منطقه مورد مطالعه (شهر سبزوار) به روش های کریجینگ (Kriging)، وزن دهی فاصله معکوس (IDW) پهنه بندی و ارزیابی شد. در نهایت با توجه به مقادیر خطایی که هر الگوریتم پس از میان‌یابی نشان داد بهترین روش از بین روش های میان‌یابی مورد آزمون انتخاب شد.

۱ - دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران.

۲ - کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران.

۳ -استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. *(مسئول مکاتبات)

۴ - استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۵ - استادیار، گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

یافته ها: نتایج حاصل نشان دهنده این بود که بین روش های زمین آمار و قطعی تفاوت چندانی بین روش های قطعی و زمین آمار به لحاظ مقادیر مربع میانگین ریشه دوم ((Root Mean Squared (RMS) و همچنین میانگین قدر مطلق درصد خطا (Mean Absolute Percentage Error (MAPE)) وجود ندارد هر چند که این میزان برای روش های قطعی کم‌تر می باشد.

بحث و نتیجه گیری: به نظر می رسد که مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای پهنه بندی غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} روش قطعی با تابع IDW می باشد.

واژه‌های کلیدی: میان‌یابی، GIS، ذرات معلق، زمین آمار

J. Env. Sci. Tech., Vol 21, No.10, December, 2019

Evaluatin of Deterministic and Geostatistics Methods for Particulate Matter Concentration ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) Zoning Using GIS: case study, Sabzevar City

Seyed Ali Sajjadi[1]
Mehri Delsouz[2]
Ghasem Zolfaghari[3*]
ghr_zolfaghari@yahoo.com
Mohsen Mir Mohammadi[4]
Hamed Adab[5]

Accepted: 2017.04.30 Received:2016.11.18

Abstract

Background and Objectives: Nowadays, people's life is at risk because of various pollutants into the atmosphere by human action and biological activities. One of the major air pollutants are particulate matter. The aim of this study was to evaluate spatial interpolation methods to determine the concentration $PM_{2.5}$ and PM_{10} in Sabzevar city and select the most suitable interpolation method for preparation of zoning maps particulate matter in GIS.

Materials and Methods: Particulate matter were measured by a monitoring device, environmental dust model Haz-Dust EPAM 5000 at 48 stations in the city, then in ARC GIS software three well-known spatial interpolation techniques, namely Kriging, Inverse Distance Weighting (IDW) were applied for generating the prediction maps. Finally the best interpolation method was chosen according to the values of each algorithm error.

Findings: The results indicated that the RMS was lower between geostatistical and deterministic methods, and the MAPE in deterministic methods was lower.

Discussion and Conclusion: The best interpolation method for the particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) was deterministic method by IDW function.

Keywords: Interpolation, GIS, Particulate matter, Geostatistic

1- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran.
2- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran.
3 - Assistant Professor, Department of Environmental Technology, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan -e- Razavi, Sabzevar, P.O. Box: 397, Iran. *(*Corresponding Author*)
4- Assesistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran.
5 -Assesistant Professor, Department of Climatology and Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim
Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

