

# تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی

محمد میری<sup>۱</sup>، محمد تقی فانیان<sup>۲</sup>، عبدالمجید قلیزاده<sup>۳\*</sup>، محسن یزدانی اول<sup>۳</sup>، علی نیکونهاد<sup>۱</sup>  
۱ دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران  
۲ دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران  
۳ دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۳

## چکیده

**مقدمه و هدف:** این مطالعه به مقایسه و ارزیابی مدل‌های فضایی و آماری برای پیش بینی غلظت PM2.5 در سطح زمین و در مقیاس کلان در شهرستان مشهد می‌پردازد.

**روش کار:** برای بررسی فضایی وضعیت آلودگی هوای کلان شهر مشهد از سه مدل درون یابی (Ordinary Kriging، Universal Kriging، و وزن دهی معکوس فاصله (IDW)) استفاده گردید. برای مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (R2) استفاده گردید. همچنین برای انتخاب بهینه ترین شرایط برای اجرای دو مدل OK و UK از Standardized RMSE استفاده گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بیشترین میانگین ماهیانه آلودگی PM2.5 مربوط به مهر ماه و ایستگاه «ساختمان» ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (۹۵/۱) می‌باشد. کمترین میانگین آلودگی ماهیانه نیز مربوط به ایستگاه «طرق» و در آبان ماه ( $15/5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) است. با توجه به داده‌ها، مدل OK دارای کمترین RMSE (۱۰/۶۰۱) و بیشترین ضریب همبستگی نسبت به مدل UK و IDW داشت. مقدار کمتر RMSE نشان دهنده میزان خطای کمتر در مقادیر پیش بینی نسبت به مقادیر اندازه گیری است. بنابراین مدل OK دارای شرایط بهتر در میان یابی است

**نتیجه گیری:** در نهایت باید بیان کرد که تولید و استفاده از چنین نقشه‌های زمین مرجعی امکان تجزیه و تحلیل‌های مکانی را به سرعت فراهم می‌آورد، چرا که می‌تواند در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، کاربر را قادر سازد تا تأثیر عوامل مختلف بر غلظت آلاینده‌ها را بررسی کند.

**کلمات کلیدی:** ذرات معلق، شهر مشهد، مدل سازی، GIS

## مقدمه

بهداشتی شده است.<sup>۱</sup> ذرات معلق موجود در هوا دارای گستره وسیع اندازه بین ۰/۰۰۰۰۲ تا ۵۰۰ میکرون می‌باشند (۲). ذرات با قطر کمتر از ده میکرون ( $\text{PM}_{10}$ ) و ذرات با قطر کمتر از ۲/۵

در دهه‌های اخیر آلودگی هوا در بسیاری از مناطق جهان باعث افزایش نگرانی عمومی در خصوص ایجاد عوارض

\* دانشجوی دکتری بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران  
ایمیل: gholizadeh\_eng@yahoo.com - شماره تماس: ۰۹۱۵۹۸۶۶۳۶۰

تغییرنا نیست. معکوس فاصله یک روش وزن دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه بندی شده و وزن دهی می‌شوند.<sup>۱۳</sup>

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در تحلیل فضایی استفاده از مدل گریجینگ است. این روش درون یابی که بر پایه رگرسیون بنا شده است، اختصاص وزن نه تنها به فاصله بین نقاط اطراف بلکه براساس همبستگی میان نقاط اندازه گیری شده نیز است،<sup>۱۴، ۱۵</sup> اوسطی و سلاجقه (۱۳۸۹) از روش درون یابی گریجینگ معمولی برای پهنه بندی نیترات در آب زیرزمینی دشت کردان استفاده کردند و اظهار کردند که این روش بهترین روش درون یابی نیترات بوده است.<sup>۱۶</sup> در مطالعه انجام شده روی کیفیت هوای شهر مشهد توسط اکبری و همکاران<sup>۱۷</sup> با استفاده از روش پهنه بندی IDW بر اساس شاخص PSI مشخص شد که در سال ۱۳۸۸ فصل بهار کیفیت هوا در وضعیت بسیار ناسالم و خطرناک و بطور کلی کلیه فصول را با وضعیت نامطلوب هوا گزارش کردند، در این مطالعه از ذرات معلق و مونواکسید کربن برای تعیین شاخص PSI استفاده شده بود. در مطالعه دیگر انجام شده در مشهد توسط جهان شیری در سال ۱۳۸۸ غلظت آلاینده‌های مونواکسید کربن و ذرات معلق بیشتر از سایر موارد گزارش گردید.<sup>۱۸</sup>

با توجه اهمیت بهداشتی ذرات معلق موجود در هوا و مخصوصاً ذرات PM<sub>2.5</sub> که خطرات بیشتری به همراه دارند به بررسی آن غلظت آن در سال ۱۳۹۳ در شهر مشهد به عنوان دومین کلان شهرهای ایران پرداخته شده است. در این راستا روش‌های مختلف تحلیل فضایی (گریجینگ، IDW و UK) مورد بررسی قرار گرفته و بهترین روش برای پهنه بندی غلظت ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> در شهر مشهد انتخاب و ارائه گردیده است. امید است نتایج این مطالعه بتواند به سیاست گزاران برای

میکرون (PM<sub>2.5</sub>) می‌توانند به طور عمیقی به داخل شش‌ها نفوذ کرده و اثرات نامطلوبی را بر سلامتی انسان دارد.<sup>۳</sup> بسیاری از ذرات معلق در مقایسه با آلوده کننده‌های گازی دیگر بیشتر سبب بروز اختلال در مجاری تنفسی می‌شود. همچنین بعضی از ذرات معلق موجود در اتمسفر در اثر تائیراتی که روی هم می‌گذارند، سبب تشدید اثرات سمی بعضی از آلوده کننده‌ها می‌شوند.<sup>۴</sup> تخمین زده شده است که آلودگی هوا ۱/۴ درصد کل مرگ و میرها در دنیا را به خود اختصاص داده است.<sup>۵</sup> علاوه بر منابع انسانی آلودگی هوا از جمله صنایع و حمل و نقل، منابع طبیعی نیز نقش به‌سزایی در ایجاد آلودگی هوا دارند. ذرات PM<sub>2.5</sub> (ذرات با قطر آئروینامیکی کمتر یا مساوی ۲/۵ میکرومتر) جدی‌ترین خطرات را برای عملکرد ریه و مشکلات قلبی-عروقی در بر دارند.<sup>۶</sup> مطالعات جدید گزارش کردند که سالیانه ۳/۵ میلیون مرگ و میر به دلیل بیماری‌های قلبی عروقی و ۲۲۰۰۰۰ مرگ نیز به دلیل سرطان ریه ناشی از ذرات PM<sub>2.5</sub> اتفاق می‌افتد.<sup>۷، ۸</sup> مطالعات مختلفی در زمینه بررسی وضعیت آلودگی هوای شهرها صورت گرفته است، پاپ و همکارانش (۲۰۰۲) چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که تماس طولانی مدت با ذرات ریز قابل استنشاق احتمال سرطان ریه و مرگ ناشی از عوارض قلبی-ریوی را افزایش می‌دهد.<sup>۹</sup> در مطالعه انجام شده توسط Chan C. که در شهر پکن انجام شد مشخص گردید ۸۶٪ نمونه‌های گرفته شده ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> فراتر از استاندارد حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) بوده است.<sup>۱۰</sup> در مطالعه دیگری در دهلی هند مشخص گردید که حدکثر غلظت ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در زمان اوج ترافیک اتفاق می‌افتد.<sup>۱۱</sup>

امروزه، روش‌های مختلفی برای تخمین آلودگی هوا وجود دارد. یکی از این روش‌ها تلفیق اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آلودگی و روش‌های تحلیل فضایی است.<sup>۱۲</sup> یکی از روش‌های تحلیل فضایی روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) است که در آن، تنها عامل موثر فاصله برای وزن دهی است. در روش IDW نیازی به تعیین الگوی تغییرات مکانی یعنی

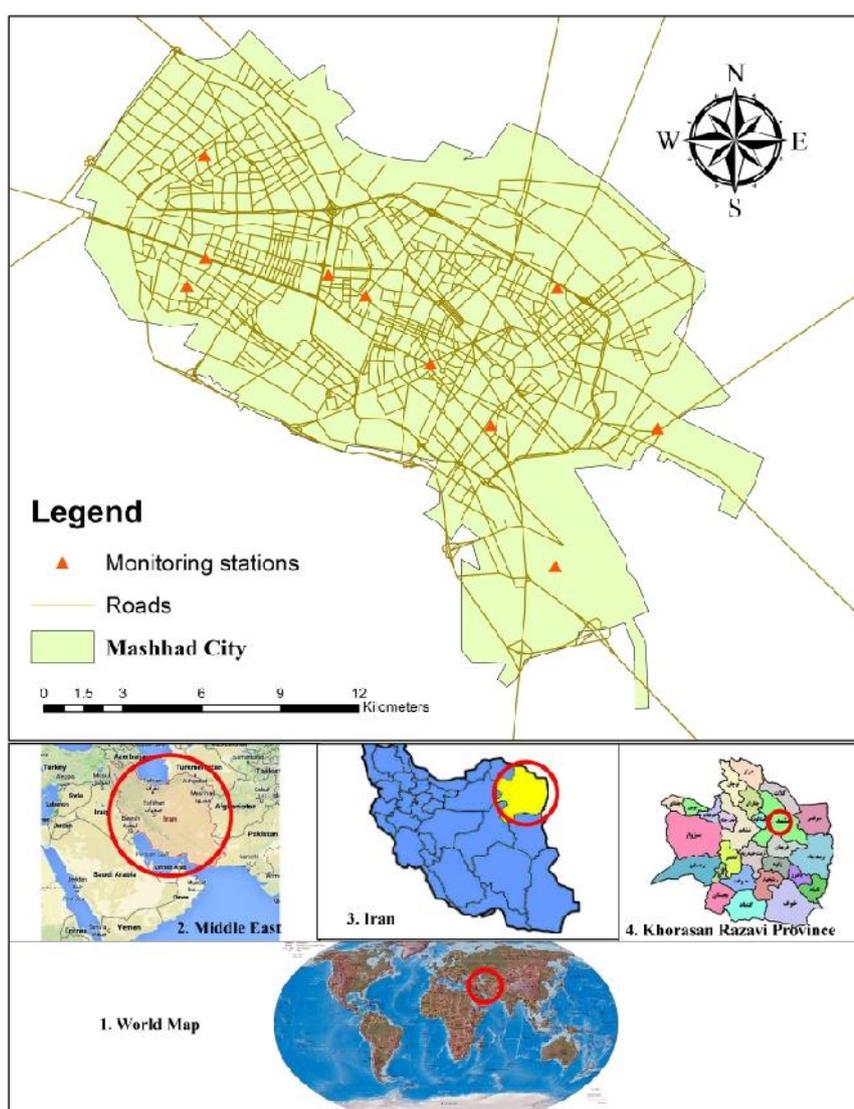
۳۲۸ کیلومتر مربع مساحت دارد و جمعیت آن حدود ۲/۶ میلیون نفر می‌باشد. بیشینه ارتفاع شهر مشهد ۱۱۵۰ متر و کمینه آن ۹۵۰ متر است. این شهر یکی از شهرهای صنعتی ایران است و همچنین جز پر ترددترین شهرهای ایران است که سبب آلودگی هوای آن بخصوص در فصول سرد می‌شوند. شکل ۱ نقشه موقعیت شهر مشهد و ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای این مطالعه را نشان می‌دهد. که همانطور که در شکل مشخص است ۱۰ نقطه شهر از تمامی جهات برای بررسی غلظت ذرات  $PM_{2.5}$  مورد بررسی قرار گرفته است.