مقدمه

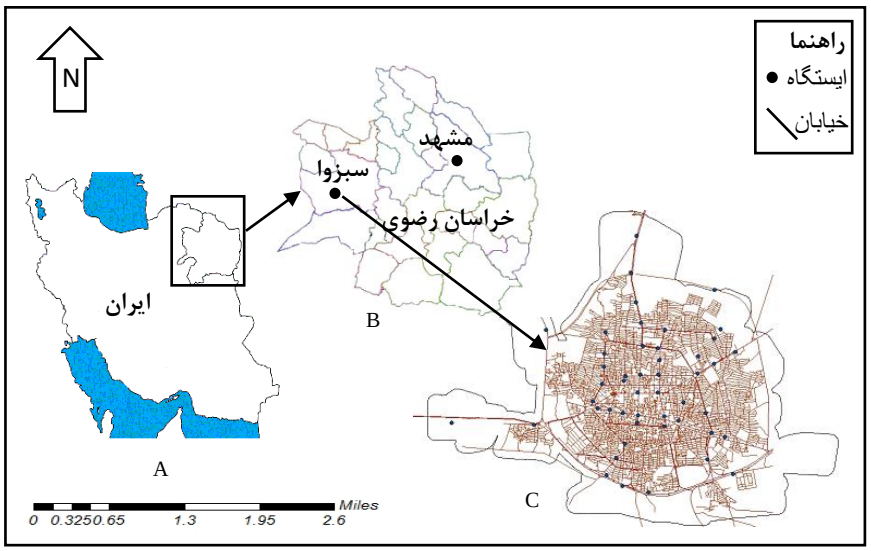
امروزه آلاینده های گوناگونی به خاطر اقدامات انسانی و فعالیت های بیولوژیکی وارد هوا شده است و زندگی افراد را دچار مخاطره می کند چرا که این آلاینده ها اثر مستقیم بر سلامت انسان‌ها دارند. در سال‌های اخیر یکی از آلاینده هایی که بیش-ترین تهدید را در ایران داشته است ذرات معلق بوده است که در این میان ذرات معلق با قطر کم‌تر از میکرون ۲/۵ دارای بیش‌ترین روزهای ناسالم در طی سال‌های اخیر بوده است (۱). با توجه به اهمیت موضوع در زمان حاضر و با توجه به این که پیش از ایـن، مطالعاتی از این قبیل در کشور به ندرت انجام گرفته است، لـزوم پرداختن به این بحث و شناخت و رفع مشکلات مربـوط بـه آن، بسیار واضح و روشن می باشد (۲). مطالعات بهداشتی، ارتباط معناداری بین قرارگرفتن در معرض ریزگردها و مرگ زودرس ناشی از بیماری‌های قلبی و ریوی نشان داده اند (۳). از دیدگاه بهداشت عمومی ذرات معلق یکی از آلاینده های اصلی هوا می باشد. PM_1، $PM_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب، به ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کم‌تر از ۱، ۲/۵ و ۱۰ میکرون اطلاق می گردد (۴). تقریبـاً ۴۰ ٪ ذرات با اندازه بین ۱ـ۲ میکرون در برونش ها و کیسـه های هـوایی بـاقی می مانند (۵). گرد وغبار منجر به تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی و محلی و همچنین تغییر در چرخه بیولوژیکی- زمین شناسی و شیمیایی و محیط زیست می گردد (۶). اطلاع از وضعیت پراکندگی مکانی آلودگی آلاینده ها در سطح شهر این امکان را به مدیران شهرها می دهد تا با در نظر گرفتن اقداماتی مناسب میزان خطرات را برای مناطق و افراد ریسک پذیر کاهش دهند. از طرفی اندازه گیری غلظت آلاینده ها توسط ایستگاه های سنجش آلودگی در تمام نقاط شهر هزینه بر بوده و توجیه اقتصادی ندارد. همچنین اطلاعات حاصل از اندازه گیری های ایستگاهی، به‌صورت نقطه ای بوده و برای یک منطقه نسبتا کوچک اطراف ایستگاه می باشد که این امر مانع تحقیقات دقیق در حوزه آلودگی هوا و اثرات آن بر انسان و محیط زیست می شود. ضرورت ایجاب می کند این اطلاعات اندازه گیری شده در ایستگاه ها برای تحلیل های منطقه ای به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شوند و توزیع آن‌ها در پهنه شهر ترسیم شود (۷). بنابراین استفاده از روش هایی برای نقشه کردن آلاینده های اندازه گیری شده، برای مناطق با وسعت بیش‌تر و هزینه پایین تر و با دقت و سرعت بیش‌تر احساس می شود، در همین راستا روش های مختلف میان‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System (GIS)) می توانند ابزار مفیدی باشند. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه گیری نشده در داخل ناحیه ای که مشاهدات نقطه ای پراکنده شده اند، میان‌یابی می‌گویند (۸). تکنیک های میان‌یابی به دو شیوه کلی انجام می شود. روش اول، روش قطعی (Deterministic) نامیده می شود مانند روش وزن دهی فاصله معکوس (Inverse Distance Weighting (IDW) که در این شیوه میان‌یابی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه گیری شده و بر پایه شباهت ها بر معکوس فاصله انجام می شود. تابع پایه شعاعی (Radial Basis Functions (RBF) نیز یک روش قطعی است. روش دوم میان‌یابی، زمین آماری (Geostatistic) است که شامل کریجینگ (Kriging) می شود و بر اساس ویژگی های آماری نقاط نمونه گیری شده در فواصل مختلف می باشد. تکنیک های میان‌یابی زمین آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه برداری شده را مد نظر قرار داده و تخمین را بر اساس موقعیت قرار گیری مکان نمونه های اندازه گیری نشده انجام می دهد (۹). در زمین آمار، ابزاری که همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می نماید، نیم تغییر نما نام دارد که نمودار واریانس بر مبنای فاصله بین نمونه هاست. در واقع نیم‌تغییر نمای ساختار ارتباط مکانی بین نمونه ها را نشان می دهد (۱۰). بررسی ها بر روی اثرات ذرات $PM_{2.5}$ و PM_1 به همراه شمارش ذرات در هوای شهر هلسینکی نشان داد که $PM_{2.5}$ موثرترین شاخص آلودگی ذرات معلق در هوای شهری می باشد که ارتباط معنی دارتری با بیماری های تنفسی و قلبی- عروقی دارد (۱۱). Fathetabar firuzjani و همکاران برای پهنه بندی آلاینده های هوا با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک GIS داده های مربوط به آلاینده های PM_{10}، O_3 و CO شهر تهران را برای سال ۱۳۸۸ با استفاده از روش‌های

کریجینگ ساده در حالت های مختلف واریوگرام و روش اسپلاین برای فصول مختلف سال مورد ارزیابی قرار داده اند (۱۲). Kumar و همکاران به منظور مدل‌سازی مکانی سه آلاینده SPM، SO_2 و NO_2 برای محیط بندر بلر در هند دو مدل معکوس فاصله وزن دار و کریجینگ را مورد آزمون قرار دادند. برای مقایسه مقادیر میان‌یابی شده از سه پارامتر میانگین خطای مطلق، ریشه دوم میانگین مربع خطا و ضریب همبستگی استفاده کرده اند. داده های مورد استفاده برای پارامترها مورد تایید مرکز کنترل آلودگی هند بوده است. پس از مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و میان‌یابی شده مشخص گردید که مدل IDW به نسبت کریجینگ از تشابه بیش‌تری برای هر سه آلاینده موردنظر برخوردار است. برای مدل IDW به نسبت کریجینگ مقادیر میانگین خطای مطلق و ریشه دوم میانگین مربع خطا پایین و مقدارضریب همبستگی بالاتر است که نشان دهنده تشابه بهتر بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده می‌باشد (۱۳).

بنابراین با توجه به آن‌چه مطرح شد و با توجه به این موضوع که تاکنون هیچ اطلاعاتی از مقادیر ذرات معلق در هوای شهر سبزوار وجود ندارد، هدف از این پژوهش ارزیابی روش های میان‌یابی مکانی جهت تعیین غلظت سطحی ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ در شهر سبزوار و در نتیجه، انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی به منظور تهیه نقشه های پهنه بندی ذرات معلق در محیط GIS است. با رسیدن به این هدف، می توان در هزینه ها و وقت برای برداشت و نمونه برداری انواع مختلف آلاینده ها صرفه جویی کرد و با داشتن چند نمونه محدود در کوتاه ترین زمان غلظت آلاینده ها را در سطح شهر با دقت بالا بدست آورد.

معرفی منطقه

شهرستان سبزوار دارای آب و هوایی نیمه بیابانی و بیابانی است، و در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار گرفته است. شهرستان سبزوار که در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۳ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه قرار دارد توسط دو رشته کوه شمالی طبس و رشته کوه جنوبی کوه‌میش احاطه شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۹۵۰ متر و میزان متوسط بارندگی سالانه ۳۳۰میلی‌متر و میانگین رطوبتی ۴۳ درصد و جهت باد عموما شرق به غرب است. شهر سبزوار طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران ۳۱۹۸۹۳ نفر جمعیت و ۲۳ کیلو متر مربع مساحت دارد که به لحاظ جمعیت، سومین شهر استان خراسان رضوی و سی امین شهرستان بزرگ کشور می باشد. در شکل ۱ نقشه سبزوار و محل ایستگاه های نمونه برداری ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطقی که نمونه ها جمع آوری شده‌اند.

Figure 1- Geographical situation of areas in which the samples were collected.

روش کار

داده های میدانی

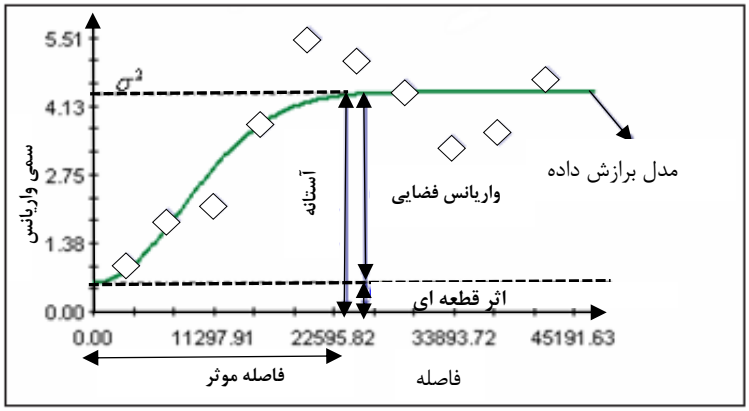
در این پژوهش از داده های برداشت شده از ۴۸ نقطه شهر سبزوار که به‌طور میانگین در طی شش ماه در دوره گرم و پر مخاطره از نظر ذرات معلق به ثبت رسیده است استفاده شد. این نقاط به صورت پراکنده از تمام نقاط شهر (مسکونی، پر ترافیک، کم ترافیک، تجاری) انتخاب شدند. فرآیند نمونه گیری ذرات معلق بر پایه رهنمودهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا ((Environmental Protection Agency (EPA) صورت گرفت. ایستگاه های نمونه برداری در سطح شهر سبزوار مطابق با استاندارد EPA برای سنجش آلودگی هوا انتخاب گردید. محل استقرار دستگاه اندازه گیری طبق استاندارد EPA، در فاصله ۲۰ سانتی متری از تقاطع ها، و در ارتفاع ۳-۱/۵ متری زمین بود. اندازه گیری ذرات معلق $PM_{2.5}$، PM_{10} توسط دستگاه مونیتورینگ گرد و غبار محیطی مدل Haz-Dust EPAM5000 انجام شد. موقعیت نقاط مورد نظر با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت یاب ماهواره ای ((Global Positioning System (GPS) با سیستم تصویر یو تی ام نیز ثبت گردید.

روش های میان‌یابی

به‌طور کلی روش های میان‌یابی به دو دسته کلی قطعی و زمین آمار تقسیم بندی می شود. روش‌های قطعی برای میان یابی، فقط از توابع ریاضی استفاده می نمایند که شامل میان‌یابی چند جمله ای جهانی (Global Polynomial Interpolatin (GPI))، میان‌یابی چند جمله‌ای محلی (Local Polynomial Interpolatin (LPI))، وزن دهی فاصله معکوس، و تابع پایه شعاعی می شود. روش های میان‌یابی زمین آمار شامل کریجینگ عادی ((Ordinary Kriging (OK))، کریجینگ ساده ((Simple Kriging (SK)) و کریجینگ عمومی ((Universal Kriging(UK))، بر مبنای تئوری متغیرات ناحیه ای پایه گذاری شده اند و به توابع ریاضی و آمار متکی هستند. این روش ها از مدل واریوگرام برای توصیف پیوستگی فضایی داده های ورودی و تخمین مقدار مکان های اندازه گیری نشده استفاده می کنند.