طراحی مدیریت یکپارچه کیفیت هوا و برنامه‌ریزی جهت آمادگی لازم در مقابله با اثرات این پدیده، کمک نماید.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

مشهد به عنوان دومین کلان شهر ایران و مرکز استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران قرار دارد. این شهر در طول جغرافیایی  $59^{\circ} 35' E$  تا  $59^{\circ} 74' E$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 14' N$  تا  $36^{\circ} 48' N$  واقع شده است. شهر مشهد حدود



شکل ۱: موقعیت محل مطالعه و جایگاه ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا

## جمع‌آوری داده‌ها

این مطالعه از نوع توصیفی مقطعی بوده و در آن به تحلیل فضایی آلاینده PM<sub>2.5</sub> اندازه‌گیری شده توسط توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ پرداخته شده است. برای تحلیل فضایی از نرم افزار Arc GIS 10.1 منتشر شده توسط کمپانی ESRI و برای رسم نمودار و سایر تحلیل‌ها روی داده‌ها از نرم افزار Excel 2007 استفاده شد. جهت تحلیل فضایی وضعیت آلودگی هوای کلان شهر مشهد سه مدل درون یابی شامل Ordinary Kriging (OK)، Universal Kriging (UK) و وزن دهی معکوس فاصله (IDW) بکار گرفته شدند. نهایتاً با مقایسه صورت گرفته بین سه مدل بهترین مدل برای پهنه بندی آلودگی هوای شهر مشهد انتخاب شد.

## توسعه مدل

مدل (OK) عبارت از یک روش برآورد زمین آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. به طوری که می‌توان گفت بهترین برآوردکننده خطی ناریب می‌باشد. این برآورد کننده به صورت زیر تعریف می‌شود (۱۹، ۲۰):

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

که در آن  $Z^*(x_i)$  عیار برآوردی،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $i$  ام و  $z(x_i)$  مقدار متغیراندازه گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از  $n$  داده است که شرط استفاده از این برآورده کننده این است که متغیر  $Z$  دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا این که به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل نمود. در این مقاله از روش خطی استفاده شده است.

مدل UK. در این روش فرض بر این است که علاوه بر مؤلفه ی همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر  $Z$  وجود دارد. در این صورت، کریجینگ با یک چند جمله ای مرتبه اول یا دوم ترکیب می‌شود. برای مثال چند جمله ای مرتبه اول به صورت  $M = b_1x_i + b_2y_i$  و یک چند جمله ای مرتبه دوم به صورت  $M = b_1x_i + b_2y_i + b_3x_i^2 + b_4x_iy_i + b_5y_i^2$  به مدل اضافه می‌شود. در اینجا  $M$  روند  $x_i$  و  $y_i$  مختصات نقاط نمونه  $i$  و  $b_i$ ها ضرایب روند می‌باشند.<sup>۲۱</sup>

همچنین برای دو مدل کریجینگ نقشه «خطای استاندارد پیش بینی» نیز تولید شد.

مدل (IDW): روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه گیری، وزنی براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن دهی کنترل می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگ تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک تر وزن‌ها را به طور یکنواخت تری بین نقاط هم جوار 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 زیر محاسبه می‌گردد:<sup>۲۲</sup>

$$\lambda_i = (D_i - r) / \sum_{i=1}^n D_i - r \quad (2)$$

که در آن  $\lambda_i$  وزن ایستگاه  $i$  ام،  $D_i$  فاصله ایستگاه  $i$  ام تا نقطه مجهول و  $r$  توان وزن دهی می‌باشد.

برای مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل از ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error (RMSE) استفاده گردید، روش محاسبه RMSE در زیر آورده شده است:<sup>۲۳</sup>

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_i - \hat{q}_i)^2} \quad (3)$$

همانگونه در این شکل پیداست بیشترین میانگین ماهیانه آلودگی PM<sub>2.5</sub> مربوط به مهر ماه سال ۱۳۹۳ و ایستگاه ساختمان (۹۵/۱ μ/m<sup>3</sup>) می‌باشد. کمترین میانگین آلودگی ماهیانه نیز مربوط به ایستگاه طرق و در آبان ماه (۱۵/۵ μ/m<sup>3</sup>) است. میانگین آلودگی مربوط به PM<sub>2.5</sub> در فصل زمستان بیشتر از سایر فصل‌ها می‌باشد که انتظار آن نیز می‌رفت. با توجه به میانگین سالیانه نیز ایستگاه «ساختمان» دارای بالاترین غلظت ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> (۷۰/۵۷۵ μ/m<sup>3</sup>) می‌باشد. خلاصه آماری وضعیت آلودگی هوای شهر مشهد مربوط به ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> در جدول (۱) آورده شده است. میانگین فصلی کل ایستگاه‌ها نیز برای فصل بهار برابر با ۳۸/۱۲۲ μ/m<sup>3</sup>، برای فصل تابستان ۴۳/۶۹ μ/m<sup>3</sup>، برای پاییز ۴۵/۰۶۸ μ/m<sup>3</sup> و برای زمستان ۴۸/۴۲۳ μ/m<sup>3</sup> بود. داده‌ها حاکی از این است که بیشترین غلظت میانگین در فصل زمستان بوده است.