ویژگی‌های متغیر نمایی

هدف اصلی از محاسبه متغیر نمایی، شناخت تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی یا زمانی است. برای این کار لازم است مجموع مربع تفاضل زوج نقاطی که به فاصله معلوم h از یکدیگر قرار دارند محاسبه و در مقابل h رسم گردد (۱۶). هر تغییر نما دارای چند عامل مهم است: الف- دامنهٔ تأثیر: فاصله ای که در آن، متغیر نمای به حد ثابتی می رسد و به حالت خط افقی نزدیک می شود، دامنه یا شعاع تأثیر نامیده می شود (شکل ۲) (۱۶). ب- سقف یا آستانهٔ متغیر نمای: به مقدار ثابتی که متغیر نمای در دامنه تأثیر به آن می رسد، آستانه گفته می شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل تمام نمونه هایی است که در محاسبه تغییر نما استفاده شده اند. ج- اثر قطعه ای: مقدار متغیر نمای در مبدأ مختصات، یعنی به‌ازای $h = ۰$ را اثر قطعه ای (C) می نامند (شکل ۲). در حالت بهینه مقدار C باید صفر باشد، اما در بیش‌تر مواقع بزرگ‌تر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی، یا غیر ساختاردار متغیر ظاهر می شود (۱۶). نسبت اثر قطعه ای به آستانه تأثیر، شاخصی از قدرت ساختار مکانی در متغیرها است. چنان‌چه این نسبت کم‌تر از ۰/۲۵ گردد، نشان دهنده همبستگی مکانی قوی است. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ قرار گیرد، بیان‌گر همبستگی مکانی متوسط و چنان‌چه این نسبت بزرگ‌تر از ۰/۷۵ گردد، نشان دهنده وابستگی مکانی ضعیف است. همبستگی قوی مکانی به این معنی است که در دامنه تأثیر می توان متغیر مورد نظر را تخمین زد (۱۷).



شکل ۲- متغیر نمای و عامل های آن.

Figure 2- Semivariogram and its factors.

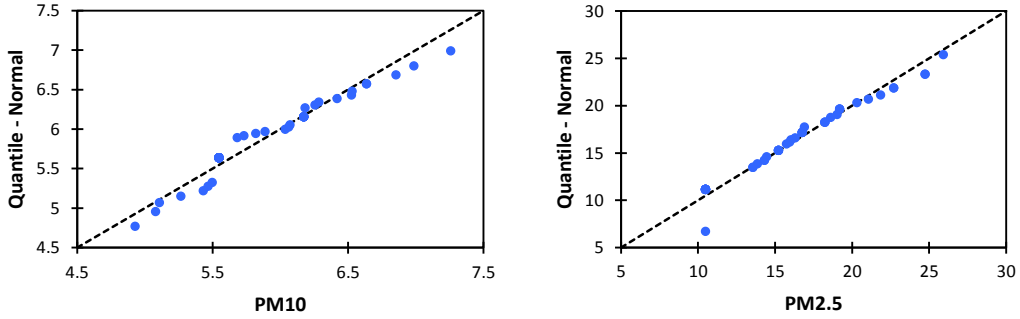
روش های ارزیابی خطاهای میان‌یابی

به منظور انتخاب روش مناسب میان‌یابی، از روش ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده ای حذف شده و با استفاده از سایر نقاط مشاهده ای، آن نقطه برآورد می گردد این کار برای تمامی نقاط مشاهده ای تکرار می شود، به گونه ای که در آخر به تعداد نقاط مشاهده ای، برآورد وجود خواهد داشت و در پایان با داشتن مقادیر واقعی و برآورد شده می توان خطا و انحراف روش استفاده شده را برآورد کرد. به طور کلی به منظور ارزیابی و صحت سنجی داده های پیش بینی شده از معیارهای شاخص میانگین قدر مطلق درصد خطا (Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ، مربع میانگین ریشه دوم (Root Mean Squared (RMS)) و ریشه دوم میانگین مربع استاندارد (Root Mean Squared Standard (RMSS)) استفاده می گردد. پس از استخراج و مطمئن بودن از صحت آماری ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10}، با استفاده از روش های آماری دسته بندی و در محیط افزاری ARC GIS توسط افزونه زمین آماری در منطقه مورد مطالعه (شهر سبزوار) به روش‌های میان‌یابی شامل کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی و روش های قطعی شامل وزن دهی فاصله معکوس و شعاعی اسپیلان میان‌یابی، پهنه بندی و ارزیابی شد و در نهایت با توجه به مقادیر خطایی که هر الگوریتم پس از میان‌یابی نشان داد بهترین روش میان‌یابی مورد آزمون انتخاب شد. روش های میان‌یابی مورد اشاره، برای تولید سطوح آلایندگی در صورتی که داده های ایستگاه های سنجش دارای توزیع نرمال باشند، بهترین نتیجه را خواهد داشت. چنانچه داده ها اریب باشند باید از تبدیلاتی به منظور نرمال نمودن داده ها استفاده نمود. بنابراین درک توزیع داده‌ها قبل از تولید سطح بسیار مهم خواهد بود (۱۸). اگر پراکندگی داده ها نرمال نباشد داده ها را با روش هایی مانند " Box-Cox " می توان نرمال کرد.

نتایج

در این مطالعه، برای ذرات معلق با استفاده از توابع میان‌یابی به روش های زمین آماری و قطعی نقشه هایی تهیه شده است. در انواع روش های قطعی با افزایش فاصله از نقاط نمونه آلایندگی، میزان آلودگی کاهش می یابد (۹). در روش زمین آمار فرض بر این است که فاصله و جهت بین نقاط نمونه برداری آلاینده ها در محدوده هر ایستگاه سنجش، بر روی همبستگی مکانی تأثیر می گذارد (۱۹). ارزیابی دقت هر کدام از روش ها نیازمند بررسی مقادیری مانند MAPE، RMS، RMSS است، که به ازای مقادیر مختلف این مقادیر نیز متفاوت خواهند بود. ابتدا باید از نرمال بودن توزیع داده اطمینان حاصل گردد. برای نمایش نرمال بودن داده ها از نمودار Q-Q PLOT استفاده شده است. در این روش داده های اولیه نرمال نبودند که با استفاده از روش Box-Cox و با ضریب ۰/۶ برای داده های

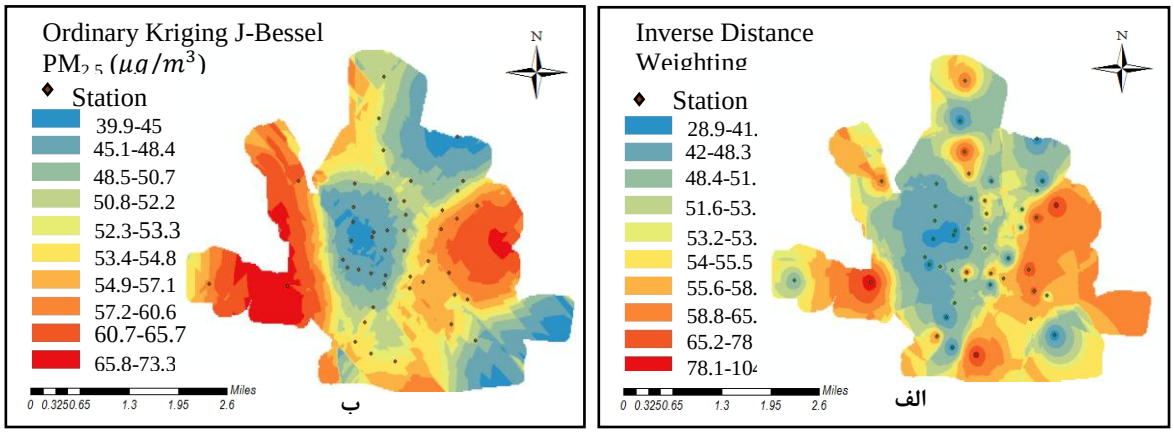
$PM_{2.5}$ و ضریب ۰/۱ برای داده های PM_{10} تا حدودی نرمال شدند. با توجه به شکل ۳ کلیه نقاط حول یک خط راست برازش یافته اند که این مسأله، نشان دهنده نرمال بودن داده های اندازه گیری است.



شکل ۳- نمودار Q-Q PLOT برای $PM_{2.5}$ و PM_{10}.

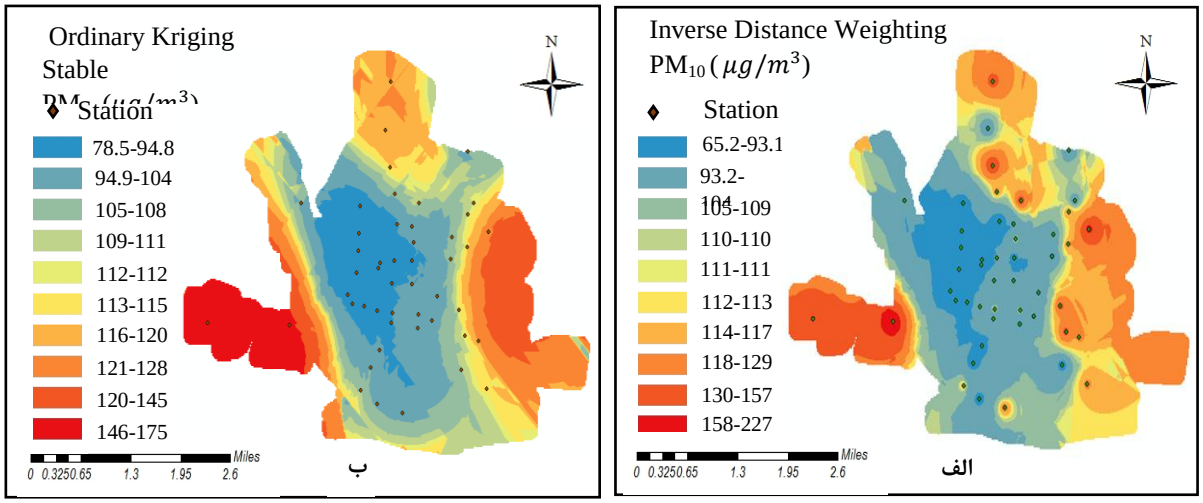
Figure 3- Q-Q PLOT for $PM_{2.5}$ and PM_{10}.