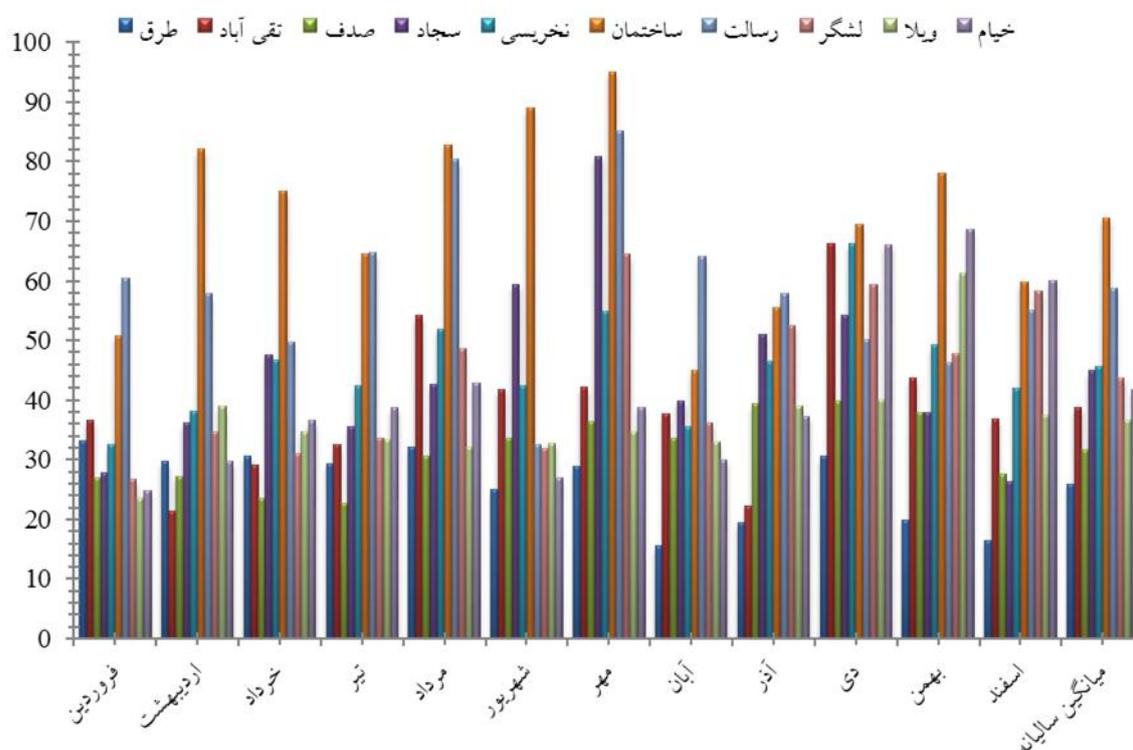
همچنین برای انتخاب بهینه ترین شرایط برای اجرای دو مدل OK و UK از Standardized RMSE به همراه RMSE استفاده گردید. فرمول مربوط به standardized RMSE در زیر آورده شده است:

$$\text{Standardized RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_i - \hat{q}_i}{\hat{q}_i} \right)^2} \quad (4)$$

در فرمول‌های فوق n تعداد داده‌ها، q<sub>i</sub> مقدار اندازه‌گیری شده،  $\hat{q}_i$  مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و  $\hat{q}_i$  خطای استاندارد پیش‌بینی می‌باشد.

## نتایج

داده‌های گردآوری‌شده مربوط به ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهر مشهد در سال ۱۳۹۳ بر حسب میانگین ماهیانه در شکل (۲) آورده شده است.



## تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی

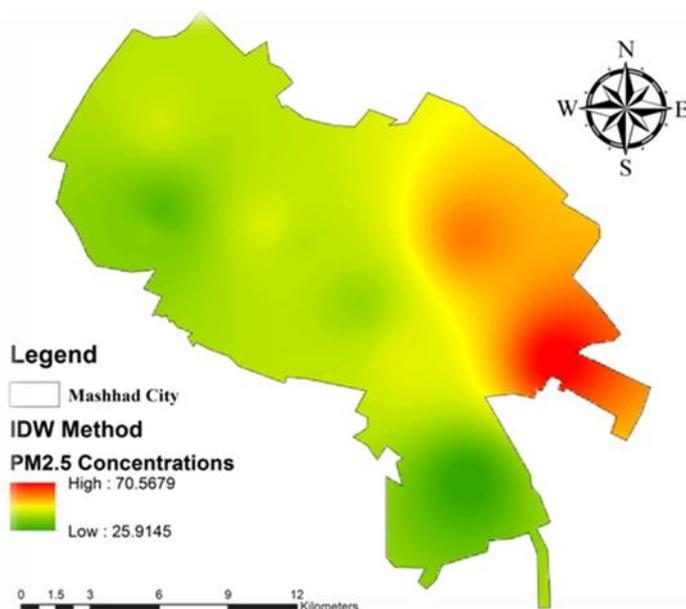
شکل ۲: نمودار میانگین غلظت ماهیانه ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در هوای شهر مشهد، سال ۱۳۹۳

بهترین گزینه‌ها برای اجرای مدل OK و UK استفاده گردید. از واریوگرام به منظور تعیین و تشریح ساختار مکانی داده‌ها استفاده شد. واریوگرافی اولین قدم برای مدلسازی ساختار مکانی به منظور استفاده در کریجینگ است. مدل واریوگرام کروی از مبداء مختصات شروع شده و در نزدیکی مبداء رفتار خطی دارد با افزایش مقدار در جهت محور Xها منحنی به سرعت بسمت مقادیر بیشتر محور Y صعود می‌کند. آنگاه به تدریج از شیب آن کم می‌شود و در فاصله معینی که دامنه تاثیر نامیده می‌شود، به سقف خود می‌رسد و در همین مقدار باقی می‌ماند. باتوجه به پهنه‌بندی صورت گرفته منطقه شرق که شامل محدوده ایستگاه ساختمان و در امتداد اتوبان همت به سمت شمال و شمال شرقی شهر می‌باشد، نسبت به میانگین سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  بطور کلی غلظت بالاتری از  $PM_{2.5}$  را نشان می‌دهد و در وضعیت بدتری نسبت به منطقه غرب کلان شهر مشهد قرار دارد، بنابراین نگرانی‌ها در این منطقه بیشتر است.