طی مدت نمونه برداری از ۴۸ ایستگاه سطح شهر، بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت برداشت شده برای ذرات معلق $PM_{2.5}$ مقدار ۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب و ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب و برای ذرات معلق PM_{10} مقدار ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب و ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب بود. بنابر مصوبه شورای عالی حفاظت محیط زیست و گزارش شرکت کنترل کیفیت تهران حد استاندارد غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق در ایران برای $PM_{2.5}$ برابر ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب و برای PM_{10} برابر با ۱۵۴ میکروگرم بر متر مکعب می باشد. همچنین استاندارد سالانه ذرات معلق برای $PM_{2.5}$ برابر ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب و برای PM_{10} برابر با ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب می باشد. در ادامه لایه پهنه بندی غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10}، با استفاده از توابع میان‌یابی با استفاده از روش های قطعی (IDW) و زمین آمار(OK) تهیه شد. با نگاهی به نقشه های حاصل از این روش (اشکال شماره ۴ و ۵) مشاهده می شود بیش‌ترین آلودگی برای ذرات معلق در نواحی شرقی شهر سبزوار است که این می تواند ناشی از باد غالب سبزوار که از سمت شرق می وزد باشد.



شکل ۴- الف) پهنه آلودگی ذرات معلق $PM_{2.5}$ با روش IDW و ب) پهنه آلودگی ذرات معلق $PM_{2.5}$ با روش Ordinary Kriging J-Bessel.

Figure 4- a) Map of $PM_{2.5}$ concentrations estimated by IDW, b) Map of $PM_{2.5}$ concentrations estimated by OK, J-Bessel.



شکل ۵- الف) پهنه آلودگی ذرات معلق PM_{10} با روش IDW و ب) پهنه آلودگی ذرات معلق PM_{10} با روش Ordinary Kriging Stable.

Figure 5- a) Map of PM_{10} concentrations estimated by IDW, b) Map of PM_{10} concentrations estimated by OK, Satable.

در قسمت جنوب غرب هم آلودگی دیده می شود که با توجه با مطالعات مشابه روی بررسی غلظت ذرات معلق ناشی از ترافیک (۲۰) می تواند ناشی از تردد زیاد وسایل نقیله سنگین و سبک در این محور، که ورودی شهر سبزوار است، باشد. مقدار RMS و RMSS کم‌تر برای هر یک از روش های میان-یابی، بیان‌گر بهینه بودن آن روش میان‌یابی می باشد. پارامتر دیگر مقایسه MAPE است، که هرچه این ضریب به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده کم‌تر بودن تعداد خطاهای بزرگ در پیش بینی برای هر مدل است. به طور کلی هر چه میزان خطاهای تخمین زده شده کم‌تر باشد، روش میان‌یابی مذکور به منظور تهیه نقشه های پهنه بندی ذرات معلق مناسب تر است. در جداول شماره ۱و ۲ به ترتیب مقایسه مقادیر MAPE، RMS، RMSS برای هریک از دو روش برای ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ را ارایه می دهند. نتایج حاصل از جدول های ۱ و ۲ نشان دهنده این است که بین روش های زمین آمار و قطعی تفاوت چندانی برای مقادیر RMS قائل نشده است، هر چند که میزان این پارمتر ها در روش قطعی کم‌تر می باشد. میزان MAPE نیز در روش های قطعی کم‌تر است که نشان دهنده خطای کم‌تر این روش در پیش بینی مدل می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول های ۱ و ۲ و نقشه های پهنه بندی شده، بهترین روش میان‌یابی برای هر یک از ذرات معلق PM_{10} و $PM_{2.5}$ روش قطعی با تابع IDW انتخاب گردید.

جدول ۱- مقایسه روش های میان یابی با استفاده از MAPE، RMS، و RMSE ($PM_{2.5}$).

Table 1- Comparisonof the interpolation methods using MAPE, RMS, and RMSE ($PM_{2.5}$).

روش ارزیابی			MAPE	RMS	RMSS
Deterministic methods	IDW	Power 1	۲۵/۸۹	۰/۰۳۷۱	-
		Power 2	۲۶/۵۱	۰/۰۳۷۴	-
	Radial Basis Functions	-	۲۶/۴۱	۰/۰۳۷۲	-

Geostatistical methods	Ordinary Kriging	Stable	۲۷/۱۹	۰/۰۳۸	۱/۲۷
		Hole effect	۲۷/۵۴	۰/۰۳۸۱	۱/۲۹
		J-Bessel	۲۷/۴۳	۰/۰۳۸	۱/۲۸
		Guassian	۲۷/۲۶	۰/۰۳۸۳	۱/۲۷
	Universal Kriging	Stable	۳۵/۴۵	۰/۰۴	۰/۱۸
		Hole effect	۳۵/۹۵	۰/۰۴	۰/۱۸
		J-Bessel	۳۶/۰۶	۰/۰۴	۰/۱۸
		Guassian	۳۵/۶۴	۰/۰۴	۰/۱۸

جدول ۲- مقایسه روش های میان یابی با استفاده از MAPE، RMS، و RMSE (PM_{10}).

Table 2- Comparison of the interpolation methods using MAPE, RMS, and RMSE (PM_{10}).