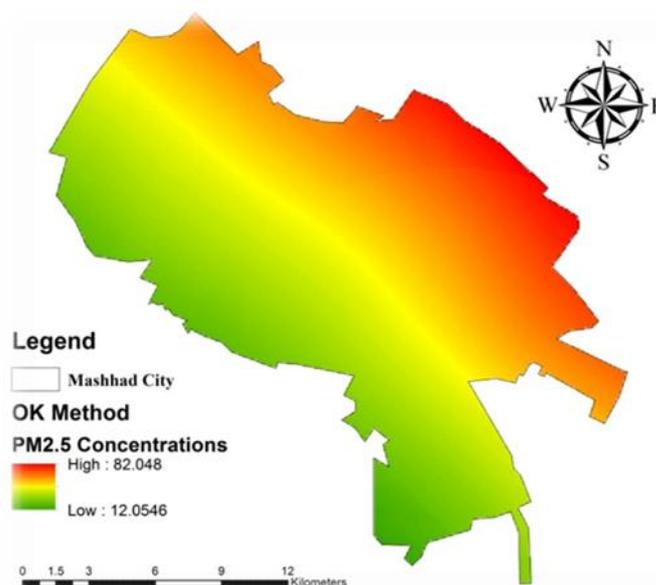
جدول ۱: خلاصه آماری وضعیت آلودگی هوای شهر مشهد مربوط به ذرات معلق  $PM_{2.5}$  در سال ۱۳۹۳

پارامتر	غلظت $PM_{2.5}$
میانگین سالیانه کل ایستگاه‌ها بر اساس میانگین انحراف معیار	۴۳/۸۲۶
حداقل سالیانه کل ایستگاه‌ها بر اساس میانگین	۱۶/۹۴۵
حداکثر سالیانه کل ایستگاه‌ها بر اساس میانگین	۱۵/۵
میانگین فصلی کل ایستگاه‌ها	۹۵/۱
بهار	۳۸/۱۲۲
تابستان	۴۳/۶۹
پاییز	۴۵/۰۶۸
زمستان	۴۸/۴۳۳

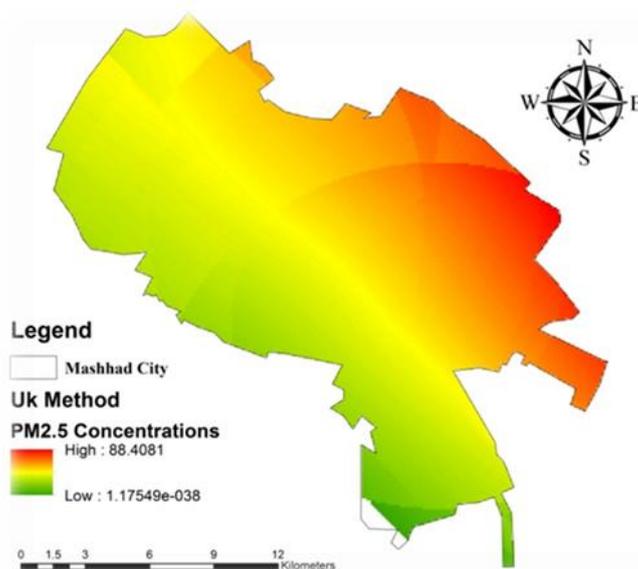
در ادامه نتایج حاصل از استفاده از روش‌های درون یابی UK, OK و IDW در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) آورده شده است. برای انتخاب نوع سمی واریوگرام (semivariogram) برای نرمال سازی مجدد داده‌ها در دو مدل کریجینگ دو پارامتر RMSE و Std. RMSE استفاده گردید و نهایتاً از سمی واریوگرام کروی و Box-Cox با پارامتر توان برابر با یک بعنوان



شکل ۳: پهنه بندی میانگین سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  بر حسب  $(\mu g/m^3)$  با مدل IDW در کلان شهر مشهد، سال ۱۳۹۳



شکل ۴: پهنه بندی میانگین سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  بر حسب  $(\mu g/m^3)$  با مدل OK در کلان شهر مشهد، سال ۱۳۹۳



شکل ۵: پهنه بندی میانگین سالیانه آلاینده  $PM_{2.5}$  بر حسب  $(\mu g/m^3)$  با مدل UK در کلان شهر مشهد، سال ۱۳۹۳

شاخص RMSE و  $R^2$  استفاده گردید که نتایج حاصل از آن در جدول (۲) آورده شده است:

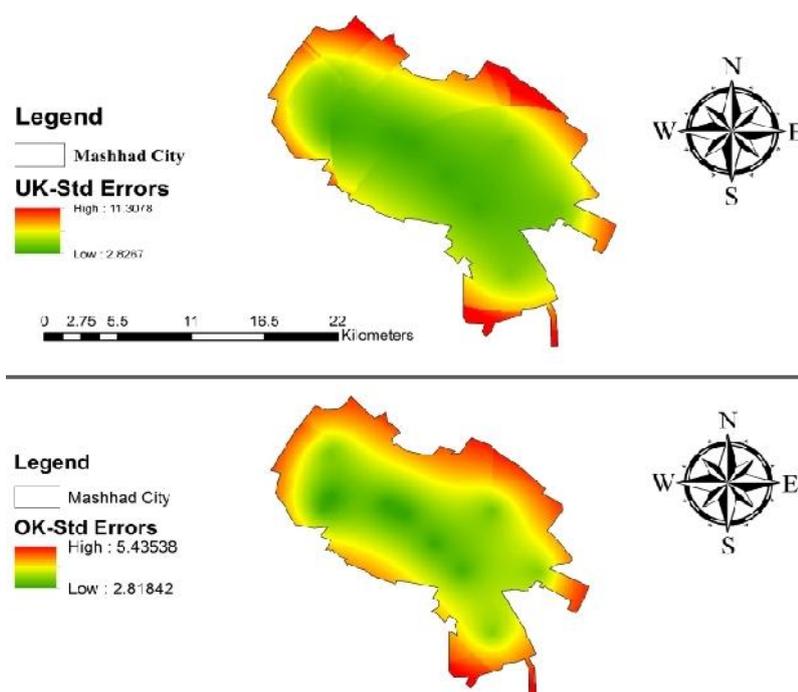
برای مقایسه مدل‌های IDW، OK و UK و انتخاب مدل بهینه در پهنه بندی آلاینده هوا  $PM_{2.5}$  در کلان شهر مشهد از

جدول ۲: مقایسه سه مدل درون یابی

$R^2$	Std. RMSE	RMSE	شاخص
			مدل مورد استفاده
۰/۷۶۵	۱/۶۰۶	۱۰/۶۰۱	Ordinary Kriging (OK)
۰/۷۲	۱/۳۵۳	۱۲/۵۱۱	Universal Kriging (UK)
۰/۶۷	-	۱۳/۳	Inverse Distance Weighted (IDW)

بالاتری از این خطا (میانگین برابر با ۵/۱۸ و محدوده ۱۱/۳۱-۲/۸۳) را نسبت به مدل OK نشان داد. بیشترین خطاهای استاندارد پیش بینی مربوط به مناطقی است که از ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا فاصله بیشتری دارند. در مورد مدل OK میزان کمتر خطای استاندارد پیش بینی (میانگین برابر با  $\mu g/m^3$  ۳/۸۹ و محدوده ۵/۴۴-۲/۸۲) مشاهده می‌شود که نشان دهنده عدم قطعیت کمتر در پیش بینی غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  است. در مورد مدل IDW به واسطه غیر آماری بودن این مدل در آن خطاهای استاندارد پیش بینی محاسبه نمی‌شود.

با توجه به داده‌های ارایه شده در جدول فوق مدل OK دارای RMSE برابر با ۱۰/۶۰۱، مدل UK دارای RMSE برابر با ۱۲/۵۱۱ و مدل IDW نیز RMSE برابر با ۱۳/۳ دارد. مقدار کمتر RMSE نشان دهنده میزان خطای کمتر در مقادیر پیش بینی نسبت به مقادیر اندازه گیری است. بنابراین مدل OK دارای شرایط بهتر در میان یابی است. همچنین از ضریب همبستگی ( $R^2$ ) نیز جهت برآورد مدل استفاده شده براین اساس مدل OK دارای بیشترین همبستگی نسبت به دو مدل دیگر بود. برای ارزیابی و مقایسه دو مدل کریجینگ نقشه خطاهای استاندارد پیش بینی (شکل ۶) نیز تهیه گردید. مدل UK میزان



شکل ۶: تخمین میزان خطای استاندارد حاصل از دو مدل UK و OK در پیش بینی غلظت میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  در شهر مشهد

## بحث و نتیجه گیری

کریجینگ هر نمونه معلوم در تخمین نمونه مجهول بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوطه دارد در حالیکه در روش های دیگر وزن ها فقط به یک مشخصه هئسی مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه ها، تغییر نمی کند و با ضعیف شدن ساختار فضایی نقش نمونه ها کمتر می شود. مدل کریجینگ از دقیق ترین مدل هایی است که در تهیه نقشه های پراکندگی بکار می رود. بدلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین ها دارای حداقل واریانس می باشد، جایگاه ویژه ای در درون یابی بدست آورده است.

وضعیت آلودگی هوا در محدوده ایستگاه های شرق و شمال شرق شهر غلظت بالاتری از آلاینده را نشان داد. علت این امر می تواند تردد بالا در اتوبان همت که از شرق تا شمال شرق شهر امتداد دارد و وجود زمین های بایر و زمین های کشاورزی در منطقه شرقی شهر مشهد باشد. میانگین سالیانه تمامی ایستگاه ها از استاندارد EPA که برابر با  $15 \mu/m^3$  برای میانگین سالیانه  $PM_{2.5}$  است بیشتر بود. در مطالعه اکبری و همکاران<sup>۱۷</sup>

در این مطالعه تحلیل فضایی میانگین سالیانه غلظت ذرات معلق  $PM_{2.5}$  توسط مدل های UK، OK، و IDW در کلان شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفت. روش IDW از جمله روش های درون یابی است که در آن برآورد براساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنابر عکس فاصله وزن دهی می شوند، انجام می گیرد. به عبارت دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری داده می شود تا به نقاط دورتر. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده ها پیروی نمی کند (واریوگرام ندارد) و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیکتر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن دارند تا نقاط دورتر. اما کریجینگ، روش درون یابی و برآورد زمین آماری است که قادر است براساس مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی و نمونه های اندازه گیری شده در جامعه، نقاط نمونه برداری نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند. عمومی ترین روش آن که در علوم محیط زیستی نیز کاربرد فراوانی دارد، کریجینگ معمولی است.<sup>۲۴</sup> در روش

این مطالعه به واسطه کارایی بهتر مدل UK در دخالت دادن سایر پارامترهای محیطی در پیش‌بینی غلظت ازن کارایی آن مشابه OK اعلام‌گردید.