روش ارزیابی			MAPE	RMS	RMSS
Deterministic methods	IDW	Power 1	۴۱/۰۵	۰/۰۲۳	-
		Power 2	۴۲/۰۹	۰/۰۲۳۹	-
	Radial Basis Functions	-	۴۲/۵۵	۰/۰۲۳۷	-
Geostatistical methods	Ordinary Kriging	Stable	۴۴/۱۶	۰/۰۲۴	۱/۲۶
		Hole effect	۴۴/۲۲	۰/۰۲۴۳	۱/۲۷
		J-Bessel	۴۴/۱۰	۰/۰۲۴۲	۱/۲۸
		Guassian	۴۴/۱۶	۰/۰۲۴۱	۱/۲۶
	Universal Kriging	Stable	۴۳/۸۰	۰/۰۲۴۱	۰/۳۸
		Hole effect	۴۳/۸۵	۰/۰۲۴۴	۰/۳۹
		J-Bessel	۴۳/۷۴	۰/۰۲۴۲	۰/۳۹
		Guassian	۴۳/۸۰	۰/۰۲۴۱	۰/۳۸

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ویژگی های مورد بررسی دارای چولگی بالایی بودند که با بهره گیری از Box-Cox، داده ها تا حد زیادی نرمال شدند و بعد از نرمال سازی داده ها، بهترین روش میان‌یابی برای هر یک از پارامترها به دست آمد. همچنین بهترین روش های میان‌یابی برای هر یک از پارامترهای کیفی، انواع روش های قطعی بود. دلیل این امر این است که مقدار خطاهای تخمین زده شده، کم‌تر از سایر روش ها بود.

فتح تبار فیروز جایی و همکاران نیز در مطالعه خود با برای پهنه بندی آلاینده های هوا با استفاده از مدلهای آماری و تکنیک GIS داده های مربوط به آلاینده های PM_{10}، O_3 و CO شهر تهران از روش های کریجینگ و روش اسپیلاین برای فصول مختلف سال استفاده کرد؛ در این مطالعه استفاده از روش های اسپیلان به روش های کریجینگ ترجیح داده شد (۱۲). مطالعه حاضر، با مطالعه Mirmousavi و همکار که به مطالعه کاربرد روش های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی

بارش استان کرمان پرداخته و کاربرد روش های کریجینگ در میان‌یابی بارش در این استان مناسب اعلام نکرد (۲۱)، مطابقت دارد. مطالعه کنونی با مطالعه Momeni Damaneh مطابقت ندارد به گونه ای که مومنی در پژوهش خود با عنوان ارزیابی روش‌های میان‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، روش‌های مختلف میان‌یابی از جمله روش وزن دهی معکوس فاصله و کریجینگ با توابع مختلفی از جمله نمایی، کروی و معمولی برای هر پارامترکیفی آب به‌طور جداگانه تست و بر اساس فاکتورهایی از جمله خطای بایاس میانگین، خطای مربع میانگین، خطای قدر مطلق میانگین و خطای مجذور میانگین استاندارد شده ارزیابی نمود. نتایج مومنی نشان داد در دو روش کریجینگ کروی و نمایی مقادیر MAE و MBE در مورد اکثر پارامترهای استفاده شده نزدیک به هم؛ و مقادیر خطا در روش وزن دهی معکوس فاصله در اکثر مواقع از هر دو روش کریجینگ بالاتر بود. دقت هر دو روش وزن دهی معکوس فاصله و کریجینگ قابل قبول بوده اما روش کریجینگ در مجموع دارای دقت بالاتری هست (۲۲) همچنین نتایج این مطالعه با مطالعات Sadeqi Aqdam و همکاران (۲۳)، Tombette و همکاران (۲۴) نا همسو و با نتایج تحقیقات، Norazian و همکاران (۲۵) و Shad و همکاران (۹) همسو می باشد. با توجه به مطالعه حاضر و مطالعات مشابه به نظر می رسد مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای پهنه بندی غلظت ذرات معلق $PM_{2.5}$ و PM_{10} روش قطعی با تابع IDW می باشد. دلیل این امر این است که مقدار خطاهای تخمین زده شده، کم‌تر از سایر روش ها است. در انتها پیشنهاد می شود پایش های دوره ای غلظت ذرات معلق در سطح شهر سبزوار صورت گیرد در این راستا می توان حداقل یک ایستگاه پایش ذرات معلق در سطح شهر نصب کرد که روند تغییرات غلظت ذرات معلق ثبت شود تا بتوان تصمیمات مدیریتی بهتری اتخاذ کرد. پوشش های جنگلی کویرهای اطراف سبزوار برای مقابله با گرد و غبار تقویت گردد و همچنین کنترل ذرات گرد و غبار در مرکز ساخت و سازها صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از تمامی کسانی که در زمینه جمع آوری اطلاعات تلاش کردند تشکر نمایند. همچنین از سرکار خانم مهندس اکبری به دلیل همکاری های بی دریغ شان در زمینه نرم افزار GIS تشکر و قدردانی می شود. به علاوه از دانشگاه علوم پزشکی گناباد و دانشگاه حکیم سبزواری قدردانی می گردد.

منابع

1. Burnham, P., Anderson, R., 2004. Multimodel inference understanding AIC and BIC in model selection. Sociological Methods and Research, Vol. 33, pp. 261 -304.
2. Qorbani Salkhord, R., Mobasheri, M.R., Rahimzadehgan, M., 2012. A fast method for assessment of PM_{10} concentration using MODIS images, a case study in Tehran. Hakim Research Journal, Vol. 15(2), pp. 166-177. (In Persian)
3. Data and Research Unit. Annual report of air quality of Tehran in 2012. Air Quality Control Company, technical report.
4. Keynejad, M., Ebrahimi, S., 1998. Environmental Engineering. Sahand University of Technology. (In Persian)
5. Rogge, W., Determination of key organic compounds in the particulate matter amission from air pollution sources. California Institute of Technology, Research Note 1994. Available From:URL:http://www.ard.ca.gov. Accessed Dec 25, 2008.
6. Naddafi, K., 2009. Air pollution with emphasis on dusts and their health and environmental impacts. 12th National

Confrance on Environmental Health, Tehran, Iran. (In Persian)

7. Bahari, R.A., Abaspour, R.A., Pahlavani, P., 2016. Zoning of particulate matters (PM) pollution using local statistical models in GIS (case study: Tehran metropolisies). Journal of Geomatics Science and Technology, Vol. 5(3), pp. 165-174. (In Persian)
8. Ghahroudi, M., 2005. Geographic Information System (GIS). Tarbiyat moalem Jahadedaneshgahi Publication. (In Persian)
9. Shad, R., Ashoori, H., Afshari, N., 2008. Evaluation of optimum methods for predicting pollution concentration in GIS environment. International archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol 17, pp. 315-320.
10. Webster, R., Oliver, M.A., 2000. Geostatistics for Environmental Scientists. Wiley Press, 271 p.
11. Timonen, K., Tiittanen, P., Penttinen, P., 1997. Effects of fine and ultrafine particles on respiratory and cardiovascular health. Finish Research Programme on Environmental Health. (available at http://www.ktl.fi/sytty/ abstracts/ pekka1 htm).
12. Fathtabar Firouz Jani, S., Alesheikh A., Rangzan K., Chinipardaz R., 2011. Air pollution zoning using geostatistics methods and GIS: case study, Tehran. 5th National Conference on Environmental Engineering, Hamedan, Iran. (In Persian)
13. Kumar, D., Sabesan, M., Das, A., 2011.Evaluation of interpolation technique for air quality parameters in Port Blair, India. Universal Journal of Environmental Research and Technology, Vol. 3, pp. 301 -10.
14. Asakereh, H., 2008. Kriging application in climatic element interpolation, a case study: Iran precipitation in 1996.12.16. Geqgraphy and Development Journal. Vol. 6, pp. 25-42. (In Persian)
15. Nadiri, A., Shakour, S., Asgharimoghadam, A., Vadiati, M., 2017. Investigation of groundwater nitrate pollution with different interpolation methods (case study: East Azarbayjan, Bilverdy plain). Journal of Hydrogeomorphology, Vol. 1, pp. 75-92. (In Persian)
16. Hasanipak, A., 1998. Earth Statitis (Geostatitial): Tehran University. (In Persian)
17. Ayobi, S., Hosseinalizadeh, M., 2007. Assessment spatil variability of soil erodibility by using of geostatiti and GIS (case study, Mehr watershed of Sabzevar). Iranian Journal of Natural Resources, Vol. 60(2), pp. 369 – 82. (In Persian)
18. 18-. Nasrollahi, Z., Ghaffari, M., 2010. Air pollution and its determinants (The case study of SPM, and SO2 emissions in Iran manufacturing industries). Journal of the Economic Research, Vol. 10(3), pp. 75-95.
19. Hadipoor, M., Poorebrahim, S.H., 2011. Locating residential land use in urban transportation planning by the application of GIS and mathematical emission modeling of air pollution. Journal of Environmental Studies, Vol 37, 135-149.
20. Mansouri, N., Esmaealzadeh, J., 2011. Investigating suspended particles resulted from Tehran`s highways

traffic. Journal of Traffic Engineering, Vol. 44. (In Persian)

21. Mirmousavi, S.H., Mirain, M., 2012. The application of geostatistics methods in temporal precipitation distribution (Case study: Kerman Province). Journal of Geography and Planning, Vol 16, pp. 153-178.
22. Momeni Damaneh, J., Joulaei, F., Alidadi, H., Peiravi, R., 2015. Evaluatin of interpolatin methods to determine spatil variatins of groundwater Quali-tatie parameters (Case study: Gonabad plain). Iranian Journal of Research in Environmental Health, Vol. 1(3), pp. 165-176. (In Persian)
23. Sadeqi Aqdam, F., Asqari Moqadam, A., Nadiri, A., 2015. An evaluation of temporal and spatial variation of arsenic anomalies in water resources of sahand dam using statistical methods. International Bulletin of Water Resources and Development, Vol. 2, pp. 11-23. (In Persian)
24. Tombette, M., Mallet, V., Sportisse, B., 2009. PM 10 data assimilation over Europe with the optimal interpolation method. Atmos. Chem. Phys, Vol. 9, pp. 57–70.
25. Norazian, M.N., Shukri, Y.A., Azam, N.R., 2008.Estimation of missing values in air pollution data using single imputation techniques. ScienceAsia, Vol.34, pp. 341-45.