با توجه به میانگین سالیانه غلظت  $PM_{2.5}$  در ایستگاه‌های مختلف سنجش آلودگی هوای کلان شهر مشهد و بالاتر بودن آن از میزان استاندارد EPA ( $15 \mu/m^3$ ) و WHO ( $10 \mu/m^3$ ) باید به این مساله که خطرات بهداشتی و تاثیر نامطلوب بر ساکنین شهر مشهد دارد توجه بیشتری شود و برای کاهش میزان آلودگی توسط ارگان‌های مربوطه اقدامات لازم صورت‌گیرد. در این راستا می‌توان با افزایش ناوگان حمل و نقل عمومی، افزایش فضای سبز و همچنین کاهش خودروهای فرسوده و افزایش کیفیت سوخت از میزان آلودگی هوای کلان شهر مشهد کاست.

در نهایت باید بیان کرد که تولید و استفاده از چنین نقشه‌های زمین مرجعی امکان تجزیه و تحلیل‌های مکانی را به سرعت فراهم می‌آورد، چرا که می‌تواند در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، کاربر را قادر سازد تا تأثیر عوامل مختلف بر غلظت آلاینده‌ها را بررسی کند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از سازمان محیط زیست مشهد و سرکار خانم مهندس جعفری بخاطر همکاری در دریافت اطلاعات مربوط به ایستگاههای آلودگی هوای شهر مشهد کمال تشکر و قدردانی را به نمایند.

نیز وضعیت نامطلوب کیفیت هوا در کلیه فصول ۱۳۸۸ برای کلان شهر مشهد گزارش گردید که با مطالعه حاضر هم خوانی دارد. در مطالعه دیگری که توسط جمشیدی و همکاران بر روی آلودگی هوای شهر گچساران صورت گرفت کیفیت هوا را در فصل تابستان بالاتر از حد مجاز گزارش کردند که با این مطالعه هم خوانی ندارد.<sup>۲۵</sup>

برای مقایسه سه مدل مورد استفاده از شاخص ارزیابی RMSE استفاده شد و شرایط مناسب تر مدل OK را با RMSE برابر با ۱۰/۶۰۱ در پیش بینی غلظت آلاینده  $PM_{2.5}$  نشان داد. هر قدر مقدار RMSE کمتر باشد نشان دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده (پیش بینی شده توسط مدل) نسبت به مقادیر مشاهده ای است. همچنین از ضریب همبستگی ( $R^2$ ) نیز جهت برآورد مدل استفاده شده براین اساس مدل OK دارای بیشترین  $R^2$  نسبت به دو مدل دیگر بود. این بدین معنی است همبستگی بیشتری بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی شده در این مدل نسبت به دو مدل دیگر وجود دارد. در مطالعه انجام شده توسط نورپور و همکاران<sup>۲۶</sup> در کلان شهر تهران که به تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده های گوگرد دی‌اکسید، نیتروژن دی‌اکسید و انواع ذرات معلق با استفاده از تکنیک‌های GIS پرداختند مشخص شد که بین مدل‌های مختلف مورد استفاده برای پهنه‌بندی آلودگی هوا توانایی مدل کریجینگ معمولی بیشتر از سایر روش‌ها می‌باشد. در مطالعه انجام شده توسط J.D. Berman و همکاران<sup>۲۷</sup> که به ارزیابی مدل‌های مختلف تحلیل فضایی برای پهنه‌بندی غلظت ازن در کشور امریکا پرداختند، میزان  $R^2$  و RMSE به ترتیب برای مدل IDW و مدل OK برابر با ۰/۷۴، ۸/۱۶۳ و ۰/۷۹، ۶/۹۸۳ و برای مدل UK مقدار ۰/۷۸ و ۷/۲۳ بدست آمد و کارایی بالاتر مدل OK را نشان داد که با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. هر چند در

## منابع

1. Teather K, Hogan N, Critchley K, Gibson M, Craig S, Hill J. Examining the links between air quality, climate change and respiratory health in Qatar. Avicenna. 2013;9.
2. Boubel RW, Vallero D, Fox DL, Turner B, Stern AC. Fundamentals of air pollution; Elsevier; 2013.

3. Dehghani M, Kamali Y, Shamsedini N, Ghanbarian M. A Study of the Relationship between Indoor/Outdoor Particle Concentration in Dena hospital in Shiraz. *J Health Res Commun* 2015;1(1):49-55 [In Persian].
4. Amirbeigi H, Ahmadi Asour A. Air Hygeine and Pollution Control Methods (Environmental &Industrial). Andishe Rafie; 2008 [In Persian].
5. Evans J, van Donkelaar A, Martin RV, Burnett R, Rainham DG, Birkett NJ, et al. Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. *Environ Res* 2013;120:33-42.
6. Zhang A, Qi Q, Jiang L, Zhou F, Wang J. Population exposure to PM 2.5 in the urban area of Beijing. 2013.
7. Hao Y, Flowers H, Monti MM, Qualters JR. US census unit population exposures to ambient air pollutants. *Int J Health geograph* 2012;11(3).
8. Jorgensen NW, Van Hee VC, Barr RG, O'Neill MS, Herrington DM, Polak JF, et al. Vascular Responses to Long-and Short-Term Exposure to Fine Particulate Matter. *J Am Coll Cardiol* 2012;60(21):2158-2166.
9. Pope III CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama*. 2002;287(9):1132-41.
10. Chan C, Xu X, Li Y, Wong K, Ding G, Chan L, et al. Characteristics of vertical profiles and sources of PM 2.5, PM 10 and carbonaceous species in Beijing. *Atmospheric Environ* 2005;39(28):5113-24.
11. Kumar P. Mass and number concentration of Respirable suspended particulate matter (RSPM) on selected corridors of Delhi city. M. Tech. Thesis, Indian Institute of Technology, Delhi; 2005.
12. Basu R, Woodruff TJ, Parker JD, Saulnier L, Schoendorf KC. Comparing exposure metrics in the relationship between PM2. 5 and birth weight in California. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2004;14(5):391-6.
13. Taghizadeh-Mehrjardi R, Zareian-Jahromi M, Mahmoodi S, Heidari A, Sarmadian F. Investigation of Interpolation Methods to Determine Spatial Distribution of Groundwater Quality in Rafsanjan. *J Watershed Manage Sci* 2009; 2(5): 63-70 [In Persian].
14. Bishop PL. *Pollution Prevention*: McGraw Hill; 2000.
15. Schabenberger O, Gotway CA. *Statistical methods for spatial data analysis*: CRC press; 2004.
16. Osati Kh, Salajegheh A, Arekhi S. Spatial variation of nitrate concentrations in groundwater by Geostatistics (Case Study: Kurdan Plain). *J Natur Environ* 2013; 65(4): 461-72 [In Persian].
17. Akbari E, Mohammadnia M, Keshavarz Mozaffari Z. The modeling of air pollution in the city of Mashhad using SPI index in GIS environment. National Conference on Air Pollution. Tehran 2011, University of Tehran [In Persian].
18. Jahanshiri M. Statistical analysis and synoptic Evaluation of Mashhad air pollution. M.Sc Thesis of Climatology; School of Geography and Environmental Science, University of Hakim Sabzevari, 2010 [In Persian].
19. Peng X, Wang K, Li Q. A new power mapping method based on ordinary kriging and determination of optimal detector location strategy. *Ann Nuclear Energy* 2014;68(0):118-23.
20. Dai F, Zhou Q, Lv Z, Wang X, Liu G. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. *Ecol Indicators* 2014;45(0):184-94.
21. Liu S, An N, Yang J, Dong S, Wang C, Yin Y. Prediction of soil organic matter variability associated with different land use types in mountainous landscape in southwestern Yunnan province, China. *CATENA*. 2015;133(0):137-44.
22. Gong G, Mattevada S, O'Bryant SE. Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environ Res* 2014;130(0):59-69.
23. Tadi JM, Ili V, Biraud S. Examination of geostatistical and machine-learning techniques as interpolators in anisotropic atmospheric environments. *Atmospheric Environ* 2015;111(0):28-38.
24. Akhavan R, Karami Khorramabadi M, Soosani J. 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* 2012; 3(4): 305-16 [In Persian].
25. Jamshidi A, Karimzadeh Shirazi K, Raygan Shirazi A. Particulate Air Pollution Concentration in the City of Gachsaran, 2005-2006. *Armaghane danesh*. 2007;12(2):89-97 [In Persian].
26. Nourpoor AR, Feiz MA. Determine the spatial and temporal variations pollutants sulfur dioxide, nitrogen dioxide and suspended particles using GIS techniques in Tehran. *J Environ Stud* 2014; 40(3) 723-38 [In Persian].
27. Berman JD, Breyse PN, White RH, Waugh DW, Curriero FC. Evaluating methods for spatial mapping: Applications for estimating ozone concentrations across the contiguous United States. *Environmental Technology & Innovation*. 2015;3:1-10.

# Assessment of Spatial Analysis Methods in Mapping of Air Pollution in Mashhad

Mohammad Miri<sup>1</sup>, Mohammad Taghi Ghaneian<sup>2</sup>, Abdolmajid Gholizadeh<sup>1\*</sup>,  
Mohsen Yazdani Avval<sup>3</sup>, Ali Nikoonahad<sup>1</sup>

1. Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

2. Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran

3. Department of Environmental Health Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

\*E-mail: gholizadeh\_eng@yahoo.com

Received: 7 Nov 2015 ; Accepted: 22 Feb 2016

## ABSTRACT

**Background:** This study aimed to compare and evaluate the spatial and statistical models to predict PM<sub>2.5</sub> concentrations at ground level and at the macro scale in Mashhad.

**Methods:** To investigate the status of air pollution in the metropolis of Mashhad air, three interpolating models including Ordinary Kriging (OK), Universal Kriging (UK) and inverse distance weighting (IDW) were used. Root Mean Square Error (RMSE) and correlation coefficient (R<sup>2</sup>) were employed to compare three models and choose the best one. As well as to select the most optimal conditions for the implementation of both OK and UK, used from Standardized RMSE.

**Results:** The results showed that the highest monthly average of PM<sub>2.5</sub> was belonged to September and "Sakhteman" station (95.1 µg/m<sup>3</sup>). Also, the lowest monthly average pollution had happened in "Torogh" station, in November (15.5 µg/m<sup>3</sup>). According to the data, the OK had the lowest RMSE (10.601) compared to the UK and IDW. Lower RMSE represents lower error between the predicted and measured values. So, OK model selected as better one in interpolation. Also, Judging by correlation coefficient (R<sup>2</sup>), the highest correlation belonged to OK compared to other two models. UK model showed a greater standard error of predicts than OK. The greatest standard errors of prediction were related to areas that have more distance from air pollution monitoring stations.

**Conclusion:** it should be noted that the production and use of geo-referenced maps could quickly provide spatial analyses, and because it can be combined with GIS, the user is able to investigate the influence the various concentrations of contaminants.

**Keywords:** Particles, Mashhad, Modeling, GIS